

非言語情報および生体情報を活用した  
仮想空間内コミュニケーション支援

平成18年度

福井 健太郎

# 目次

|            |                                     |           |
|------------|-------------------------------------|-----------|
| <b>第1章</b> | <b>序論</b>                           | <b>1</b>  |
| 1.1        | 本研究の背景と目的                           | 2         |
| 1.2        | 本研究の概要                              | 3         |
| 1.3        | 本論文の構成                              | 5         |
| <b>第2章</b> | <b>研究の背景および関連研究</b>                 | <b>6</b>  |
| 2.1        | はじめに                                | 7         |
| 2.2        | コミュニケーション                           | 7         |
| 2.3        | 非言語情報とコミュニケーション                     | 8         |
| 2.3.1      | 非言語コミュニケーションとは                      | 8         |
| 2.3.2      | 非言語情報の分類と役割                         | 8         |
| 2.3.3      | 非言語情報を伝達する手段                        | 12        |
| 2.3.4      | 非言語情報伝達に動画像を用いた関連研究                 | 13        |
| 2.3.5      | 非言語情報伝達に仮想空間を用いた関連研究                | 16        |
| 2.4        | 生体情報とコミュニケーション                      | 20        |
| 2.4.1      | 生体情報とは                              | 21        |
| 2.4.2      | 生体情報の種類                             | 21        |
| 2.4.3      | 脳波                                  | 23        |
| 2.4.4      | 脳波の測定                               | 25        |
| 2.4.5      | 脳波を利用した関連研究                         | 27        |
| 2.4.6      | その他生体情報を用いた関連研究                     | 35        |
| <b>第3章</b> | <b>非言語情報および生体情報を活用したコミュニケーション支援</b> | <b>39</b> |
| 3.1        | はじめに                                | 40        |
| 3.2        | 非言語情報の活用                            | 41        |
| 3.2.1      | ビデオ会議での非言語情報の欠如                     | 41        |
| 3.2.2      | 非言語情報を活用したコミュニケーション支援               | 42        |
| 3.2.3      | 研究の位置づけ                             | 45        |
| 3.3        | 生体情報の活用                             | 46        |

---

|            |                              |           |
|------------|------------------------------|-----------|
| 3.3.1      | 非言語情報活用のジレンマ                 | 46        |
| 3.3.2      | 生体情報を活用したコミュニケーション支援         | 47        |
| 3.3.3      | 研究の位置づけ                      | 50        |
| 3.4        | 非言語情報と生体情報の相互利用              | 50        |
| <b>第4章</b> | <b>非言語情報を活用したコミュニケーション支援</b> | <b>52</b> |
| 4.1        | はじめに                         | 53        |
| 4.2        | e-MulCS1 の概要                 | 53        |
| 4.3        | PFA を実現するためのインタフェース          | 54        |
| 4.4        | 仮想空間の構築                      | 57        |
| 4.4.1      | 仮想空間の設計                      | 57        |
| 4.4.2      | ユーザの注目している方向とアバタの動き          | 57        |
| 4.4.3      | 注目している方向の認識とユーザの画面表示法        | 58        |
| 4.5        | 音声通信の実現                      | 60        |
| 4.6        | 評価                           | 61        |
| 4.6.1      | PFA の実現性評価                   | 61        |
| 4.6.2      | PFA の実用面評価                   | 65        |
| 4.6.3      | 入力装置と画面表示の適性評価               | 68        |
| 4.7        | まとめ                          | 70        |
| <b>第5章</b> | <b>生体情報を活用したコミュニケーション支援</b>  | <b>71</b> |
| 5.1        | はじめに                         | 72        |
| 5.2        | e-MulCS2 の概要                 | 72        |
| 5.3        | 脳波の測定と脳活動，突発脳活動，瞬きの抽出        | 76        |
| 5.3.1      | 脳波装置                         | 76        |
| 5.3.2      | 脳波データ取得と窓関数                  | 77        |
| 5.3.3      | 脳活動度データの取得                   | 81        |
| 5.3.4      | 脳活動レベルの取得                    | 82        |
| 5.3.5      | 突発脳活動の取得                     | 83        |
| 5.3.6      | 瞬きの取得                        | 85        |
| 5.4        | 仮想空間とアバタ                     | 86        |
| 5.4.1      | 仮想空間の設計                      | 86        |
| 5.4.2      | ユーザ自身のアバタ表示と仮想空間のカメラ位置設定     | 86        |
| 5.4.3      | アバタの設計                       | 87        |
| 5.5        | PFA と画面表示法の対応                | 88        |
| 5.5.1      | 向きとアバタの動き                    | 88        |

---

|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 5.5.2      | 注目した方向の認識とユーザの画面表示法     | 89         |
| 5.6        | 脳活動状態とアバタ・画面表示法の対応      | 89         |
| 5.6.1      | 脳活動レベルとアバタの態度の対応        | 90         |
| 5.6.2      | 脳活動レベルとユーザの画面表示法の対応     | 90         |
| 5.6.3      | 突発脳活動とアバタの表情            | 92         |
| 5.6.4      | ユーザの瞬きの反映               | 93         |
| 5.7        | 本システムの実際の利用例            | 93         |
| 5.8        | e-MulCS2 で実装しているその他の機能  | 94         |
| 5.8.1      | 音声通信の実現                 | 94         |
| 5.8.2      | アバタへの話中状態の反映            | 95         |
| 5.9        | 評価                      | 95         |
| 5.9.1      | 脳活動度の正確さ評価              | 95         |
| 5.9.2      | 突発脳活動，瞬きの認識率評価          | 98         |
| 5.9.3      | 突発脳活動・瞬きの可視化有効性評価       | 99         |
| 5.9.4      | 脳活動状態アウェアネスによる話者支援方法の評価 | 101        |
| 5.10       | まとめ                     | 104        |
| <b>第6章</b> | <b>結論</b>               | <b>105</b> |
|            | 謝辞                      | 108        |
|            | 参考文献                    | 109        |
|            | 論文目録                    | 120        |

# 目 次

|      |                                     |    |
|------|-------------------------------------|----|
| 2.1  | The GAZE Groupware System[33]       | 18 |
| 2.2  | 3次元顔表情モデル [34]                      | 19 |
| 2.3  | 筋肉モデルの配置 [34]                       | 20 |
| 2.4  | 表情合成例 [34]                          | 20 |
| 2.5  | 国際 10 – 20 法                        | 25 |
| 2.6  | IBVA                                | 26 |
| 2.7  | 被指導者と思考状態が重畳表示されている様子 [110]         | 35 |
| 2.8  | StartleCam[42]                      | 36 |
| 2.9  | 「怒り」と「悲しみ」の生体情報 [112]               | 37 |
| 2.10 | 生体情報パターンによる感情の分別 [112]              | 37 |
| 4.1  | システムのイメージ図                          | 53 |
| 4.2  | e-MulCS1 の画面                        | 54 |
| 4.3  | e-MulCS1 利用風景                       | 55 |
| 4.4  | モーションプロセッサとモーションプロセッサの動作概要          | 55 |
| 4.5  | モーションプロセッサプログラムの実装図                 | 56 |
| 4.6  | 仮想空間設計図                             | 57 |
| 4.7  | e-MulCS1 でのアバタの向きの動き                | 57 |
| 4.8  | 一般タイプの表示法 (e-MulCS1)                | 58 |
| 4.9  | 遠くから見たタイプの表示法 (e-MulCS1)            | 59 |
| 4.10 | ズームアップタイプの表示法 (e-MulCS1)            | 59 |
| 4.11 | 指差しタイプの表示法 (e-MulCS1)               | 60 |
| 4.12 | ビデオ会議での PFA 支援                      | 61 |
| 4.13 | 実験で使ったビデオ会議風システム (上) と e-MulCS1 (下) | 62 |
| 4.14 | アバタが向きを変える間隔と平均反応速度・平均誤り数の関係        | 63 |
| 4.15 | 実験に利用したビデオ会議システム:iVisit             | 66 |
| 5.1  | e-MulCS2 の画面                        | 73 |
| 5.2  | システム利用風景                            | 73 |

---

|      |   |    |
|------|---|----|
| 5.3  | システム構成図   | 74 |
| 5.4  | 本システムで利用した脳波計：IBVA  | 76 |
| 5.5  | 窓関数をかけた後の生データ表示   | 78 |
| 5.6  | 周波数ごとのスペクトル表示   | 78 |
| 5.7  | 時系列に並べた周波数ごとのスペクトルデータ   | 79 |
| 5.8  | 脳波データ解析ソフトのメイン GUI  | 80 |
| 5.9  | FFT のポイント数設定  | 80 |
| 5.10 | オーバーラップの設定  | 80 |
| 5.11 | 脳活動度算出方法  | 81 |
| 5.12 | 脳活動度の閾値調整 GUI   | 82 |
| 5.13 | 脳活動度の移り変わりの一例   | 83 |
| 5.14 | 脳活動レベルの移り変わりの一例   | 84 |
| 5.15 | 突発脳活動の測定  | 84 |
| 5.16 | 突発脳活動の閾値調整 GUI  | 85 |
| 5.17 | 瞬きの閾値の設定  | 86 |
| 5.18 | 仮想空間表示法（左：自分のアバタを表示した画面，中央：カメラ位置を上部に設定した画面，右：ユーザ自身のアバタのみを表示した画面）      | 87 |
| 5.19 | 4 種類のアバタ  | 88 |
| 5.20 | アバタの向きの動き   | 88 |
| 5.21 | システム上でのアバタの動き   | 89 |
| 5.22 | ユーザの注目に応じた 4 つの表示手法（左上：一般タイプ，右上：遠くから見たタイプ，左下：ズームアップタイプ，右下：スポットライトタイプ） | 90 |
| 5.23 | 脳活動レベルとアバタの態度の対応（正面）  | 91 |
| 5.24 | 脳活動レベルとアバタの態度の対応（横）   | 91 |
| 5.25 | 脳活動レベルとユーザの画面表示法の対応   | 92 |
| 5.26 | 突発脳活動時のアバタの表情   | 93 |
| 5.27 | 瞬きしているアバタ   | 93 |
| 5.28 | e-MulCS2 の実際の利用例  | 94 |
| 5.29 | 話中状態のアバタ  | 95 |
| 5.30 | 2 人の被験者の脳活動度の移り変わり  | 97 |

# 表 目 次

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 2.1 | 非言語情報の分類 [4]                                  | 9   |
| 2.2 | 脳波の変動要因                                       | 23  |
| 4.1 | e-MulCS1 での音質                                 | 60  |
| 4.2 | 被験者の反応速度と正確性                                  | 64  |
| 4.3 | PFA 実現性評価のアンケート結果 (1:全く思わない 7:強く思う)           | 64  |
| 4.4 | ビデオ会議システムと e-MulCS1 の実用面評価結果                  | 67  |
| 4.5 | 実用面評価のアンケート (1:全く思わない 5:強く思う)                 | 67  |
| 4.6 | 入力インタフェースと画面表示法の比較結果                          | 69  |
| 4.7 | 入力インタフェースと画面表示法の比較のアンケート (1:全く思わない<br>5:強く思う) | 69  |
| 5.1 | 脳活動度と脳活動レベルの関係                                | 82  |
| 5.2 | 各タスクの脳活動度集計結果                                 | 96  |
| 5.3 | 各タスク間の Wilcoxon 符号付順位検定 p 値                   | 96  |
| 5.4 | 機能評価結果  | 99  |
| 5.5 | ユーザの平均正解率                                     | 100 |
| 5.6 | ユーザの平均反応時間                                    | 100 |
| 5.7 | アンケートの平均 (5:良い 1:悪い)                          | 100 |
| 5.8 | 発言時間と脳活動状態アウェアネスの関係                           | 103 |
| 5.9 | アンケート結果 (1:まったく思わない, 5:強く思う)                  | 104 |

# 第1章 序論



## 1.1 本研究の背景と目的

遠隔環境において、人間のコミュニケーションを円滑にすることができ、対面と同等の環境を実現すれば、距離・空間を超えたコミュニケーションを実現でき、場所に制約されない社会の実現が可能になる。そして、人々は交通手段を駆使することもなく、必要なときに必要な人と自由にコミュニケーションを行うことができ、より効率的に作業を行うことができる。また、このような環境の実現に伴い、既存の対面コミュニケーションを基準にしたコミュニティ形成とは異なる新たなコミュニティの形成など、人間のコミュニケーションに大きな変革をもたらす可能性がある。

遠隔環境での人間のコミュニケーション手段の中で、文字を基準にした非同期のコミュニケーションは、情報技術の発展に伴い、幅広く実用化されるようになり、効果を出している。具体的には、電子メール、Web、ソーシャルネットワーキング、ブログなどが、文字によるコミュニケーションに含まれる。これらのコミュニケーション手段は、遠隔環境に存在する人間のコミュニケーションを補助し、大幅に作業を効率化することに貢献している。これらの非同期コミュニケーション手段は、在宅勤務なども可能にし、既に日本の企業の中で、このような制度を全面的に導入し、会社ビルを縮小しつつある企業も存在している。このような非同期コミュニケーション手段の発展は、勤務スタイルなどにも変革を与え、女性の社会進出にも大きく貢献している。

文字を用いた非同期コミュニケーションは、手紙・FAXなどを代替しただけではなく、人々のコミュニケーションそのものや人間関係にも変革を与えた。ブログの出現は、各個人が積極的に個を主張する環境を作り、その個人が手軽につながり合うことを可能にした。また、ソーシャルネットワーキングは、対面したことがないものが知り合う機会を与え、コミュニケーション集団を形成することを可能にした。コミュニケーション手段の増加に伴い、梅田 [1] が「旧来の権威をつきくずし、「知」の世界の秩序を再編成しつつある」と述べている通り、コミュニケーション手段の多様化は、組織や社会の体制にも変革を起こすまでになった。このように、非同期コミュニケーション手段の発展は、既存のメディアを代替するだけでなく、新しい可能性をコミュニケーションにもたらすことに成功した。

非同期型コミュニケーションはこのように大きく成功を収めつつあるが、同期型のコミュニケーションは、このような発展を遂げていない。同期型でコミュニケーションを行うときに使う手段は、未だ 1876 年にベルが発明した電話によるものが主流であり、電話を置き換える、新たな技術は登場していない。

電話を置き換える可能性がある技術の一つに、動画を用いたコミュニケーションが含まれる。このコミュニケーションを実現する手法として、ビデオ会議システムやテレビ電話などがある。これらのシステムは、ユーザがあたかも対面でコミュニケーションをしているかのような感覚を得られることを目標に設計されている。しかし、これらの技術は未だ

普及に至っていない。また、情報技術により仮想空間を構築し、その空間の中で同期型のコミュニケーションを図るシステムも出現したが、これらのコミュニケーション手段も未だ普及していない。

本研究ではこの事実に着目し、同期型コミュニケーションを促進する一手法として、誰が誰にどの程度関心があるかを同期型遠隔コミュニケーションにて認識できる環境を提案し、より円滑な遠隔コミュニケーションを実現することを目的とする。

## 1.2 本研究の概要

誰が誰にどの程度関心があるかという情報は、コミュニケーションにおいて重要な役割を果たす。人間はコミュニケーションを行う際、自身の話に参加者がどのくらい関心を持っているのかを常にかけている [2]。そして、関心を持っている人が少なければ、話題を変えたり相手の注意をひきつける努力をする。また、二人で話しているときに相手が自分の方向を向いていないと、コミュニケーションは成立しにくい [3]。さらに多者間コミュニケーションでは、他の参加者が誰に注目しているかは重要であり、会話内容の対象が誰であるかも、誰が誰に注目しているか次第で決まることが多い。

しかし、動画を用いた同期型遠隔コミュニケーションの主流であるビデオ会議では、誰が誰に注目しているか分からず、その結果コミュニケーションが円滑に進まないことが多々ある。また、各参加者のコミュニケーション空間が分裂しているため、参加者が同じ空間にいるという認識を得ることができず、対面と同等の自然なコミュニケーション環境は実現しにくい。

シームレスなコミュニケーション空間を構築するために考案された仮想空間環境では、各参加者が仮想空間内にアバターとして参加することにより、擬似的に同じコミュニケーション空間に滞在することが可能となる。しかし、仮想空間内コミュニケーションにおいても、コミュニケーションにとって重要な要素であるうなずく、相槌をうつ、瞬きをする、表情を変える、顔や身を乗り出して聞くといった相手の非言語情報による反応を、リアルタイムに、かつ直感的に得ることができない。そして、相手が関心を持っているか、どのような反応を示しているかの情報が欠如することにより、相手に対して話している気分になれない、自分の発言が適切であるか自信を持ってない、発言が弱気になってしまうなどの現象が起こり、円滑なコミュニケーションを促進する上での障害になる。

そこで本研究では、これらの課題を解決する手法として、二つのアプローチを用い、これらを相互利用することにより、誰が誰にどの程度関心を持っているかを認識できる環境を提案する。

まず本研究でとった一つ目のアプローチは、対面環境を可能な限り模倣し、対面環境で得られるが、遠隔環境では得られない情報を提供する手法である。このアプローチでは、

遠隔地にいながらも、対面環境と同様の感覚が得られる環境を目標とする。そして、対面環境とビデオ会議システムとの大きな差となっているのは、提供している非言語情報の多さであるとの視点に立ち、非言語情報を提供する手法について述べる。本研究では非言語情報の中でも、誰が誰に注目しているかを認識できることを PFA (Participant Focusing Awareness) と定義し、これらを提供することが、誰が誰に関心をもっているかを認識する上でなぜ重要であるかを述べ、その提供手法について言及する。

具体的には、この環境を実現するために、まず仮想空間を用いる。そして、仮想空間内にユーザの分身であるアバタを配置し、アバタ間にてコミュニケーションを行う環境を作る。仮想空間を構築することにより、上記の非言語情報のうち、対人距離、体の向き、視線がどちらに向いているかの情報のすべてを提供することが可能になる。また、ユーザの顔の向きで、PFA を認識できる環境を構築する。そして、顔の向きを認識し、その向きを仮想空間内の空間位置と座標に変換し、それをアバタに反映する。さらに、仮想空間の画面の表示法についても言及し、誰の方向をユーザが注目しているかをユーザ自身が認識できる環境を構築する。このようにして、PFA を実現したコミュニケーション環境を提案する。

本研究でとったもう一つのアプローチは、対面環境では実現し得ないことを、遠隔環境で実現するというアプローチである。対面環境を目指すアプローチは、目標を対面環境に定めているため、対面環境以上のものを構築することは不可能になる。対面環境を模倣している以上、対面環境を超えたコミュニケーション環境を構築できないのである。手紙など、従来の文字を介したコミュニケーションでは実現できなかったことを、プログなどの新しい技術が可能にしたのと同様に、対面コミュニケーションでは実現できないコミュニケーション環境を構築することを本アプローチは目指す。本研究では、まずユーザの関心や思考状態に深く関係がある、脳活動度および突発脳活動という指標を定義する。そして、ユーザの表情などに表出しない脳活動度および突発脳活動を生体情報より取得し、提供することが、なぜ重要なのであるかを述べ、その提供手法について言及する。さらに、脳活動度と同時に取得できる情報から瞬き情報を取得し、コミュニケーションに適用する手法についても言及する。

具体的には、脳活動度・突発脳活動・瞬きを簡易脳波計を用いて抽出する。そして、これらを仮想空間上のアバタに参加者が直感的に認識できる形で表示する。こうして、ユーザの関心と密接な関わりのある脳活動度、突発脳活動、瞬きの情報をリアルタイムに参加者全員が認識できる環境を提案する。

本研究では、このように二つのアプローチから、同期型遠隔コミュニケーションをより豊かにする手法について論じる。そして、誰が誰にどの程度関心を持っているかを認識できる環境を構築し、その効果について議論するとともに、有用性について述べる。

## 1.3 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第1章では本研究の目的および概要について説明した。

第2章では、コミュニケーションについて述べ、対面環境のコミュニケーションを実現するために必要となる、非言語情報について述べる。また、非言語情報を用いてコミュニケーションを円滑にする関連研究をあげ、本研究の主張に至るまでの背景を述べる。そして次に、コミュニケーションをより豊かにする手段の一つに、生体情報を利用することがあると考え、生体情報について述べる。生体情報の中でも本研究では脳波に着目しているため、特に脳波について深く記述する。そして、脳波に関連する研究と、脳波以外の生体情報を用いた関連研究をあげる。

第3章では、非言語情報および生体情報を活用した仮想空間内コミュニケーション支援の提案をする。まず、誰に注目しているかを非言語情報を抽出することにより、直感的にユーザが認識できる仮想空間環境について述べる。その後、生体情報を用い、ユーザの関心・興味に深い関係がある、脳活動度・突発脳活動の指標を抽出し、それを仮想空間内でユーザが認識できる環境について述べる。さらに、生体情報から瞬きを認識し、それを他のユーザにフィードバックする手法について述べる。そして、非言語情報および生体情報を用いた関連研究の中での位置づけを明確にし、非言語情報および生体情報の相互利用が、今後の遠隔コミュニケーションで重要であることに言及する。

第4章では、第3章で述べた提案概念のうち、非言語情報の提供に焦点をあて、誰が誰に注目しているかを認識できる環境を実現したプロトタイプシステム e-MulCS1 の紹介をする。まず、e-MulCS1 の概要について述べ、その後、誰に注目しているかを非言語情報の適用により解決する手法として、その入力装置の実装方法、および仮想空間内での表示方法について言及する。そして、提案内容の有用性を評価するために実験を行い、その結果をもとに考察を行う。

第5章では、第3章で述べた提案概念のうち、生体情報の提供に焦点をあて、それぞれの参加者の脳活動状態を認識できる環境を実現したプロトタイプシステム e-MulCS2 の紹介をする。まず、e-MulCS2 の概要について述べ、その後、参加者の関心や興味度に大きな関係がある脳活動度・突発脳活動の抽出方法について述べる。また、話に関心があるかを知る上で重要な指標となる瞬きを認識する手法についても述べる。そして、本手法を用いて抽出した脳活動度・突発脳活動・瞬きの情報をどのように仮想空間内に表示したかについて述べ、3章で述べた提案が再現されていることを説明する。その後、生体情報が実際に参加者の状態を的確に表現していることを、評価実験を通して確認し、さらに、生体情報が実際のコミュニケーションにどのような影響を与えたかについても考察する。

そして、第6章で結論を述べて、本論文を締めくくる。

## 第2章 研究の背景および関連研究

## 2.1 はじめに

本研究では、遠隔コミュニケーションに非言語情報および生体情報を用いて、誰が誰にどの程度関心を持っているかを認識できる環境を実現することを目指している。

本章では、まずコミュニケーションについて述べ、対面環境における人間間のコミュニケーションを実現するために必要となる非言語情報について述べる。また、非言語情報を用いてコミュニケーションを円滑にすることを目的とした関連研究をあげ、本研究の主張に至るまでの背景を述べる。

次に、コミュニケーションをより豊かにする手段として、生体情報を活用する手法について述べる。その中でも本研究では脳波に着目しているため、特に脳波について深く記述する。そして、脳波に関連する研究と、それ以外の生体情報を用いた関連研究をあげる。

## 2.2 コミュニケーション

人間は、常に自分の感情・態度・知識・情報を相手に伝える意思があり、またそれを受けた相手は、反応を示すことによって相互に意思を伝達する。そして、お互いの意思を相互に伝え合い、相互作用するために、コミュニケーションを行う。原岡 [4] が「人間社会の基礎はコミュニケーションにある」と述べている通り、人間社会にとってコミュニケーションは不可欠なものである。

コミュニケーションを定義することは、定義をする人の視点の置き方によって異なるため困難である。Dance と Larson [5, 6] は、著書「人間のコミュニケーションの機能」の中で、過去に出版された研究書や論文、百科事典などの文献から引き出した結果、126 にも及ぶコミュニケーションの定義を得ている。

そのように数ある定義の中で、本研究では、コミュニケーションを「人から人への符号による情報の移動を含む過程である」と定義する。

コミュニケーションには、さまざまな分類がある [7]。その中でも、言語コミュニケーションと非言語コミュニケーションによる分類が主流であり、数多くの文献で論じられている [2, 3, 4, 7, 8]。

言語コミュニケーションは、言語によるコミュニケーションのことを示し、人間特有の言葉を用いたコミュニケーションのことを示す。文字を用いたコミュニケーションは言語コミュニケーションであり、また対面環境での会話によるコミュニケーションの中にも、言語コミュニケーションの要素は多く含まれる。たとえば会話をしている最中、その会話の中で出てくる言葉そのものが言語コミュニケーションに含まれる。すなわち、人が人に意思を伝達する際に、人間が作り出した言葉を用いる手法が言語コミュニケーションである。

言語によるコミュニケーションは、会話やプレゼンテーションの際などに重要となる。したがって会話をする際に、何を話すか、その話す内容を吟味する必要性が高くなる。コミュニケーションにおいて、言語によるコミュニケーション以上に重要な役割を果たしているのが、非言語情報を用いたコミュニケーションである。

コミュニケーションは、言語情報と非言語情報のどちらか一つが使われて行われるのではなく、常にどちらの情報も用いられる。よって、どちらか一つが損なわれる環境では、円滑なコミュニケーション環境は実現しない。

本研究では、非言語情報の重要性について考慮しており、特に遠隔コミュニケーションシステムで、非言語情報が欠如することによる弊害に着目している。

## 2.3 非言語情報とコミュニケーション

本節では、非言語コミュニケーションについて述べ、非言語情報の分類とその役割について述べる。そしてその分類の中で、これらの情報を既存研究ではどのように扱ってきたかを関連研究を示して説明する。

### 2.3.1 非言語コミュニケーションとは

言語コミュニケーションは、人間の作り出した言葉そのものによるコミュニケーションであることは、2.2節で述べた。それに対して、非言語コミュニケーションは、言葉そのものではなく、言葉以外の情報をもとに相手に伝わるコミュニケーションである。たとえば、一対一のコミュニケーションを例にしてあげると、話の内容そのものは、言語コミュニケーションに含まれる。それに対し、聞き手のうなずき、瞬き、注目している方向、視線、しぐさ、容姿や、話し手のジェスチャー、声の強弱、声のピッチ、視線などの情報は、すべて非言語コミュニケーションに含まれる。

研究者によって多少の差はあるものの、人間のコミュニケーションにおいて、その約65%が非言語情報によるものであるとの研究例 [9] もあり、言語情報以上に非言語情報がコミュニケーションに与える影響は大きい。

### 2.3.2 非言語情報の分類と役割

非言語情報には多くの分類が存在し、その分類法も研究者によって異なる [4, 10]。その中で、パターンソン [11] の分類を原岡ら [4] が再分類したものを示したのが、表 2.1 である。

このように非言語情報には多くの種類が存在し、コミュニケーションではこれらの非言語情報が大きな役割を果たす。社会的相互作用の中で果たす非言語コミュニケーション

表 2.1: 非言語情報の分類 [4]

| 非言語情報 | 内容                       |
|-------|--------------------------|
| 対人距離  | 空間的配置, 他者間距離             |
| 体の動き  | 体の向き, 体の動き, ジェスチャー, 姿勢など |
| 表情    | 微笑み, 顔をしかめるなど            |
| 視線    | 誰の方向を向いているか, 凝視しているかなど   |
| 接触    | 触れる, 抱き合うなど              |
| 準言語   | 話の間, 声の多きさ, 流暢さなど        |
| 嗅覚作用  | 他者からの香りなど                |
| 人工物   | 化粧, 服装, 装飾品など            |

の機能について, パターソンは情報提供, 相互作用の調整, 親密さの表出, 社会的調整, サービスと仕事上の目標の促進の5つの機能を上げている [12]. 情報提供は, しかめ面などを通じた表情などの非言語が, 相手に情報を伝える上で, その補完をする役割を示す. 相互作用の調整は, 聞き手のうなずきや姿勢などの非言語情報により, 話し手が会話を続けるか, 別の話題をするかなどを決め, 相互作用する役割を示す. 親密さ表出機能は, 人間同士の親密度が高いことを, 対人距離を小さくすることにより表す機能を示す. 社会的統制機能とは, 会議などの際, 準言語である声の大きさを大きくすることにより, 発話者が発言に自信を持っていることを他の参加者に示すことを可能にする. サービスと仕事の機能とは, 身体接触などの非言語情報を伝えることが, お互いの親密度を上げることに貢献することを示している.

以下に, 分類分けされたそれぞれの非言語情報について説明する.

### 対人距離

原岡ら [4] の定義の通り, 対人距離とは相互作用において人と人とがとる物理的距離のことを示す.

コミュニケーションにおいて対人距離は重要な役割を果たしている. 二人が話しているときに, その二人の距離が近ければ近いほど, 仲が良いことが分かる. 男女の関係においても, その親しさは, 二人の距離をみることによりある程度は推測できる.

また会議の際の席順も, コミュニケーションに大きな影響を与える. 特に日本では, 出入り口から一番遠くに座っている人が一番発言権があることが多く, その机配置次第で, 発言する頻度や内容が変わる. また, 自由に席に座るときに, 仲が良い人同士が近くに座るなども, 対人距離がコミュニケーションに大きな影響を与えている例の一つである.



対人距離の非言語情報が欠如することにより、誰が自分のそばに座っているか、誰に話しかけるときは大きな声で話したほうがいいのか、誰が一番発言権のある人か等の情報が欠如する。これは対面環境と同等のコミュニケーションを行うことを考えると、大きな弊害となる。

### 体の動き

体の動きは、非言語情報の中でも重要な役割を果たしている [10]。コミュニケーションを行っているときに、人々は常にジェスチャーなどを交える。言語が違う人同士でも、ジェスチャーのみで意思疎通を図れることから、体の動きは重要な役割を果たしていることが分かる。また姿勢が悪い、発表の最中に下を向いて話すなどの体の動きから、その人が頼りなく見える。

コミュニケーションにおいて、相手の体の動きから相手が自分の話に関心を持っているかを認識できる。たとえば話している最中に、相手が全く違う方向を向いていたら、自分の話している内容に関心を持っていないと認識できる。一方、相手が体を自分に向け、身を乗り出して聞くなどの体勢をとれば、それは自分の話に関心を抱いている可能性が高いことを認識できる [7]。このように体の動きは、人間のコミュニケーションにおいて重要な役割を果たす。

体の動きの非言語情報が欠如することにより、誰が自分の話を聞いているか、どの程度関心を持って聞いているのか、聞き手はどのような態度で自分の話を聞いているかなどを認識できなくなる。これはコミュニケーションを円滑に進めていく上で大きな弊害になる。

### 表情

表情は、人間の感情などを認識する上で重要な役割を担う非言語情報である。人に話しに行くときに、日本語では「顔をうかがいに行く」という表現をすることがあるが、この言葉の使い方からも、表情を見ることは、コミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている。

人は、相手が関心を持っているかをその表情から認識することが多い。また、表情の中でも瞬きの頻度は、相手が関心を持っているかどうかということと深い関係があるという研究結果 [13, 14, 15] もあり、瞬きをはじめとした表情を伝えることは重要である。よって、表情の非言語情報が欠如することにより、相手が会話に関心を持っているかを認識できなくなり、コミュニケーションを進めていく上で弊害になる。

## 視線

相手がどの方向を見ているか、どのような目つきで見ているかという視線の情報も、コミュニケーションでは重要な役割を果たす！「目は口程に物を言う」という言葉があるほど視線は重要であり、話し手は常に相手の視線を確認しながらコミュニケーションを行う。

視線も相手に関心を持っているかを認識する上で、有益な非言語情報である。体の動きで相手が自分の方向を向いていないと関心を持ってもらえてないと感じることは前述したが、視線に関しても同様のことが言える。したがって、視線の情報が欠如することも、相手の関心度合いを知る上で重要な情報が一つ減ることを示しており、円滑なコミュニケーションを進める上での弊害になる。

## 接触

接触は、触れる・抱き合うなどの非言語情報を示す。人はコミュニケーションをする際に、相手の肩をたたく・頭をなでるなどをし、言語情報だけでは表現できない親密度を接触を通じて表現する。またスポーツなどのレッスンでは、接触を通じてスキルの伝達も行われる。

接触することができない環境では、このような親密度を表現することができない。またスポーツなどでレッスンを受けても、接触の情報がない限り、十分な上達を見込めない。このように接触も重要な非言語情報の一つである。

## 準言語

話の間・声の大きさなどを示す非言語情報が準言語である。準言語も重要な非言語情報の一つである。文字を読み上げるソフトウェアが存在するが、このソフトウェアで物語を読むのと、お母さんが子供にその物語を読み聞かせるのでは、伝わる情報量が大きく異なる。

準言語は、発言者の自信などを知る上でも重要な要素になる。声の大きな人の発言は、自信が持っているように聞こえるといわれるが、これも、話の内容そのものよりも準言語情報がコミュニケーションに大きな影響を与えた例である。

また、準言語は聞き手に関心を持っているかを知る上でも重要な役割を果たす。話をしているときに、聞き手が力強くうなずくなどの反応を示してくれれば、話し手は聞き手に関心を持っていることを認識できる。

## 嗅覚作用

嗅覚作用とは、香りなどを通して嗅覚を刺激することを示す。そして、このときの香りなどの情報も非言語情報の一つに分類される。人は香水の香りなどで、相手に好意を持ちやすくなることがある、口臭がある人などの話はあまり聞きたくないなど、嗅覚作業もコミュニケーションにおいて大きな役割を果たす。

## 人工物

人工物は、化粧・服装・装飾品などを示している。人は相手の身だしなみで、その人のことをある程度判断されると言われることから、人工物がコミュニケーションにおいて重要であることが分かる。

人工物の情報が欠如することにより、相手がどのような服装をしているのか、化粧をしているのかなどが分からず、相手の詳細な情報を認識することが困難になり、コミュニケーションに影響を与える。

### 2.3.3 非言語情報を伝達する手段

遠隔コミュニケーションを実現する上で、言語情報だけではなく非言語情報を遠隔地に伝える需要が増えており、それに伴い非言語情報を伝達するさまざまな技術が実用化されている。

遠隔コミュニケーションでよく使われている電話による音声通信においても、非言語情報は提供される。電話によるコミュニケーションでは、言語情報以外に準言語情報が伝達されており、声の強弱、間とり方などを相手に伝えることを可能にする。しかし、準言語情報以外の情報を伝達することができない。語学が堪能でない人が、対面で話すときよりも電話で話すときのほうが、コミュニケーションがとりにくいとよく言われるが、電話では準言語以外の非言語情報が欠如することにより、このような現象が起こる。

より多くの非言語情報を提供する手段として一般的なものが、ビデオ会議のように、音声通信に動画情報をあわせて提供する手段である。動画情報を伝達することにより、準言語に加え、体の動き、表情、人工物などの準言語を提供することが可能になり、より対面環境に近いコミュニケーション環境を構築できる。しかしビデオ会議システムでは、非言語情報を十分に提供しているとは言い切れず、対面環境と同様のコミュニケーション環境は構築できていない。また対面環境と同等の臨場感を出すためには、等身大の表示装置などが必要になり、コストがかかるとともに、普及を阻害する要因となる。

CG(コンピュータ・グラフィックス)や映像の合成技術を利用して仮想空間を構築し、その空間の中にユーザの代理となるアバタを配置し、そのアバタを介したコミュニケー

ション手法も実用化されつつある。この手法では、実空間と仮想空間を結ぶ入力技術と出力技術、そして仮想空間を制御するシミュレーション技術から成り立っている。主な入力デバイスとしてはデータグローブがあり、手の位置や動きを検出して、仮想空間中の物体に触れたり、動かしたりすることが出来る。視覚を利用して臨場感を提供するものとしては、ヘッドマウント・ディスプレイがあり、頭の位置、向きを検出して、無意識な頭の動きに合わせて視線と一致した広い視野の立体映像を見ることが出来る。

#### 2.3.4 非言語情報伝達に動画像を用いた関連研究

数多くの研究者が、動画像を用い、非言語情報を提供する環境を提案してきた [16, 17, 18, 19, 20, 21]。本節では、その関連研究を紹介する。

NEC の MERMAID [16, 17, 18] は、グループウェアのプラットフォームとして開発されたシステムである。MERMAID は、遠隔多者（任意の数の参加者）間での全ての情報メディア（文字 + 図形 + イメージ + 手書き + 音声 + 動画）のリアルタイムな同報・交換、共有、処理を実現した世界最初のシステムである。

このシステムの開発時に掲げられた目標には、広域分散環境・多地点多者間（人数の制限なし）での利用・机上のワークステーションを利用・動画を含む全ての情報メディアのリアルタイムな交換、共有、処理（マルチメディア情報の同報通信と共有ウィンドウ制御）・既存の OA 環境との融合がある。

このシステムは、グループウェアの基本機能である参加者全員の画面情報の同一性を保証するため、共有画面・共有ウィンドウへのアクセス（書き込み、消去、操作）権に関し、4 種類の制御モード（議長指名、要求順、ボタン、非制御）を提供している。非制御モードでは、画面情報の同一性は保証されなくなるが、全員が同時に情報の作成や加工が可能なので、会議を効率よく行える。

会議途中の参加・退席が自由である事に加え、ひそひそ話に相当するサブグループの構成も行えるようになっている。

MERMAID はアメリカを含む 12 地点 40 台以上のワークステーションを結び、4 年以上にわたって実際の利用が行われている。このシステムは、プラットフォームであり、アプリケーション次第で様々な方面への応用が可能になっている。

Montage は、分散環境において、“glance”（ちらっと見ること）をサポートしたデスクトップビデオ会議システムで、分散化されたグループに対し、「周りの状態に応じて話しかける」という pre-interaction をいかに提供していくかを研究の目的としている [19]。

この研究では、相手の所在確認や相手と話せる機会を交渉したりすることを pre-interaction と定義して、そのような interaction が起こる状況のモデルとして、以下の 3 つを定義し、その特徴について次のように述べている。

### telephone モデル

telephone モデルは、「相手がいない」、「いないとき他の人が処理しなければならない」などオフィスの生産性を低下させているが、プライバシーに関しては完全に守られている。

### overview モデル

overview モデルとは、周りの状況を傍らで映すようなモデルである。それは、監視カメラと同じで、どこの画像でも得られる代わりに自分が見られているのかが分からないので、プライバシーの保護の点で問題がある。特定のグループの特定の話題には有効だが、使用者はそれ以外の場合、カメラに写らないようにしてしまうことが多い。

### hallways(戸口) モデル

人が誰かと話すためにオフィスを見て周り、廊下を歩き回るときに起こることをモデル化したもので、Montage はこのモデルに基づいてシステムを構築している。このモデルの特徴は、プライバシーの保護とその制御が行える、コミュニケーションをするための適切な機会を見つけやすい、相手が戸口に立つまでは足音がするなどがある。

Montage はこの hallways モデルに基づきシステムを構築し、ネットワークを通して相手と映像を用いて話すことができる。相手と話すときは、いきなり音声および映像が接続されるのではなく、始め映像のみが接続されて (glance)、話しかける方はこの映像を見て話すか話さないか判断できるようになっている。そして、話すと判断するならば音声も接続される。さらに、映像が現れるときも唐突に現れるのではなく、足音がし、画面がフェイドインするようになっている。

また相手が不在などで話せないとき、Montage ではオンラインカレンダー・Stickup note(スクリーンに注意書きを残しておく機能で、“Glance Back”によってすぐ見返すことができる)・e-mail を用いたコミュニケーションツールを可能にし、同期から非同期への通信にもある程度配慮している。

グループ(9人)に9週間にわたって行った評価では、大部分の glance はすぐには双方向のコミュニケーションには発展しなかったことが分かった。したがって Montage は、人々が簡単にコンタクトをとれるようにすることだけでなく、コンタクトに至る pre-interaction を支援することができているとしている。

また、カレンダーを見たり Stickup モードを使ったりする回数は少なかったが、この機能自体は好評であったことがいわれている。さらに今後、ユーザがかけてくる個人やグループによって、その接続許可をカスタマイズできるようにすることや多人数の会話を支援していくことが重要である。

Montage は、ユーザがコミュニケーションを行うための適切な機会を発見するのに有効な映像的きっかけを提供している。Montage は音声だけでなく映像が双方向のコミュニケーションにおいて有効であることを実証しただけでなく、映像がどのように pre-interaction を支援するべきかについても探求している。映像を用いることにより、コミュニケーションの始まる前の交渉を自然な形で行うことが可能になる。Montage では、ユーザが双方向のコミュニケーションの適切な機会を見つけるために、映像を使うことで従来のデスクトップビデオ会議システムの映像の使用法とは明らかに異なる方法を実演している。

トロント大学の Hydra は、複数のモニタを利用して、テーブルを囲んでいるような状況を再現するシステムである。[20]

1台のカメラ、モニタ、スピーカを使用し、1画面中に同時にすべての参加者を映し出す一般的な在席会議システムの方法では、個々の参加者に注意を注ぐ、誰かに注目されていることに気づく、2人以上の同時の発話を聞き分ける、ヒソヒソ話をする、その状態で2組以上に別れて同時に会話をすることができないなど、さまざまな課題を抱えている。

研究者は、これらの原因が、カメラ、モニタ、スピーカが1つしかなく、顔の向きや視線等で会話の流れを制御することが不可能になっている点にあると考え、その改善を狙って Hydra の設計を行った。Hydra は、小型のカメラ、モニタ、スピーカが一体化されたユニットを遠隔地の相手と同じ数だけ用意し、これらを対面環境で参加者が実際にいるはずの位置に配置して利用する。

そして対面環境での会話、Hydra を用いた場合の会話、さらにビデオ会議のような1画面表示システムの例として“Picture in picture(PIP) device”を用いた場合の会話について、比較・分析を行っている。

しかし実験の結果では、PIP と Hydra の間に大きな違いを見つけることは出来ず、アンケートの結果により、並列な会話が可能になったこと、会話を追うのが楽になったことを確認するとどまっている。顕著な差を出せなかった一つの原因として、画面が小さかったこと、音声のコントロールをしていなかったことを挙げており、特に「画面が小さいことによって、視線を追う効果が減退された」と指摘している。

人のいる位置にモニタを配置するという発想は古くからあり、Bell Northern Research などで以前から研究されている。10年ほど前の論文の中でも、このようなタイプの会議システムは、“Virtual Space System”として取り上げられている。従って Hydra の特徴はユニットが小型で、自分の机の上で会議を行える点にある。

MAJIC(Multi-Attendant Joint Interface for Collaboration) システム[21]は、既存のテレビ会議システムの問題点を克服し、より自由度の高い、人間中心のテレビ会議システムの構築を目指したものである。MAJIC は、以下のコンセプトをもとに設計されている。

- 等身大の相手画像との視線一致

等身大の表示を行うことで、より細かなしぐさの伝達が可能になるだけでなく、身

体動作を使ったコミュニケーションも活発になることが期待される。

- 1枚の湾曲スクリーンにシームレスに投影

1人ひとりを四角い枠に閉じ込めることなく、すべての相手を1枚のスクリーン上に投影し、後ろに連続した1枚の背景を合成することで人と人との間をシームレスにすることが出来る。このようにシームレス映像を映し出すことで、臨場感・一体感の向上が期待できる。

以上のコンセプトを実現するために、MAJICシステムでは建装材として市販されているコントラビジョンを利用している。これは、透明なシートに特殊な技術を用いてドットなどのパターンを印刷した物で、シートの表裏を全く異なったデザインにすることが可能となっている。

これをスクリーンとして、表が白、裏が黒の細かなドットが印刷されたものを利用することで、表からはスクリーンになり、裏からは透けてみえるような効果を得ている。相手の画像は、ビデオプロジェクタによってスクリーンの前面から等身大で投影される。そして、相手画像の顔の真後ろに配置されたカメラが、こちらの様子をスクリーン越しに撮影する。したがって、相手の目を見つめることは、すなわちその後ろにあるカメラを見つめることになる。

多地点間を接続するために、スクリーンを1.2mの半径の円周に沿うように湾曲させ、吊り下げて使用する。利用者はこの円の中心に座り、相手画像をそれぞれ実際の対面環境で位置する場所に投影する。個々の相手画像の顔の裏側にカメラを設置し、それぞれの相手に対して別角度から撮影した映像を送り出す。これにより、利用者が向きを変えたことを他の相手も認識することができる。

また、投影画像の大きさや位置を変化させることにより、仮想会議室内の座席配置を自由に換えることが出来る。

このように、スクリーンに隙間なく連続して投影しているため、同じ部屋にいるような一体感や臨場感が向上することになる。

MAJICシステムでは、ほぼ全ての行動が、スイッチを使ったり、オペレータを介したりすることなく行えるように設計されている。また、協調作業を行う空間を設けるのみで、そこで使用するアプリケーションの制約を全く設けていない。

### 2.3.5 非言語情報伝達に仮想空間を用いた関連研究

仮想空間の中でのコミュニケーションを実現する研究

数多くの研究者が、仮想空間を構築し、その中にユーザの代理であるアバタを存在させ、アバタを介したコミュニケーション環境を提案してきた。アバタは実在の人物の化身

を画面などに表示したもので、直接会えない人物との対面対話を仮想的に実現する手法として導入される。アバタを媒介とする対話は会議などのフォーマルなコミュニケーションの場や、コラボレーション環境、インフォーマルなコミュニケーション環境、コミュニティを仮想的に実現するために広く活用されている。

非言語コミュニケーションを実現するために開発されたアバタとしては Virtual Actor がある。Virtual Actor[22, 23, 24, 25] は対話者の顔つき、身振り等の非言語情報を仮想環境上で実現するインタラクティブなアバタである。Virtual Actor の動きは対話者の頭頂部、背中、両腕の4個の磁気センサーの角度と位置で計測して、表現されている。

InterActor[26] は対話者が語りかけると聞き手として多用な顔つき動作や身体動作で、体全体で引き込むように反応し、相手の音声が入ったときには話し手としてのコミュニケーション動作をすることでインタラクティブなコミュニケーションを実現する。入力には音声のみで、人と人とのコミュニケーション支援を手助けする。

PAW<sup>2</sup>[27] は、インターネット上に仮想空間を構築し、Web ブラウザからいつでも仮想空間の中に入ることを実現したシステムである。このシステムでは、多人数の参加者がアバタとして参加することを可能にし、チャットなどによるコミュニケーションを可能にしている。このシステムの仮想空間内での操作はマウスおよびキーボードを用いたものになっている。

PAW<sup>2</sup> では、仮想空間内のアバタの表情を豊かにするために、表情を操作するための専用のインターフェースを用意しており、ユーザはいつでもこれらのボタンを押すことにより、仮想空間内のアバタの表情に変化を与えられる。

BodyChat[28] は、仮想空間内のアバタを介したチャットシステムであるが、テキストチャットの言葉が、あらかじめ登録してあった言葉にヒットするとそのジェスチャー、表情をアバタが反映する。これにより、遠隔地にいる人同士が、お互いどのように感じているか、関心をもっているか、などを相手に伝える環境を可能にしている。

Valentine[29, 30, 31] では、仮想オフィス内にアバタを存在させ、そのアバタを通して、コミュニケーションを図る形態を採用している。このシステム内でのアバタは、ジェスチャー、身振り、手振り情報をジェスチャー認識技術を用いてアバタに反映させることができる。また誰の方向に注目しているか、その向きをビューチェアと呼ばれる特殊な椅子を用意し、その椅子に取り付けられたセンサーを用いて認識している。そしてその角度を仮想空間内座標に変換して、アバタに反映させている。本システムではアバタの顔の部分は静止画で表示されており、向いている方向の表示はあらかじめ撮影したそれぞれの顔の向きの画像を切り替えることにより、向きを変えたことを認識できる。

NTT の開発システム [32] では視線検出器と立体視用のメガネ、マイクを取り付けた帽子を装着し、視線情報と音声情報を利用して、アバタの目と口を動かす。このことにより、視線と音声を用いたコミュニケーションを可能にしている。



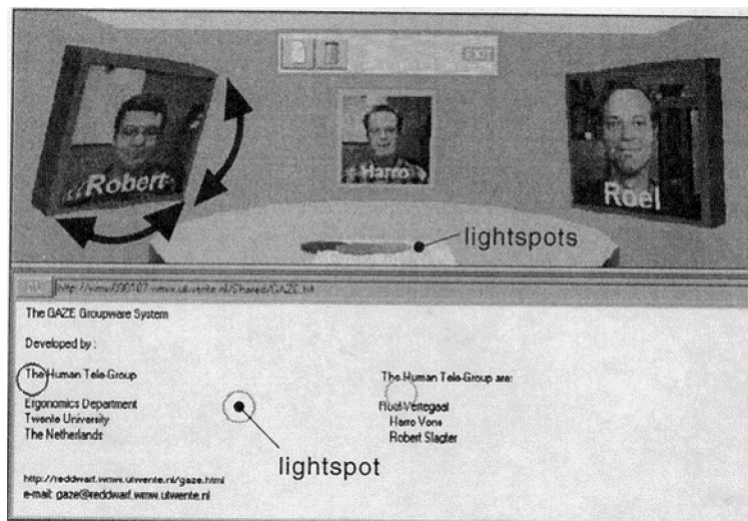


図 2.1: The GAZE Groupware System[33]

Vertegaal ら [33] の The GAZE Groupware は、仮想空間内に各ユーザの動画像を表示した板を表示している。そして視線認識装置を用いて、どちらを向いているかを検出し、その向きに応じて、各参加者を表示する板そのものを回転させ、誰がどこに注目しているかを認識できる環境を提案している。

### アバタの表情を表現する研究

顔表情の認識研究の多くはカラー CCD カメラにより撮影された静止画像あるいは動画像から顔の表情を認識するものである。リアルタイムでの認識処理を行うためには主に以下の3つのステップからなる。

- (i) 撮像画像から顔部分を抜き出す
- (ii) 顔画像から特徴を抽出し符号化する
- (iii) 抽出した符号を表情に変換する

(i) では主に色情報の認識による方法 [34, 35]、背景画像との差異から認識する方法、顔形状のテンプレートとのマッチングの方法等が使われる。それぞれ問題点があり、色情報では照明の当たり具合や人種により抽出が困難な場合もある。背景画像との差異では、カメラの移動や背景の変化により顔部分を正しく抽出できないことがある。テンプレートでは計算量が大きくなりリアルタイムで処理するのは難しい。

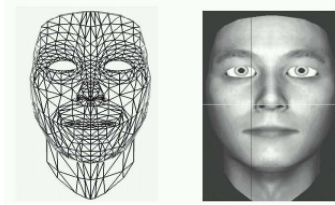


図 2.2: 3次元顔表情モデル [34]

(ii) では、目や口のような顔器官を抽出しその特徴点の位置変化を特徴量とするもの [34]、顔器官の輪郭形状の変化を特徴量とするもの [36]、顔の皮膚表面の移動を特徴量とするもの [37]、顔の皮膚温計測によるもの [38] 等がある。

(iii) では、特徴量から表情を推定する方法として、ルールによる推定 [34]、NN(ニューラルネットワーク)による推定 [39] 等がある。ルールによる推定手法では様々なルールが存在するが、心理学分野の表情研究で用いられている FACS(Facial Action Coding System) [40] と呼ばれる表情記述手法に基づくものがよく用いられる。FACS では表情を AU(Action Unit) と呼ばれる動作が独立で視覚的に識別可能な動作単位の組合せとして記述する。ただし、FACS は定性的に記述されているのでルール化の際には定量化が必要である。

下田らの研究 [34] はこの3つの手法を用いている。顔の動画像を CCD カメラで撮像し、その表情をリアルタイムで認識するものである。具体的には、目、眉、口の各端点に設定した 18 個の特徴点を画像処理によって抽出し、それらの位置関係を表す 16 個の特徴量を計算する。そして、顔の上部・中央部・下部の 3 つの領域において、その特徴点の変化量からファジィ推論によって、基本 6 表情が現れている強さを認識する。この際、顔表面の変化と表情との関連には、前述の FACS を用いている。

認識した顔表情の合成・出力手法は多岐にわたる。一般的に擬人化エージェントの顔表情を合成することが目的になり、その提示形態としては、物理的に表情を合成できる顔口ロボットによるもの [41] もあるが、コンピュータのディスプレイに顔の線画 [42]、2次元顔画像、3次元顔画像 [43] 等をアニメーション表示するものが多い。顔の映像についても似顔絵、漫画的な顔、顔写真、平均顔画像等の様々な種類がある。3次元顔形状モデルに顔写真を貼り付けて、表情変化に合わせて形状モデルと顔写真を変化させる方法が最もリアルであるが、必ずしもリアルな顔画像が必要というわけでもない。しかし、コンピュータの計算能力や表示能力が向上している現在、リアルタイムで上記の処理を行うことはさほど困難ではなく、様々な顔表情を合成することも可能である。顔表情の合成には、(i) 表情を顔画像の動作に変換する (ii) 顔画像を変形してアニメーションとして表示するの 2 つのステップがあり、合成した顔表情を利用する目的により様々な方法が提案されている。

ここでは、筋肉モデルを利用した表情合成の事例を紹介する [43]。この表情合成手法は、図 2.2 に示すような 882 ポリゴンからなる 3次元顔形状モデルに顔写真のテクスチャを貼

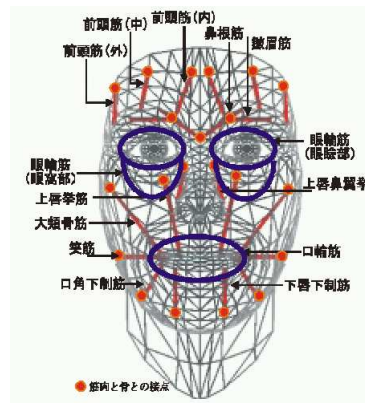


図 2.3: 筋肉モデルの配置 [34]

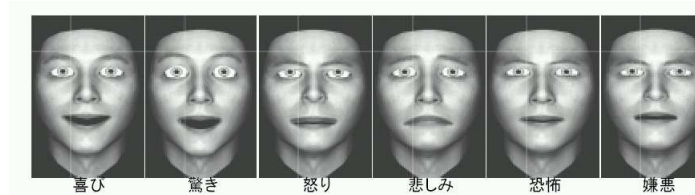


図 2.4: 表情合成例 [34]

り付け，表情の表出に合わせてポリゴン頂点を移動させることによりリアルタイムで表情をアニメーションとして表示するものである．

人間の表情は，皮膚の下にある数十の表情筋と呼ばれる表情筋の収縮と弛緩や顎骨の移動によって皮膚表面が移動し表出されるものであり，この方法では表情筋の動きによる皮膚表面の移動をシミュレーションして顔表情として提示する．なお，モデル化した表情筋は図 2.3 に示すような主要な筋肉 29 種類である．合成した顔表情の例を図 2.4 に示す．

その他に，音声情報をもとに表情を変化させる研究 [44, 45] なども行われるようになっており，仮想空間内アバタに表情を持たせる手法について，数多く議論されている．

## 2.4 生体情報とコミュニケーション

前節までは，コミュニケーションにおける非言語情報の重要性について述べ，非言語情報を用いてコミュニケーション支援を行う関連研究について述べた．本研究では，コミュニケーションを支援する手法として，非言語情報の活用以外に生体情報の活用があると考えた．そこで本節では，生体情報の特徴やその種類について言及する．そして，本研究に密接に関係がある脳波について詳細に説明する．さらに，脳波やその他の生体情報を用い

た関連研究を示し，どのような研究がされてきたかを述べる．

### 2.4.1 生体情報とは

生体情報とは人間の自律神経が支配する活動の中で，人間が意識せず発している情報と本研究では定義する．脳波，心電図，血圧などは，無意識に人間が発する情報であり，これらが生体情報の例である．

生体情報は，自律神経が支配する指標であり，覚醒度，生体リズム，ストレス，メンタルワークロード，疲労度など，人間の心身状態との関連性があり，どのような関連があるかについて数多くの研究が行われてきた [10] ．

コミュニケーションを行う際，多くの生体情報は提供されない．人間のコミュニケーションは，大別すると，2.2 節で述べたとおり言語情報と非言語情報から成り立つ．しかし脳波，心電図など人間の自律神経が発する生体情報は，コミュニケーションの際には相手に伝わらないことが多い．コミュニケーションにこれらの指標を適用することにより，コミュニケーションに新たな指標を与え，コミュニケーションそのものを変革する可能性がある．

### 2.4.2 生体情報の種類

生体情報には，数多くのものが存在する [10, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52] ．本節ではこれらの中でも代表的なものとして，脳波，心電図，動脈血圧，脈波，呼吸，皮膚電気活動を取り上げる．なお，脳波は本研究と大きな関わりがあるため，次節 2.4.3 でより詳細に述べる．

#### 心電図

胸部に装着した 2 つの電極間の電位差を測定し，人間の心臓の収縮に伴う電位変化を測定したものが心電図である．心電図では，心房の興奮を示す P 波，心室の脱分極を示す QRS，寝室の再分極を示す T 波により構成され，1 分間あたりの脱分極 (QRS) 間隔 (RR 間隔) は，心拍数として用いられる．

RR 間隔は，身体的負荷や精神的負荷に影響されるといわれ，作業負荷の指標として利用されることが多い．

### 動脈血圧

動脈血圧とは、血管にかかる圧力のことを示しており、収縮期血圧、拡張期血圧および平均血圧が指標として用いられる。

動脈血圧は、緊張や作業負荷などと密接な関係を持っており、動脈血圧を測定することにより、これらの有益な指標の取得が可能になる。

### 脈波

脈波とは、心臓から血液が押し出される時に血管が振動して発生する波形のことを示す。この波形による血管の容積変化を検出するのが容積脈波であり、血管内の圧力変化を検出するのが圧脈波である。一般的に脈波といえば前者を指す。

脈波の指標としては、脈派間隔・脈派波高・脈派伝達時間が用いられる。脈派は、心拍のや血圧の代用として用いられることが多い指標であり、人の作業負荷や精神状態を量子化する有益な情報の一つである。

### 呼吸

呼吸とは、体内で利用される酸素を体外から取り入れ、また体内で作られ排出される炭酸ガスを体外に排出する一連の活動である。呼吸の指標としては、呼吸時間、呼気時間、吸気時間、1回吸気量、1回呼気量がある。

呼吸の計測法としては、マスクを装着して流量を測るものが正確だが、ベルトにより胸囲の変化を測定するものも利用される。

呼吸は、リラックスしていると深くゆっくりになり、精神的作業負荷が大きいときは早く浅くなることが多い。呼吸はこれらの状態を認識する上で有益な生体情報の一つである。

### 皮膚電気活動

皮膚電気活動とは、精神性発汗を電氣的に測定する指標の総称で、主に精神性発汗を電位として測定する皮膚電位活動と、発汗によるコンダクタンス（抵抗の逆数）の増加を測定する皮膚コンダクタンス活動の二つに大別することができる。

これらの指標は覚醒水準の高さや、緊張度などの精神状態を抽出する上で有益な生体情報の一つである。

表 2.2: 脳波の変動要因

| 変動要因  | 例                        |
|-------|--------------------------|
| 年齢    | 新生児, 乳幼児, 学童, 少年, 成人, 老年 |
| 意識レベル | 睡眠, 精神的緊張, 注意集中, 不安, 思考  |
| 物理刺激  | 低酸素                      |
| 感覚刺激  | 光, 音, 体性, 開閉眼            |
| 薬物    | 精神安定剤, 飲酒                |
| その他   | 血糖値                      |

### 2.4.3 脳波

脳細胞は、脳の活動状態や様々な刺激に関連して周波数帯域 0.5 ~ 100 Hz, 20 ~ 数十  $\mu\text{V}$  の電位変化を示す。一般に、電位の周波数は脳の活動が盛んな時に高く、低調な時に低くなる。脳波は 1924 年にドイツの精神科医ハンス・ベルガーによって発見されたものである。脳の活動に伴って頭皮上に生じる電位の時間変化を記録したものが「脳波 (EEG, ElectroEncephaloGram)」であり、ハンス・ベルガーは 1929 年に初めてヒトの EEG 観測に成功した。脳波は、人間から常に発生し続けている生体情報の 1 つである [53]。

脳波は表 2.2 に示すように、年齢、緊張の度合いや意識レベル、血液性状、開閉眼や外界からの刺激、さらには薬物など多くの変動因子の影響を受ける。また、脳波として記録される電位は頭蓋骨を通った後の非常に微小なものなので、噛む、笑うといった顔面の筋肉の緊張などによりノイズが混入してしまう事もある。筋肉が緊張する際、筋細胞に電流が流れ、脳波計にこの電位変化が記録されてしまうために脳波にノイズが混入してしまう。その他にも、頭部の発汗や機器の交流雑音の影響を受ける事が確認されている。実際の医療現場でも、電動ベッド、心電図、人工呼吸器などによってノイズが混入する事がある。さらに、骨は絶縁体なので、手術などによる頭蓋骨の部分的な欠損がある場合には、見かけ上非常に強度が大きい脳波が記録される事もある [53, 54]。

脳波は、その周波数 ( $f\text{Hz}$ ) 帯域から  $\delta$  波 ( $f < 4\text{Hz}$ )、 $\theta$  波 ( $4\text{Hz} \leq f < 8\text{Hz}$ )、 $\alpha$  波 ( $8\text{Hz} \leq f \leq 13\text{Hz}$ )、 $\beta$  波 ( $13\text{Hz} < 40\text{Hz}$ ) の 4 つに分類する事ができる。

一般に、 $\delta$  波と  $\theta$  波は徐波と呼ばれ、覚醒水準の低下に伴う眠気や意識レベルの低下に

よって発生すると言われている。特に  $\delta$  波は睡眠が深い時に現れ、振幅は大きく  $100 \mu\text{V}$  近い波形が観察される時がある。また、正常成人では睡眠中以外に出現する事は無いので、脳腫瘍などの障害検出の診断情報として用いられる場合もある。 $\theta$  波は、入眠初期のまどろみ状態の時に出現し、振幅は  $50 \mu\text{V}$  以下である。小児期によく見られるが成長により次第に減少する。

$\alpha$  波は、目を閉じて光刺激を遮断したり、精神的に落ち着いた状態やぼんやりと目覚めた状態の時に頭頂部や後頭部で優勢となり、振幅  $30 \sim 50 \mu\text{V}$  程度の規則的な波形である事が知られている。意識レベルとも関連があると言われており、幼児から成人への成長過程で上昇し、高齢者では再び低下する傾向にある。心理学的では、 $\alpha$  波が覚醒の度合いを表しているとされており、一般にはリラックスしている時には  $\alpha$  波が現れ、覚醒している時には  $\alpha$  波が減衰するとされている [55]。しかし、 $\alpha$  波が全く観測されない被験者も少なくない。

$\beta$  波は、速波と呼ばれ、脳波の所見上は意識レベルの高い状態（関心、興奮、不安、緊張、集中、計算などの精神活動、痛み）で観察でき、振幅は  $20 \sim 30 \mu\text{V}$  と他の波形に比較して小さく、前頭部で顕著に観測される [53, 56]。 $\beta$  波帯付近の脳波は思考を要する作業を行う時に強く出現し、思考を要しない作業時にはあまり出現しないという報告もいくつかある [55, 57, 58, 59]。また、一般に「ゲーム脳」「テレビ脳」と言われているように、連続的に動画を見続けるなどの行為を行うと、前頭部の活動が鈍り  $\beta$  波が減衰してしまう現象も報告されている [60]。

ある一定の周期をもった波の連続を律動、リズム (rhythm) といい、2 つ以上の波の連続で背景となる脳波から明瞭に区別され、しかも、特徴的な形を示し一定の形で繰り返し起こるものを複合 (complex) と言う。これらの脳波や異常脳波の局在 (焦点)、分布を分析する事により病変の発生源を推定したり、一部の疾病の診断を行う事が可能である [61, 62]。

また、常に発生し続けている電位は自発電位と呼ばれるもので、常に頭皮上に現れている。これは、大脳皮質表面にあるニューロンの活動が皮質全面に渡って常に起こっているためである。逆に、特定の刺激を与えた際に脳波上に現れる成分を ERP (Event-Related Potential, 事象関連電位) と呼ぶ。ERP は刺激の物理的特性よりも、刺激の与え方や刺激の持つ意味、被検者の認知機能や心理的要因に大きく影響を受ける。

ERP には、刺激呈示方法の違いによっていくつかの種類がある事が分かっている。同じ刺激を繰り返し呈示し、時々違う刺激を挿入してその刺激を検出するような場合に発生する P300 (後期陽性電位) や、2 つで 1 組の刺激において、1 つ目を予告とし、2 つ目でボタンを押すなどの実験をした場合に発生する CNV (Contingent Negative Variation, 随伴陰性変動) などが有名である [63]。

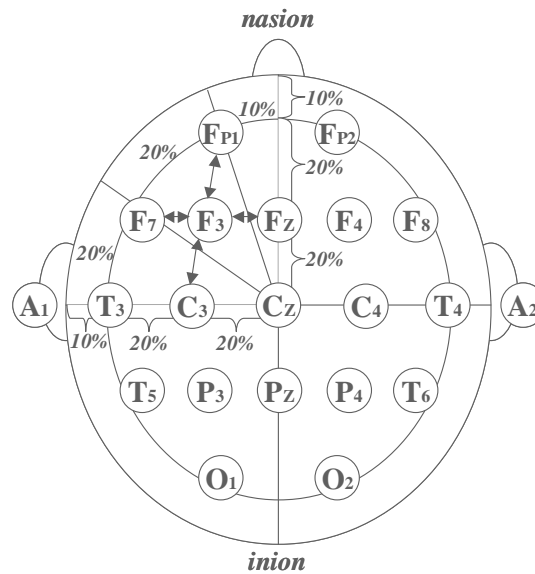


図 2.5: 国際 10 - 20 法

#### 2.4.4 脳波の測定

##### 医療用の脳波計

医療用の脳波計には、図 2.5 に示す「国際 10 - 20 法 (International 10 - 20 Method)」に従って電極が装着されている場合が多い。

この方法は Montreal 大学の H. Jasper により提唱された方法であり、モントリオール法、あるいは、ジャスパー法と言われる事もある。これは、左右については両耳間を、前後については鼻根点 (nasion, 鼻と額の間の窪み) と後頭結節 (inion, 後頭部の隆起点) の間をそれぞれ 10 %, および 20 % ずつに区分した位置に電極を装着する方法である。計測によって電極位置を定めるので、何度検査をしても、あるいは、被験者が変わっても、必ず同一部位につける事が可能であり、位置に関して再現性のある導出結果が得られる。基準用電極は一般的に零電位に近い耳たぶに装着する事が多い。電極には銀 - 塩化銀による脳波用円板電極が用いられ、その固定にはコロジオン液が推奨されているが、脳波用ペーストでも十分な場合が多い [56, 64, 65, 66]。

##### IBVA

医療レベルの精度を求められる場合には前節で述べたような脳波計を装着すべきである。しかし、簡易な脳波入力インタフェースや日常使用を想定したアプリケーションに脳波情報を適用する事を考えた場合、大量に電極がついた医療用脳波計では装着に過度な手





図 2.6: IBVA

間がかかり身体の自由がきかないという問題がある。

そこで、そのような場合には電極数が少ない簡易脳波計を利用する事も多い。図 2.6 は、IBVA Technologies 社 [67] が開発した簡易脳波計 IBVA (Interactive Brainwave Visual Analyzer) である。

IBVA は一般のパソコンや PDA などでも簡単に稼働させる事ができる簡易型脳波計測装置である。小型のセンサを専用固定バンドによって頭部に取り付けるだけで測定が可能であり、極めて手軽であると言える。また、センサに内蔵された 3 つの簡易型ボタン電極から前頭部の脳波信号を検出する事ができ、このアナログ信号は 8 bit のデジタル信号に変換された後、パソコンに接続した受信機に無線で送信され、パソコン内で信号処理される。

簡単に  $\alpha$  波や  $\beta$  波を計測する事ができ、医療用の脳波計と異なり、無線型の非拘束式で体を動かす事も容易なので、特定のパフォーマンス中の脳波を測定したり、自然な姿勢で音楽を聴いている時の  $\alpha$  波を分析したりするなど様々な解析に利用されている。また、脳波信号を利用した入力インタフェースとして使われる事もあるが、医療器具としての認定はされてない。

## アーチファクト

脳波を脳活動の指標として扱うためには、それが確かに脳の内部から生じたものであり、それ以外の原因で生じたのではないという事を確認しなければならない。脳波記録に混入する脳波以外の電位変化をアーチファクト (artifacts) と呼ぶ。

アーチファクトには生体に由来するものとそれ以外のものがある。生体に由来するものには眼球運動、瞬き、筋電位、発汗や心電図によるものなどが挙げられるが、その中でも脳波を記録する時に最も問題となるのは眼球運動と瞬きによるアーチファクト (ocular artifacts) である。眼球はちょうど乾電池の + 極と - 極のように、突起した角膜面が陽性、網膜面が陰性に帯電している。そのため、眼球を上下左右に動かすと周囲の電場が変

化する。また、瞬きをすると陽性に帯電した角膜上をまぶたがスライドするので、目より上側にある電極にまぶたを通して陽性の電位が伝わる。その結果、眼球運動や瞬きは脳波の 100 倍以上の電位を生じさせ、この影響は頭頂部付近にまで伝播し脳波の波形を歪めてしまう。

眼球運動や瞬きに由来するアーチファクトに対処する方法は 3 つ挙げられる。

第 1 の方法は、脳波記録中に眼球運動や瞬きをしないよう被験者に教示する方法である。被験者の眼前に注視点もしくは小さな絵を呈示して、脳波の記録中はそれを見つめておくように教示すれば、眼球運動は比較的容易に抑えられる。しかし、瞬きは意図せず生じる事があり、記録が長時間に及ぶ場合に眼球運動・瞬きを全くしないという事は不可能であるので、この方法だけでは十分にアーチファクトを除去できない。

第 2 の方法は、眼球の近くに装着した電極から EOG (electro-oculogram, 眼電図) を記録する事で眼球運動や瞬きを監視し、ある基準 (例えば  $\pm 80 \mu V$ ) を超える電位が生じた試行を分析対象から除く方法である。ただし、この方法はアーチファクトが基準以下の場合には除去できないという欠点がある。

第 3 の方法は補正法である。これは、瞬きや眼球運動による電位が脳波を記録している各チャンネルに与える影響を推定して、脳波データを補正する方法である。脳波記録に含まれる EOG の割合を回帰分析によって推定し、EOG データに回帰係数 (0.01 - 0.30 程度) を掛けたものを脳波データから差し引く。さらに進んだ技術として (1) 眼球運動と瞬きの電流発生源を等価電流ダイポールで近似してその影響を取り除く方法 (2) 眼球運動や瞬きをしている時に記録した電位に対して空間主成分分析を行い、水平眼球運動・垂直眼球運動・瞬きのそれぞれに対応した頭皮上電位分布パターンを抽出し、その分布を考慮しながら脳波データを補正する方法などが提案されている。しかし、補正法は手続きが複雑であり、また、補正した波形が「真の波形」に近いという保証が必ずしも得られないので、現段階で広く普及しているというわけではない。

生体以外に由来するアーチファクトには電極の装着不良や劣化・破損・断線によるものや、電灯線・電気器具による交流障害などがある。これらのアーチファクトは、原則として脳波を記録する時点で発見して除去しなければならないものである [63]。

#### 2.4.5 脳波を利用した関連研究

比較的簡易に計測できるという脳波の性質を利用して、脳波を日常生活の場で用いる研究や日常生活における人間の思考状態や感性の解析を試みる研究が数多く行われている。本節では、脳波を用いた関連研究を紹介する。

## 脳波を利用したインタフェース

人間の脳波を入力してコンピュータやアプリケーションを制御したりする BCI (Brain-computer Interface, 脳波インタフェース) の研究をここでは紹介する [68, 69, 70, 71, 72]. これらの研究は日常生活の場で脳波を使用する研究であると言える.

Wolpaw らは,  $\mu$  波と呼ばれる波形を側頭部から出現させられるように訓練を行い, その振幅値を利用してスクリーン上のカーソルを動かすという事を試みている [68]. しかしながら, 精度が最良で 70 % 程度である事や, 訓練による習熟度に個人差があるという事が報告されている.

また, 眼球運動の電位変動を測定し, それを利用したアイポインタを操作する研究も行われている [69]. 眼球は, その前面である角膜が後面の網膜に対して正に帯電しているので, 目を挟むように 1 対の電極を配置すれば眼球の偏移角に比例して電極間の電位が変動する. この電位を角膜網膜電位 (Corneo-retinal Potential) と言い, このようにして眼球運動を電位変動として測定する方法を「EOG 法」と呼ぶ. 2.4.4 節で述べたように, EOG はアーチファクト除去としても使用される [63]. この EOG 法を利用する事によって, 長時間使用しても疲労が少ない視線入力インタフェースの実現が可能である. ただし, この手法は以下のような問題を抱えている.

- (1) 眼球運動とは無関係に時間経過と共に電位が変動する (ドリフト現象).
- (2) 瞬きがノイズとして混入する.
- (3) 電極の貼り付け位置によっては表情を作る顔筋の筋電が角膜網膜電位に混入する事がある.
- (4) 垂直方向の眼球運動測定精度が水平方向より劣る.
- (5) 人によっては皮膚への電極貼り付けを不快に感じる事がある.

4 の問題は脳波を測定する事によって多少改善が見られる [70]. 眼球を右に動かした時は右後頭葉で, 左に動かした時は左後頭葉で, 眼球運動開始約 25 ms 前に電位が低下する事が分かっており, これを利用する事で左右の変化が分析可能になる.

脳波によって機器を操作しようという脳波スイッチの分野では, MCTOS というシステムが介護・福祉機器として実現されている [71]. このシステムでは額に取り付けたディテクタで生体信号を検出してスイッチ信号に変換し, そのスイッチ信号で機器を操作する事ができる, 使用する生体信号は以下のようになっている.

- 筋電信号: 目を強くつぶる. 眉毛を動かす. 奥歯を強く噛む.
- 眼電信号: 眼球を上下左右に動かす.

- 脳波：頭で強く念じる．意識を集中させる．興奮する，怒る．

「はい」「いいえ」という選択動作が可能であり，KOTOBAX というアプリケーションを併用すると言葉や体が不自由な人でも意思の伝達が可能になる．KOTOBAX には「挨拶」，「食べ物」，「便・生理」，「痛い・痒い」，「調子」，「飲み物・果物」，「生活」の項目にそれぞれ 28 種類の言葉，意思が登録されている．

さらに，BioControl Systems 社では，脳波の周波数成分の特徴を MIDI データに対応させて思考状態と音を関連付ける研究が行われている [72]．これは，主に筋電位（筋肉を動かした際に体内で発生する電気信号）の変化を 2 本の筋電センサバンドに取り付けられた銀 - 塩化銀の皿電極を利用して検出し，MIDI 情報に変換する装置である．このシステムは脳波や心電図から抽出したデータを扱う事もできる．

### 脳波と思考に関する基礎研究

ここでは，思考を行った時にどのように脳波が変化するか，また，どのような特性を脳波が示すかという，脳波と思考に関する基礎的な研究例を紹介する．

2.4.3 節でも述べたように，脳波は  $\alpha$  波や  $\beta$  波，雑音などの複数の要因が複雑に絡み合った時系列信号である．そのため，脳波の特性を調査する際には，脳波データを周波数分解して観測する機会が多い [73, 74, 75, 76, 77]．

しかし各周波数帯の中で，どの帯域が重要で，どの帯域が重要でないのか判断する事は容易ではない！ $\alpha$  波が多いからリラックスしている」であるとか「 $\beta$  波が多いから集中している」などと言われるが，決して一般的に言われるほど脳波と思考状態の関係ははっきり決められるものではない．例えば， $\alpha$  波が多いほど「落ち着いていて作業効率がいい」という事が言われるが，少し緊張して  $\beta$  波が出ている時の方が作業効率が良い事もあり，2.4.3 節でも述べたように，人によっては  $\alpha$  波がほとんど観測されない場合もある．さらに，脳波は個人差が大きい上に，同一人物でも時間帯・状況によって脳波と思考状態の関係は変化する．

そこで徳島大学の伊藤らは，遺伝的アルゴリズムとニューラルネットワークを利用して，対象とする周波数帯域を取捨選択する方法を取っている [78]．

彼らは，脳波データの中で特徴が強く現れている周波数帯域を抽出し，自発電位や雑音など不要な情報を多く含む帯域を除去して脳波パターンの分類・識別を行っている．

また，これに似た手法で徳島大学の小川らは音楽鑑賞時の脳波パターンの特徴を抽出している [79]．彼らは，計測した脳波の周波数成分の出現率によるデータ行列を作成し，主成分分析によって特徴を抽出，そしてニューラルネットワークにより各ジャンルの音楽鑑賞時の脳波パターンの検出を行っている．

また，特定のタスクを実行している時の脳波特徴を抽出しようとする研究も数多く行わ

れている。タスクの対象は、「随意運動」[80]や「作業」[81]といった幅広い概念のものから、「聴覚ストレスを受けている時」[82]といった具体的なものまで様々に渡っている。

中でも、知的作業と脳波の関係を調査した Veterans Administration Medical Center の Giannitrapani らの研究は興味深い[57, 83, 84]。

知的作業が行われる前に、脳内の神経細胞が化学変化を起こす事を知っていた彼らは、脳波の周波数成分の中には知的作業と強い関連を持つものがあると仮定し、知能テストを受けている最中の健常者の脳波を測定した。その結果、13 Hz 帯 (12 – 14 Hz,  $\beta$  波の低周波数成分) の脳波が、読解テスト、数学テスト、図形整列テスト中に優勢となり、それ以外のテスト中には優勢でなくなるという事が分かった。これは、 $\beta$  波が思考状態を推定する指標としてある程度有効である事を示している。

小山高専の中山らは精神作業が脳波の周波数帯域成分に与える影響について調査している[85, 86]。彼らは、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  の各周波数帯の代表ポイント数を 3 点とり、精神作業 (テレビ画面に表示した迷路 3 問を解いてもらうもの) 中の脳波を計測し、解析している。その結果、難しい問題で High –  $\alpha$  波および Low –  $\alpha$  波, Mid –  $\alpha$  波が増加する傾向が見られた。これは、精神作業の脳波への影響が  $\alpha$  波に現れることを示している。しかし、この解析はアーチファクトのある脳波データを用いており、信頼性のおける結果とは言い切れない。

大分大学の村井らは、ディベート中やコンピュータ操作中の脳波を測定している[87, 88, 89]。

特に、ディベート中の脳波については、以下のような結果が得られている。

- 閉眼安静時には顕著に  $\alpha$  波が現れる。
- 自分が発言する時は、 $\alpha$  波と  $\beta$  波が共に活性化する。
- メモをとっている時は  $\beta$  波が非活性化する。
- 自分に発言が求められる事を予測するといった、発言の予備段階から  $\alpha$  波と  $\beta$  波は活性化し始める。

発話においては、富士通研究所の Fujimaki らが、声を出さずに発話を想像するサイレントスピーチを ERP で観測できると報告している[90]。ただ、サイレントスピーチで発話内容の違いまでを検出する事は容易でない。

文字識別時の脳波変化を測定する研究もいくつか行われている[91, 92]。東京工業大学の阿部らは、漢字認知における脳波変化を測定している[91]。

漢字には、部首などの図形的特長があるため、漢字の認知過程には漢字の「図形特徴の認識」と「記憶と照合した認識」の 2 段階があるとされている。そこで、彼らは、ランダムに表示される「既知漢字」、「未知漢字」、「偽漢字」を被験者が識別している時の脳波を計

測する実験を行った。その結果、漢字の図形特徴を認識する際には後頭葉が活性化し、認知した漢字を記憶と照合させて認識する際には左側頭葉後部が活性化する事が分かった。

また、ATR 人間情報通信研究所の Callan らは、英単語の聴取、発話準備時に  $\gamma$  波が活性化する事を報告している [92]。

計算課題や数字記憶の際の脳波を解析している研究もいくつか行われている [93, 94]。北海道工業大学の山下らは、人間が計算など知性を働かせているときの事象関連脳波を計測している [93]。

周波数解析をおこなったところ、各波形の周波数成分はばらついており統一的な解析結果を得ることはできなかった。暗算課題と認知課題・計算入力課題について比較した結果、暗算課題の誘発脳波の主成分は 2.5Hz 以下であり、21 - 25Hz の成分も強く現れていることが確認された。さらに、8 Hz 付近の周波数が他の周波数よりも強くなっていた。この結果、計算にともなって現れる周波数成分は 2.5Hz を主成分として 8, 20 - 25 Hz の周波数成分であることが確認された。

また、東京工業大学の後藤らは数字記憶課題の課題解決時において、ホワイトノイズや音楽が脳活動に及ぼす影響を、課題に対する反応時間と脳波によって検討している [94]。

彼らは、8桁の数字を被験者が記憶している際の脳波を計測し、分析している。数字提示時には音環境としてホワイトノイズ・無音の条件を課した。・ ・ 波の3帯域のパワースペクトル密度を算出した。また、アーチファクト低減のために独立成分分析を適用して脳波成分を抽出している。この結果、反応時間はホワイトノイズの音環境では無音の場合よりも有意に長い時間を要しており、 波は影響があったが ・ 波は音環境で有意な差は認められなかった。この実験の結果、数字記憶課題における音環境は 波に影響を与えることが確認された。

## 脳波を利用して思考状態を推定する研究

2.4.5 節では、主に特定の思考を行った際の脳波変化を調査する研究事例を紹介した。ここではそれをさらに発展させて、脳波の変化から思考状態推定を行う研究事例を紹介する。

人間の感情を計測する方法として、脳波情報を利用した感性スペクトル解析法が提案されている [62, 95]。感性スペクトル解析法では、いくつかの感性要素に関する特徴が重ね合わせの原理に従っている。重ね合わせの原理とは、2つの要素が同時に存在する時、その特徴量が各要素の特徴量の和になって現れるというものである。この時、ある部分の脳波と別の部分の脳波の相互相関を判断するために、計測に使用されている 10 個の電極から 2 個の電極を取り出す 45 通りの組み合わせを考える。この各組み合わせについて  $\theta$  波、 $\alpha$  波、 $\beta$  波をそれぞれ分析する。3つの周波数帯域が存在するので、合計 135 個の相互相関係数の値 ( $y_1, y_2, \dots, y_{135}$ ) が得られる事になる。そして、この中から人間の 4 つの感性要素に関する特徴量を導出するのである。次に、4 つの感性要素 (怒り/ストレス、

喜び, 悲しみ, リラックス) のレベルをそれぞれ  $z_1, z_2, z_3, z_4$  とし, 以下のような式を立てる.

$$z_1 = c_{1,1}y_1 + c_{1,2}y_2 + \dots + c_{1,135}y_{135} \quad (1)$$

$$z_2 = c_{2,1}y_1 + c_{2,2}y_2 + \dots + c_{2,135}y_{135} \quad (2)$$

$$z_3 = c_{3,1}y_1 + c_{3,2}y_2 + \dots + c_{3,135}y_{135} \quad (3)$$

$$z_4 = c_{4,1}y_1 + c_{4,2}y_2 + \dots + c_{4,135}y_{135} \quad (4)$$

この時, 係数 ( $c_{1,1}, c_{1,2}, \dots, c_{4,135}$ ) は全部で 540 個必要になる. これらの係数は, (5) 怒り / ストレス (6) 喜び (7) 悲しみ (8) リラックスのように 4 つの感性要素のレベルが以下の式に該当するような感性要素を被験者が作る事で決定している.

$$z_1 = 1, \quad z_2 = 0, \quad z_3 = 0, \quad z_4 = 0 \quad (5)$$

$$z_1 = 0, \quad z_2 = 1, \quad z_3 = 0, \quad z_4 = 0 \quad (6)$$

$$z_1 = 0, \quad z_2 = 0, \quad z_3 = 1, \quad z_4 = 0 \quad (7)$$

$$z_1 = 0, \quad z_2 = 0, \quad z_3 = 0, \quad z_4 = 1 \quad (8)$$

しかし, 「怒りの感情だけを出す」などのような事は普通の人には極めて困難である. そこでこの研究では, 感情コントロールができるようにイメージングの訓練を受けた人たちによって純粋な感性要素を作成していた.

こうして作成された 4 つの純粋な感性要素の値を元に式 (1) から式 (4) の係数を求めている. この時, 求め出された 540 個の係数 ( $c_{1,1}, c_{1,2}, \dots, c_{1,135}$ ), ( $c_{2,1}, c_{2,2}, \dots, c_{2,135}$ ), ( $c_{3,1}, c_{3,2}, \dots, c_{3,135}$ ), ( $c_{4,1}, c_{4,2}, \dots, c_{4,135}$ ) の事を「感性マトリクス」と呼び, 被験者の脳波から計算された 135 個の相互相関係数の値 ( $y_1, y_2, \dots, y_{135}$ ) を 1 組にして「入力ベクトル」, 感性要素のレベルの算出方法を「感性スペクトル解析法」と呼んでいる.

この手法を製品などの評価に用いた研究もいくつか行われている. 例えば, 化粧品や美容行為の心理的影響の評価 [96] や, 衣服の着心地の評価 [97], ソフトウェアのユーザビリティやインタフェースの評価 [98, 99], 対話分析に言葉と感性スペクトル解析法を利用した研究 [100] などが挙げられる.

奈良先端科学技術大学の山川らは、脳波を用いた論理的思考状態の推定の方法について検討している。

彼らは、特にプラントオペレーションにおける人間の心の動きを知ることを目的として、人間の思考状態を脳波から推定することを試みた。感性スペクトル解析法では、4つの感性要素（怒り/ストレス、喜び、悲しみ、リラックス）から感情が構成されるとしているが、オペレータの思考状態を「自信」、「推測」、「とまどい・混乱」という3つの基本モードに分類している。そして、感性スペクトル解析法のモデル構築手法を応用して、各々の基本モードの強さを計算するオペレータの思考状態推定モデルを作成している。この手法を用いて数学問題解答時における人間の思考状態の推定を行い、各モデルの出力と被験者を観察した記録を比較した。実験タスクは二元一次連立方程式と三元一次連立方程式であったが、やや難易度の高い三元一次連立方程式の時の方が「推測」「とまどい・混乱」を示すモデルの出力が大きくなっていることや、実験中の被験者を観察した様子とモデルの出力の様子が比較的一致していることより、本手法で一般的な論理思考状態の推定ができていたと言う結果を得ている。また、この研究では脳波データをオフライン解析しているが、リアルタイムでの推定を目指している。

また、早稲田大学の中沢は、作業中の人間が満足しているかどうかを独自の手法で脳波から判断する「満足感計測システム」を開発した[101]。このシステムを利用すれば、主観的な言葉に頼らず満足感を定量化する事が可能になるので、ユーザーの感性を満たす製品の開発手法に利用したり、人間が満足するように機械システムを制御させたりする事などに応用できる可能性がある。

このシステムではノイズに強い双電極を額に貼り付けて脳波計測を行う。額は満足感などの感情を司る前頭葉に近いので、計測に適した場所であるとの事である。脳波のうち、主な分析対象となるのが $\alpha$ 波と $\beta$ 波である。検出した脳波は無線でパソコンに送信した後、FFTを利用して周波数スペクトルに分解する。その際、利用する周波数域は $\alpha$ 波と $\beta$ 波を含み、かつノイズが入りにくい5-30 Hzである。5 Hz未满是眼球運動、30 Hz以上は筋肉の動きの影響を受けるので、これらの帯域を使用してしまうと正確な脳波測定ができない。

続いて、周波数スペクトルをニューラルネットワークに入力信号として取り込む。その際、ニューラルネットワークには予め様々な作業を通して周波数スペクトルと教師信号を与えて学習させておく。与える教師信号は満足が1、不満足は0である。また、ノイズの影響を減らすためにノイズの教示も行っておく。そして、入力した周波数スペクトルの形（パターン）から満足か不満足かどうかをニューラルネットワークがパターン認識を行って判断し、0-1の値を表示する。値が0に近いほど不満足、1に近いほど満足という事になる。約4秒ごとに値を出力するため、満足感の細かい時間変化を調べる事が可能である。



その他にも、脳波測定を利用して、画像品質が鑑賞者に与える影響を客観的に評価する研究 [102, 103] や、気泡浴が人間に及ぼす心理的影響を調査する研究 [104] などがある。また、脳波を用いて眠気を調べ、自動車の運転の際にフィードバックする研究 [105] など、数多くの研究にて脳波が心理・思考状態を推定する際に利用されている。

#### 簡易脳波計を利用して思考状態を推定する研究

2.4.5 節で挙げた脳波からの思考状態の推定はその多くが医療用の脳波計を用いたものであったが、近年では簡易脳波計を利用して思考状態を推定する研究も多く行われている。ここでは、それらの研究について紹介する。

映像の撮影時や視聴時に簡易脳波計を着用し、その脳波情報を利用して、映像を編集する試みが行われている [85, 86, 106, 107]。

東京大学の相澤、石島らは、ウェアラブルカメラおよび簡易脳波計を着用して歩き回るなどの日常生活を送り、その中で記録した個人体験映像をインデキシングや要約する際、映像と同時に記録した脳波情報を利用して個人の主観を反映させている [106, 107]。

彼らは、体験映像の要約には本人が興味を強く感じたショットやシーンを抽出する事が重要であるとしている。そのため、本人がそのシーンに居合わせた時の興味の度合いなど主観的な状態を脳波により評価する手法を取っている。その際、以下のような脳波の性質を利用している。

- とっさに興奮、緊張などの状態になると  $\alpha$  波が減衰し、 $\beta$  波が現れるようになる ( $\alpha$  減衰と呼ばれる瞬時的な現象)。
- 長い間、関心、興奮、注意、集中の状態にあると持続的に  $\beta$  波が現れる。

この 2 つの性質を利用し、 $\alpha$  減衰が現れるショットと持続的な  $\beta$  波が現れるショットを抜き出して編集する事で、体験映像の要約を自動生成している。なお、感情の変化が脳波に反映されるまでの遅延も考慮しており、シーンを抽出する際は、脳波が変化する 500 ms 前の場面から利用する工夫をしている。

これにより、「遊園地でお化け屋敷を体験したシーン」など被験者が興味を持ったと自覚したイベントを自動抽出する事に成功している。また、被験者が無意識に興味を持ったと思われるシーンも抽出できている。

脳波を用いたゲームも商用化されている。S.M.A.R.T brain games [108] では、脳波を 30 秒ごとに測定し、集中力、疲れなどを検出し、それをゲームにフィードバックすることが可能となっている。たとえば、レースゲームをやっている場合、集中力が高まると車のスピードが速くなるなどを、脳波を用いて実用している。



図 2.7: 被指導者と思考状態が重畳表示されている様子 [110]

慶應義塾大学の中村らは、複数人からなる撮影グループで撮影した映像素材を自動編集する際に、撮影者の脳波情報をキーの 1 つとして利用している [85, 86, 109] .

この手法では、撮影グループの各生体反応（脳波，筋電）から撮影者の心理状態やカメラワークを自動的に推定し，その情報に基づいて各ショットの優先度を算出している．撮影者の  $\alpha$  波が減衰し  $\beta$  波が増加している時は，撮影者が集中・興奮していると判定される．また，撮影者の筋電の変化が大きい時は，カメラワークが不安定であると判定される．このように撮影者の心理状態を推定することにより，映像素材が自動編集される．

また，撮影者ではなく，視聴者の  $\alpha$  波が減衰する状態を検出して，視聴者が興味を覚えるようなシーンの抽出を試みる研究も，彼らによって行われている [86] .

慶應義塾大学の本田らは，脳波情報と複合現実感を利用して指導者支援の研究を行っている [110] .

この研究では，脳波情報を利用して被指導者の思考状態を的確に表す指標を導出し，複合現実感を利用して指導者が被指導者の思考状態を直観的に把握する手法を提案している．

具体的には，まず 2.4.4 節の IBVA を利用して被指導者の脳波を計測して思考状態を導出する．次に，指導者が装着した透過型 HMD (Head Mounted Display, ヘッドマウントディスプレイ) 上に，被指導者とその思考状態を表す球形の CG を重畳表示させる．このことにより，指導者は被指導者の思考状態を的確かつ直感的に把握する事が可能になる．指導者が HMD を通して被指導者を見ると，図 2.7 のように被指導者の頭部付近にその人物の思考状態を表す球形の CG が重畳されて見える．

#### 2.4.6 その他生体情報を用いた関連研究

皮膚伝導率・心拍などといった生体情報から人間の思考状態を推定しようとする試みも数多く行われている．

MIT メディア研究所の Healey らは，皮膚伝導率からユーザの驚きを検出する手法を



図 2.8: StartleCam[42]

取っている [42] . 彼らが開発した StartleCam というウェアラブル型のシステムは , 皮膚伝導率センサやデジタルビデオカメラ , 無線通信機器などから構成されている . 指の皮膚伝導率が変化すると , 「ユーザを驚かすような出来事が起こった」とシステムが判断してデジタルビデオカメラでその出来事を自動的に撮影して画像情報を Web サーバへ無線で送信する仕組みになっている .

東京大学の廣瀬らも同様の研究を行っており , 彼らは心拍を記録する手法を取っている [111] .

皮膚の情報を利用した研究は他にも行われており , 例えば , 岡山県立大学の渡辺らの研究が挙げられる [22] .

彼らは , サーマグラフィを用いて顔面皮膚温や末梢皮膚温を計測し , そこから情動やストレスを推定する手法を取っている . この研究では , 被験者に恐怖ビデオを見せた時の鼻部や指背面の温度変化や心拍を計測し , 恐怖に対する情動変動時に皮膚温や心拍間隔が低下する事 , そして呼吸数が多くなる事などを確認している .

Picard らの研究 [112] では , 生体情報と感情との関連を調べたものである , 具体的には , ある女優の協力のもとに , (i) 咀嚼筋の筋電位 , (ii) 血圧 , (iii) 皮膚伝導度反応 , (iv) 呼吸と , 8 つの感情との関連を調べている . 図 2.9 に , その一例を挙げる . 図は明確な違いがあった例であるが , 怒りと悲しみでは , 明らかに指標のパターンが異なっていることがわかる . さらにこれらの指標の平均や標準偏差等から , 24 の特徴量を求め , その特徴量と感情との関連を調べている . 図 2.10 上段は , 2 つの特徴量と 3 つの感情との関連を調べたものである . これをさらに Fisher 投影により分離したものを図 2.10 下段に示す .

東北大学の渡辺らの研究 [113] は , 各種の生体情報を計測し , それらからニューラルネットワーク (NN) を用いてリアルタイムに心理状態を推定するものである . 具体的には , a. 心拍数 , b. 心拍数変化 , c. 呼吸数 , d. 呼吸数変化 , e. 血圧変化 , f. 皮膚電位反応 , g. 瞬き回数 , h. 眼球の飛翔運動数を計測し , (i) 情報取り込み , (ii) 記憶関連 , (iii) 思考 , (iv) 動作 , (v) 情動 , (vi) その他 , の認知状態のそれぞれを推定する . NN には , a. ~ e. を入力層 , (i) ~ (vi) を出力層とし , 中間層を 3 ~ 4 個としたものを用いている . NN は , 事前に被験

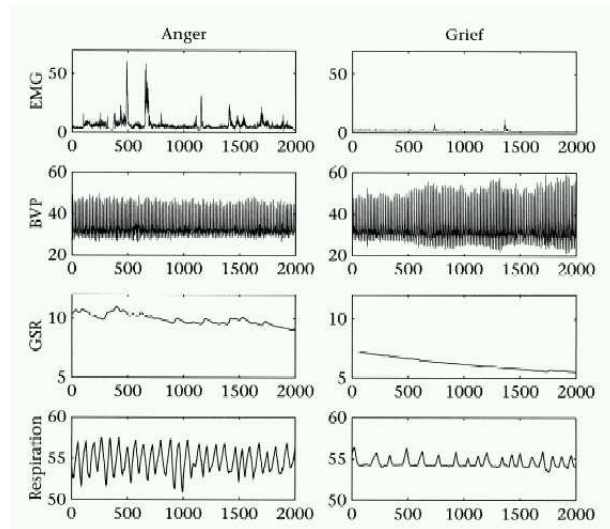


図 2.9: 「怒り」と「悲しみ」の生体情報 [112]

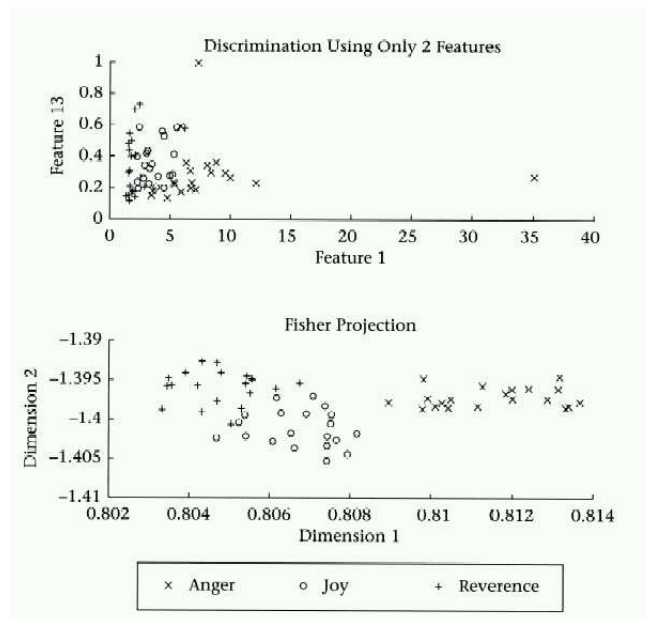


図 2.10: 生体情報パターンによる感情の分別 [112]

者による認知状態誘発実験を行い，得られた生体情報のパターンと認知状態との関連を教師データとして NN に学習させている．

# 第3章 非言語情報および生体情報を活用 したコミュニケーション支援

### 3.1 はじめに

本研究は、誰が誰にどの程度関心があるかを同期型遠隔コミュニケーションにて認識できる環境を提案し、より円滑な遠隔コミュニケーションを実現することを目的とする。

遠隔環境において、人間のコミュニケーションを円滑にすることができ、対面と同等の環境を実現すれば、距離・空間を超えたコミュニケーションを実現でき、場所に制約されない社会の実現が可能になる。そして、人々は交通手段を駆使することもなく、必要なときに必要な人と自由にコミュニケーションを行うことができ、より効率的に作業を行うことができる。またこのような環境の実現に伴い、既存の対面コミュニケーションを基準にしたコミュニティ形成とは異なる新たなコミュニティの形成など、人間のコミュニケーションに大きな変革をもたらす可能性がある。

同期型遠隔コミュニケーションの際に多く利用されている電話を置き換える可能性がある技術の一つに、動画を用いたコミュニケーションが含まれる。このコミュニケーションを実現する手法として、ビデオ会議システムやテレビ電話などがある。これらのシステムは、ユーザがあたかも対面でコミュニケーションをしているかのような感覚を得られることを目標に設計されている。しかし、これらの技術はまだ普及に至っていない。また情報技術により、仮想空間を構築し、その空間の中で同期型のコミュニケーションを図るシステムも出現したが、これらのコミュニケーション手段も未だ普及していない。

本研究ではこの事実に着目し、遠隔の同期型コミュニケーションにおいて、既存技術の課題は何かについて明確にする。これらの技術がなぜ対面環境と同等のコミュニケーションを実現できないのかについて検討する。そしてその大きな一因である、誰が誰にどの程度関心を持っているかを認識するのが困難であることについて述べる。この課題を解決する手法として、本研究では二つのアプローチを用い、これらを相互利用することにより、より誰が誰にどの程度関心を持っているかを認識できる環境を提案する。

一つ目のアプローチは、対面環境を可能な限り真似し、対面環境で得られるが遠隔環境では得られない情報を提供する手法である。このアプローチでは、遠隔地にいながらも対面と同様の感覚が得られる環境を目標とする。そして、対面環境とビデオ会議システムとの大きな差となっているのは、提供している非言語情報の多さであるとの視点に立ち、非言語情報を提供する手法について述べる。本研究では非言語情報の中でも、誰が誰に注目しているかを認識できることを PFA (Participant Focusing Awareness) と定義し、これらを提供することが、誰が誰に関心をもっているかを認識する上でなぜ重要であるかを述べ、その提供手法について言及する。

本研究でとったもう一つのアプローチは、対面環境では実現し得ないことを、遠隔環境で実現するというアプローチである。対面環境を目指すアプローチは、目標を対面環境に定めているため、対面環境以上のものを構築することは不可能になる。本アプローチではユーザの関心や思考状態に深く関係がある、脳活動度および突発脳活動という指標を定義

し、ユーザの表情などに表出しない脳活動度および突発脳活動を生体情報より取得する。そして、これらを提供することがなぜ重要であるかを述べ、その提供手法について言及する。さらに、脳活動度と同時に取得できる情報から瞬き情報を取得し、コミュニケーションに適用する手法についても言及する。

本研究では、このように二つのアプローチから、同期型遠隔コミュニケーションをより豊かにする一手法について論じる。そして、誰が誰にどの程度関心を持っているかを認識できる環境を構築し、その効果について議論するとともに、有用性についても述べる。

## 3.2 非言語情報の活用

より豊かな同期型遠隔コミュニケーションを実現する上で、まず一般的なのは対面環境で実現していることを模倣するというアプローチである。本節では、対面環境で提供されている非言語情報の重要性について述べ、それがビデオ会議システムで提供されていないことについて述べる。そして、本研究にて非言語情報として提供する PFA (Participant Focusing Awareness) を提供した環境の有用性について論じ、そのデザインコンセプトについて述べる。

### 3.2.1 ビデオ会議での非言語情報の欠如

ビデオ会議システムは、音声情報のみならず、動画情報まで送ることができるため、新しい同期型コミュニケーション手段として注目を集めた。しかし、ビデオ会議システムは未だ電話を代替するほどの普及は見せていない。そして、対面環境と同等のコミュニケーション環境は実現していない。

コミュニケーションにおいて非言語情報の影響は大きく、その割合は全体のうち約 65% であるとの報告 [9] もある。コミュニケーションを行う上で、非言語情報が重要な役割を果たすことは、2.3 節で述べたとおりである。

非言語情報には多くの種類が存在する。大きく分けると、非言語情報は表 2.1 の通り、対人距離・体の動き・表情・視線・接触・準言語・嗅覚作用・人工物の 8 つに大きく分類される [4]。

ビデオ会議システムは、これらの非言語情報の中で、体の動き・表情・準言語・人工物を提供する。しかし、対面環境に比べると、非言語情報をビデオ会議システムが同等に提供しているとは言い難い。たとえば、体の動きに関しては、カメラに写らない部分については認識することができず、顔のみを表示しているシステムでは、その体の動作の認識は困難である。表情に関しても、動画の品質が高くないため、対面環境と同等ではない。また転送容量が小さいネットワークを用いている場合は遅延が生じ、詳細な表情を認識する



ことはさらに難しくなる。準言語は電話と同等であり、対面環境のように、誰の発言かなどを認識することが困難である。人工物は、体の動きと同様、カメラに写らない部分については認識できないとともに、動画像の品質次第で伝わってくるものが異なる。これらの課題は、ビデオ会議に用いられるカメラの視野角は小さい、動画像の解像度には限界があるという制限に起因する。

多地点ビデオ会議システムでは、対人距離は提供されない。したがって、どのユーザが本人から見てどの場所にいるかは認識できない。対面環境では、近くにいる人ととらな小さな声で話し、遠くの人には大きい声で話しをするが、ビデオ会議システムではそのような概念はなく、みな対等に扱われる。また、ユーザが他のユーザのどちら側にいるかなどの空間情報は、ビデオ会議では欠如する。それに伴い、あなたの右側にいる人は誰ですか、などの会話をビデオ会議では行うことができない。

体の動きの中に含まれる体の向きの情報も、ビデオ会議システムでは提供されない。向いている方向は認識できても、対人距離などの空間情報が提供されない以上、体の向きの情報は意味をなさない。これに伴い、体を誰かの方向に向けて話し、それを他ユーザが認識できる環境は実現できない。

さらに、ビデオ会議システムでは視線の向きを認識できる環境は提供されない。これも、体の向きと同様に、視線がどちらかを向いていても、それが誰の方向に向いているかが認識されないからである。したがって、誰に注目されているか、本人が誰に向かって話しているかをビデオ会議システムでは認識できず、誰に話しているのですか、などの発言が頻繁に起こる。

このようにビデオ会議システムは、非言語情報の多くを提供していない。また提供していると一般的に思われているものも、対面環境と同等のレベルでは提供されていない。そのため非言語情報の欠如は、対面環境コミュニケーションと同等の円滑なコミュニケーションを、ビデオ会議システムを用いて実現することを困難にし、普及を遅らす要因となる。

### 3.2.2 非言語情報を活用したコミュニケーション支援

誰が誰に注目しているかという情報は、コミュニケーションにおいて、重要な役割を果たす。人間はコミュニケーションを行う際、自分の話にどの参加者が関心を持っているかを常に感じている [2]。そして、関心を持っている人が少なければ、話を早く切り上げる、コミュニケーションの内容を変えるなどをし、相手の注意をひきつける努力をする。また、二人で話しているときに、相手が自分の方向を向いていないと、コミュニケーションは成立しにくい [3]。特に多者間コミュニケーションでは、他の参加者が誰に注目しているかは重要であり、会話内容の対象が誰であるかも、誰が誰に注目しているか次第で決

まることが多い。

このように、誰が誰に関心を持っているかという情報は重要な役割を果たしている。非言語情報の一つである“注目している方向”は、数多くの非言語情報の中でも、各ユーザの関心の対象を認識する上で特に重要な役割を果たす。そこで本研究では、誰が誰の方向に注目しているかを認識できることを、PFA (Participant Focusing Awareness) と定義し、PFA の実現に着目した。そして、PFA を実現した遠隔コミュニケーションにおける PFA の環境を提案する。

PFA を実現することにより、発話対象者が誰であるかを明確に全参加者が把握でき、また、誰が自分に注目しているかなどを直感的に認知することが可能になる。

本提案では、PFA を実現するための要素として、仮想空間の利用、直感的な操作性の実現、的確なフィードバックを提供できる環境を挙げる。

### 仮想空間の利用

3.2.1 節で述べた通り、ビデオ会議システムでは PFA を実現する環境を提供していない。すなわちビデオ会議システムでは、参加者の向きや視線が的確に反映されず、誰が誰に注目しているかを認識できない。また石井ら [114] によると、ビデオ会議などでユーザ自身の動画像を画面の中に表示しても、一体感・臨場感が得られないとの研究結果もある。

この問題を解決するには、シームレスなコミュニケーション空間を構築し、その中で各参加者の位置情報を提供する必要がある。対人距離、体の向き、視線がどちらに向いているかの情報は、空間という概念を前提にした非言語情報であり、空間を認識しない限りは、提供することは不可能である。

そこで本研究では、シームレスなコミュニケーション空間を構築し、参加者の位置関係を直感的に認識できる環境を構築するための手法として、2.3.3 節で説明した仮想空間を用いる。そして仮想空間内に、ユーザの分身であるアバタを配置し、アバタ間にてコミュニケーションを行う形態を提案する。

仮想空間を構築することにより、上記の非言語情報のうち、対人距離・体の向き・視線がどちらに向いているかの情報のすべてを提供できる。

仮想空間によるコミュニケーションでは、アバタを用いるため、上記非言語情報を提供する代わりに、ビデオ会議システムで不完全ながら提供されていた、体の動き、表情、人工物などが提供できなくなる。しかし、アバタ上にビデオ画像を載せる技術なども実用化されつつあり [115, 116]、これらの技術と相互利用することにより、非言語情報をより多く提供できる環境は構築可能である。

### PFA を認識するインタフェース

本研究では、PFA を提供することに主眼を置いている。PFA を提供するためには、仮想空間を構築するだけでなく、ユーザの注目している相手を認識する環境が必要になる。

人が人に注目するときに、その相手に視線を向ける、顔を向ける、もしくは相手の方向に体を向けることは自然なことである。逆に相手に注目していても、視線、顔の向き、もしくは体の向きがその相手に向かっていない場合、相手から見た自分は、会話に関心がない、もしくは会話する気がないと受け取られてしまい、コミュニケーションの成立が困難である [3]。

PFA を実現するために視線を認識することは、視線追跡の装置を利用すれば可能である。しかし視線追跡するための装置は、一般的にユーザに眼鏡のような装置を装着することを強要し、ユーザに負担をかけやすい。また、一般的に視線追跡の装置にはコストがかかり、普及の妨げになる。

PFA を実現するために、体の向きを認識することも可能である。しかし、相手に注目していることを認識させるために、体全体を動かさなければならないというのは、ユーザに多大な負荷をかける。特に、話者交代が頻繁な会話においては、常に体全体を動かすことが求められ、ユーザは次第に体を動かすことをやめてしまう。

そこで本研究では、注目している方向を認識するための条件として、ユーザの顔の向きで、PFA を認識できる環境を提案する。そして、顔の向きの角度を認識し、その向きを仮想空間内の空間位置と座標に変換し、アバタに反映する環境を提案する。

この環境にて4人でコミュニケーションをしているとき、画面に表示されている3人のうち、一番右側のユーザに注目した場合、ユーザは右側のユーザの方向に顔を少々向ける。すると、ユーザが顔の向きを変えたことを、インタフェースが認識し、仮想空間内のアバタに反映する。仮想空間内ではアバタが4人が等間隔で座っているため、その微細な動きを45度という角度に変換し、アバタの向きに反映させる。このような手法で、PFA を直感的に認識できる環境を提案する。

### PFA のフィードバック

自分の注目している方向がどちらであるかのフィードバックは重要である。ビデオ会議では、映像が流れているのにもかかわらず、その映像を見ることが少ない。この理由の一つに、見ている画面にユーザからの動作に対応した変化がないことがあげられる。

そこで、本研究ではユーザ自身が誰に注目しているかを認識できる環境を提案する。ユーザは、顔の向きから注目している方向をシステムに通知するが、システムは顔の向きを、ユーザ自身の画面にも表示する。

PFA をフィードバックする手法として、仮想空間の中で、現在注目している相手を画面

の中心に表示する手法が主流である。しかし、本研究では顔の向きから PFA を認識する。したがって、たとえば右側のユーザに注目して右を向いたとき、システムが右側のユーザを中心に持ってくる画面表示にすると、逆に違和感を与える。

そこで本研究では、注目している相手を画面の中心に表示する表示法ではなく、ユーザの注目している方向そのものに変化を与え、それにもない誰の方向をユーザが注目しているかをユーザ自身が認識できる環境を提案する。

### 3.2.3 研究の位置づけ

従来研究にて、視線や体の向きに焦点をあて、これらを遠隔コミュニケーション環境にて実現したシステムは存在する。

多地点遠隔会議にて、視線一致を実現したシステムとして、MAJIC[21] が挙げられる。MAJIC では、等身大の相手画像との視線一致が可能となる。しかしこのシステムは、カメラ位置と対話参加者との物理的位置合わせが困難であり、各参加者毎に大掛かりな装置が必要になる等、実用化には解決すべき問題点が多数残っている。The GAZE Groupware[33] のように、会議室のような仮想空間内に、ユーザの動画像を貼り付けた板を配置するシステムも存在する。しかしこのようなシステムでは、板に顔が貼り付けられているため、臨場感を得られない。また、板をどの方向に動かしても、板の上の顔画像が常にユーザ自身の方向を向いているように見えてしまうモナリザ効果 [117] が生じ、誰が誰に注目しているかを正確に把握しにくくなる。PAW[27]、Valentine[31, 118]、InterSpace[119] のように仮想空間を構築し、その中で自由に動き回れるアバタを介してのコミュニケーションも実用化されつつある。しかし、このようなシステムではキーボードやマウスなどを利用して操作をする必要があり、コミュニケーション環境に適さない。Virtual Actor[22, 23, 24, 25] は頭の動きなどをセンサによって認識してアバタに反映させるが、センサを装着することをユーザに強要するとともに、ユーザの顔の向きを直接アバタに反映させても、実空間でのユーザの顔の向きが仮想空間内のアバタの位置情報と整合性がとれないため、PFA は実現されない。入力装置として、PHANToM やデータグローブなど、触覚を利用したインタフェースも実用化の段階に入っている [26, 120, 121] が、これらの装置は全てユーザに装着、または触れることを強要している。これらを装着することにより、ユーザは負担を感じ、コミュニケーションに集中できなくなる可能性もある。また、負担を感じない人でも、意識的に装置を操作する必要があり、これが円滑なコミュニケーションを阻害する原因になる。

このような背景のもと、本研究では「シームレスなコミュニケーション空間」をどのような表示方法を用いれば実現できるかに着目した。そして、シームレスなコミュニケーション空間を実現した多地点遠隔会議での PFA の支援に焦点をあてた。また、ユーザに

負担を与えることなく、ユーザの注目している方向を認識できるデバイスについても考慮した。さらにユーザ自身に、注目している方向のフィードバックを与えるための画面構成についても検討を加えた。

PFA を実現し、誰が誰に注目しているかを直感的に認識できる環境を、ユーザに負担をかけず直感的に利用できる装置を利用して仮想空間内で実現した例は従来の研究ではない。また、シームレスなコミュニケーション空間を構築することの重要性について言及し、実験でその効果を定量的に評価している論文はない。さらに、PFA を実際のコミュニケーションに適用し、実用した上でのコミュニケーションにおける効果について言及した研究は今までなく、新規性が高い。

### 3.3 生体情報の活用

前節では非言語情報を活用し、対面環境のコミュニケーションを可能な限り模倣するというアプローチをとり、PFA を実現する手法について論じた。しかし、対面環境を模倣し、完全に同等のコミュニケーション環境を構築することは不可能である。そこでもう一つのアプローチとして、本研究では生体情報を用い、対面環境では実現できないコミュニケーション環境の構築について論じる。そして、生体情報として脳波をあげ、脳波から脳活動度・突発脳活動を解析し、それらをフィードバックした環境について論じ、そのデザインコンセプトについて述べる。また、瞬きの情報が脳波から解析できることを述べ、瞬きを反映した環境についても論じる。

#### 3.3.1 非言語情報活用のジレンマ

非言語情報には、対人距離・体の動き・表情・視線・接触・準言語・嗅覚作用・人工物の8つに大きく分類されると2.3.2節で述べた。言語情報は、電話に始まる音声通話手段によって提供できるが、コミュニケーションの中で約65%をしめる[9]非言語情報は提供されない。したがって、対面環境と同等の遠隔コミュニケーション環境を目指す研究で、非言語情報を適用することを目的にすることは、ごく自然である。

遠隔環境にて各種センサを用いれば、非言語情報の一部を提供することは可能である。たとえば、視線を認識するセンサを購入し、その装置をユーザに装着すれば、ユーザの視線を認識することは可能になる。このようにして、その他のセンサを購入し装着すれば、より多くの非言語情報を適用することができるようになる。

しかし、センサやデバイスを用いて、非言語情報を対面環境と同等に提供することは不可能である。例えばセンサでは、物理的制約により、接触などの非言語情報を対面環境と同等に伝えることができない。PHANToMのようなデバイスを用いた研究も存在するが

[122], これらのデバイスを用いても, 対面環境と同等の触覚を与えることは困難である. また, 多くのセンサを採用すればするほど, 逆にユーザに負担をかけてしまうことになる. また, 大半のセンサはユーザの視界を妨げる, 操作を強要する, 動作範囲を狭めるなどの制限をもたらす. さらに, 多くのセンサを採用した環境は, コストが高くなるとともに, 場所の制約をもたらす.

したがって, 非言語情報を多く適用するほどユーザに負担をかけることになり, ここにジレンマが生じる.

### 3.3.2 生体情報を活用したコミュニケーション支援

コミュニケーションにて, 相手に関心を持っているかは, 特に話し手にとって大変重要な意味を示す. 誰が自分の話を聞いているか分からないことは, 話し手にとって困難な状況を作り出す. 学校の校内放送で話すとき, 誰もが最初は躊躇するが, これは相手の反応を見ることができないからである [123]. またテレビの番組で, テレビに映らずただ笑うなどの声を出している観客がいるものがあるが, それらも司会者や話し手にとって, 聞き手の反応を得ることを重要視しているからである. マタラゾらの研究 [124] によると, 聞き手が「うなづく」という反応を多く示せば示すほど, 話し手はより多く長く発言し, 話し手が聞き手の反応に応じて会話内容を変えることが分かる.

このように, 対面コミュニケーションにおいて, 人間は相手に関心をもっているかを, さまざまな非言語情報から推測し, 会話の内容を臨機応変に調整して, 聞き手にとって最適な話題を提供できるように努力する.

しかし, ビデオ会議や仮想空間を用いたコミュニケーションでは, 話し手は聞き手に関心をもっているかを認識することが困難である. 3.3.1 節で述べたとおり, 遠隔コミュニケーションでは, 非言語情報を提供することが困難であり, 非言語情報の欠如に伴い, 聞き手に関心を持っているか否か, 話し手は認識しにくい.

既存の研究は, ビデオ会議や仮想空間内環境を構築し, どのように対面環境に近づけるかという議論に終始していた. しかし前節で述べたとおり, 対面環境を模倣している以上, 対面環境以上のコミュニケーション環境を構築することができない. そこで本アプローチでは, 既存のアプローチと別に, 対面環境を超え, 対面環境では実現できなかった情報も提供する環境を提案する.

具体的には, 非言語情報の適用を目指すのではなく, ユーザの生体情報から相手の関心度合いなどを認識し, それを適切な方法で表示する手法である.

生体情報には, 非言語情報に含まれない情報と含まれる情報の二つが存在する. 本研究では, 非言語情報に含まれない情報として, 脳活動度と突発脳活動という指標を定義し, これらを提供する環境を提案する. また, 生体情報から取得できる非言語情報の一つとし

て、瞬きの状態も認識する。

そして、これらの生体情報を抽出した上で、それを直感的に表現するのは仮想空間が適していると考え、仮想空間内に、脳活動度・突発脳活動・瞬きをリアルタイムに反映するコミュニケーション環境を提案する。

### 簡易脳波計の利用

脳活動度・突発脳活動をリアルタイムに抽出するための装置として、本研究では、簡易脳波計を利用する。簡易脳波計を用いて取得できる脳波データの周波数スペクトルのうち、13Hz～40Hzの値は $\alpha$ 波と呼ばれており[125]、 $\alpha$ 波は、脳活動を要する作業時には、通常より強く発生するという特徴がある。また、 $\alpha$ 波は瞬き・眼球運動（主に0Hz～4Hz）のノイズの影響が少ない周波数帯域でもある。そこで、 $\alpha$ 波をリアルタイムに解析することにより、脳活動度・突発脳活動を抽出する。また、簡易脳波計から得られるノイズの情報を用いて、瞬きも抽出する。

簡易脳波計はワイヤレスで軽量なものであるが、ユーザに装置を装着することを強要し、これはユーザへの負担へつながる可能性がある。しかし、生体情報を用いたコミュニケーションは、対面環境でも提供されない情報を提供するコミュニケーションであり、対面環境で提供される非言語情報を遠隔環境にて提供するために各種センサを装着することとは意味が異なる。生体情報を提供することにより、対面環境では認識できない、相手の有無の状態を認識することができ、これは若干の負担をかけてもユーザにとって有益なことであると本研究では考え、接触型の装置を利用している。

### 脳活動度の抽出

脳活動度は、脳が活動しているか否かの指標であり、参加者が現在のコミュニケーションに関心・興味を持っているかと大きな関わりを持っている。したがって、脳活動度を的確にフィードバックすることは、聞き手が関心を持っているかを話し手が知る上で重要になる。

本研究では、ある瞬間における脳活動度を数値化するために、簡易脳波計から取得した最新 $n$ サンプルの $\alpha$ 波レベルを、予め設定した閾値とそれぞれ比較し、閾値を超えたサンプルの割合をその瞬間の脳活動度と定義した。

利用する過去サンプル数 $n$ は、あらかじめ予備実験により妥当であると判断した50(約12.5秒分に相当)を標準値として用いた。この値は変更可能に設計しており、長ければ長いほどノイズの影響が少ないが、短時間における脳活動の変化を捉え難くなる。

### 突発脳活動の抽出

突発脳活動は、脳が瞬間的に強く活動しているかを示す指標であり、参加者が瞬間に強い刺激や驚きを感じることで強い関わりを持っている。突発脳活動を有効にすることにより、話し手が話した内容に、一時的に聞き手が大きな刺激を受けたことを認識でき、この指標も聞き手の関心を知る上で重要になる。

突発脳活動は脳活動度をより短期的に測定した指標であり、一時的に大きな刺激が起こったときに測定される。測定の手法は脳活動度と同じであるが、脳活動度のように過去サンプルを使わず、1サンプルの波レベルが、あらかじめ指定した閾値を超えたかで判断する。

### 瞬きの抽出

脳活動度・突発脳活動が、表情などの非言語情報に現れない指標であるのに対し、瞬きは表情に表れる非言語情報である。

瞬きは関心や興味と大きな関わりを持っており、関心や興味が大きいと、瞬きの頻度は下がるといわれている [13, 14, 15]。また、人は眠くなると、瞬きの回数が増えるという研究報告もある [126]。つまり瞬きも関心などを知る上で重要な指標となる。

瞬きは、簡易脳波計を用い、瞬きに伴う筋電アーチファクト（ノイズ）を収集することにより、抽出することが可能である。本研究では、1サンプルの1Hz～4Hz帯の平均値を算出し、それが閾値を超えたかで判断する。

### 仮想空間への適用

本研究では、生体情報として、脳活動度、突発脳活動、瞬きを抽出した。本研究では、聞き手の関心を話し手が直感的に認識することを目的にしている。

そのための手法として、ビデオ会議システム内のそれぞれのユーザの動画像の近くに、生体情報の指標をメータ表示する方法がある。しかしこの手法では、コミュニケーションを行っている際、直感的に各ユーザの関心を認識することができない。

そこで本手法では仮想空間内のアバタに、それぞれの指標を直感的に反映する。ユーザの仮想空間内の代理であるアバタは、CGで描かれているためビデオ画像と異なり、設計者の意図した動作を反映することが可能である。前述した通り、脳活動状態は関心を持っているか否かに関係する。そこで、各参加者の脳活動状態を直感的に認識できる環境を構築するために、ユーザの脳活動度が高まれば、アバタに関心がある態度をとらせ、逆に脳活動度が低いときには、アバタに関心がない態度をとらせる。また突発脳活動は、驚きなどと強い関わりを持っているため、突発脳活動が起きたときには、アバタに驚きの表情を



させる。ユーザが瞬きを行ったときには、アバタに瞬きを反映することにより、直感的に生体情報を他のユーザが認識できる環境を実現する。

### 3.3.3 研究の位置づけ

ネットワーク上に構築された仮想空間を利用し、ユーザが仮想空間上の代理であるアバタを利用することによって、遠隔地にいる他のユーザとコミュニケーションを行う仮想空間内コミュニケーションシステムの研究は数多く行われ[27, 33, 118, 127]、実用化されつつある。しかし、アバタを利用したコミュニケーションシステムは3.3.1節で述べたとおりユーザの非言語情報の多くが欠落してしまうため、コミュニケーションにおいて重要な相手の関心を認識することができない。仮想環境においてユーザの非言語情報を補う研究が行われているが、相手の反応を得るために多くの非言語情報を提供する必要があり、提供すればするほど、コストがかかる・装置が大がかりになるというトレードオフになる。

そこで本研究では、参加者の脳活動状態を脳波計を利用して抽出し、それを直感的に認識できる形式に可視化することにより、参加者の脳活動状態・突発脳活動を認識できる仮想空間内コミュニケーション環境を提案している。

脳波を用いて感情や脳活動状態を認識する研究は多々行われている[62, 95, 96, 97, 99, 98, 128, 129, 130, 100, 101, 102, 103, 104]。しかしこれらの研究では、大規模な脳波計による詳細な脳波データを必要としており、コミュニケーションなどで手軽に利用するのは困難である。本研究では、大掛かりな脳波計ではなく、コミュニケーションにおいて手軽に利用するために簡易脳波計を用い、簡易脳波計で得られる情報のみから、脳活動状態を把握しようとしている点で、これらの研究とは異なる。

簡易脳波計を利用して脳活動状態を推定しようとする研究も実在する[85, 86, 106, 107, 110]。しかしこれらの研究の中で、リアルタイムに脳活動状態を推定する研究はない。また、十分に信頼できるサンプル数での実験を行っている研究もない。

本研究では、脳活動度・突発脳活動・瞬きを、実際のコミュニケーションに適用し、これらの指標を提供することがコミュニケーションに与える影響について言及しており、新規性の高い研究である。

## 3.4 非言語情報と生体情報の相互利用

本研究では、遠隔コミュニケーションにて、非言語情報を適用することにより対面環境と同等のコミュニケーションを実現することを目指すアプローチと、対面環境では実現し得ないコミュニケーション環境を生体情報を用いることにより実現するアプローチの二つを用いた。これら二つの異なるアプローチを相互利用することは、より豊かな遠隔コミュ

コミュニケーション環境を実現する上で、重要なことである。

本研究では、相手の関心の有無を把握できることは重要であると考え、両方のアプローチからこの課題に取り組んでいる。

対面環境を目標とするアプローチでは、誰が誰に注目しているかを PFA という指標を定義して提供した。これはコミュニケーションにおいて、話し手にとっては自分の話を誰が聞いているかが、関心を持っているかを判断する上で重要であることに着目している。自分が話しているときに参加者全員が自分に注目していることを認識できれば、自分の話に関心を持っていることが認識できる。

対面環境でも実現できないコミュニケーション環境を構築するアプローチでは、誰がどの程度自分の会話に関心を持っているかということ、脳活動度という指標から取得した。脳活動度が高くなれば、その参加者は自分の話に関心を持っていることが認識でき、話し手にとって会話の調整をしやすい環境が構築できる。

そしてこの二つのアプローチは、相反するものではなく、互いに補完しあうものである。本研究では、誰が誰に関心を持っているかをユーザが認識できる環境を提案し、非言語情報を提供する手法により実現した。そして、ユーザがどの程度関心を持っているかの指標を、生体情報を用いることにより提供した。このように非言語情報・生体情報のどちらか一方を提供するのではなく、相互の情報を提供していくことが、今後の遠隔コミュニケーション環境を豊かにしていく上で重要である。

## 第4章 非言語情報を活用したコミュニケーション支援

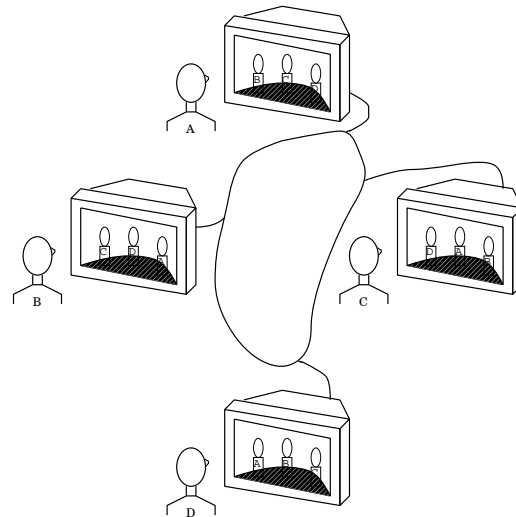


図 4.1: システムのイメージ図

## 4.1 はじめに

本研究では、非言語情報と生体情報の両方を相互利用し、遠隔コミュニケーションにおいて、誰が誰にどの程度注目しているかを直感的に認識できる環境を提案している。本章では、まず非言語情報に注目し、PFA を実現することに主眼を置いたプロトタイプシステム e-MulCS1(enhanced Multiparty Conference System 1) の紹介をする。e-MulCS1 は、提案する非言語情報と生体情報の両方を相互利用した環境を実現している e-MulCS2 の下位バージョンであり、非言語情報である PFA の実現に特化したものである。本章では e-MulCS1 の紹介をし、具体的な実装手法について言及する。そして、e-MulCS1 にて非言語情報適用の評価実験を行い、仮想空間を用いたシームレスなコミュニケーション空間の有用性を検証する。さらに、非言語情報を用いることにより、誰が誰に注目しているかを認識でき、それがコミュニケーションを円滑にする上で有用であることを検証する。

## 4.2 e-MulCS1 の概要

本システムは、3 章で述べた提案をデザインコンセプトとして実装された。最大 3 ~ 4 人の会議を想定して構築され、それぞれのユーザがアバタとして仮想空間の中に存在し、アバタを介してのコミュニケーションが図られている。各々のユーザは、モーションプロセッサにより自分の注目している方向を自動的に認識することができ、それをアバタに反映させている。本システムで想定したイメージ図を図 4.1 に示す。

図 4.2 に、本システムの実装画面を表す。この図を見ると、左側と中央のユーザは、右



図 4.2: e-MulCS1 の画面

側のユーザに注目していることが、直感的に認識できる。

図 4.3 に、本システムの利用風景を表示する。この図では、没入感を出すために、ユーザは大型スクリーンを利用して本システムを利用しているが、一般的に使われている PC 用の画面でも、本システムは問題なく利用することが可能である。

### 4.3 PFA を実現するためのインタフェース

e-MulCS1 は、PFA を実現するために、モーションプロセッサという装置を利用した。

モーションプロセッサ (図 4.4 参照) [131] とは、搭載されている LED から近赤外光を発し、その光の反射をとらえる装置である。遠方からの反射光は急速に弱くなるので、近くの被写体からの反射光のみが撮像される。背景が自動的に除去されているため、背景処理の必要がなくなり、非接触で、高精度な物体認識をリアルタイムに行える。モーションプロセッサを利用し、あらかじめユーザの各方向を注目したときの画像を登録しておくことにより、ユーザの微細な顔の向きをリアルタイムに認識できる。

モーションプロセッサは、撮像した映像をフレームデータの中に、256 ピクセル (16 × 16) の形式で格納する。撮像された生画像の各ピクセルは、0 ~ 255 の値を持つ。この値が大きければ大きいほど、その物体はモーションプロセッサの近くに存在することを示す。

e-MulCS1 にて会議を行う前に、モーションプロセッサプログラム上で、ユーザの、左・中央・右を注目した状態を撮像し、各画像をフレームバッファ上に格納する。会議中には現画像と格納していた画像のパターンマッチングを実行することにより、ユーザがどちら

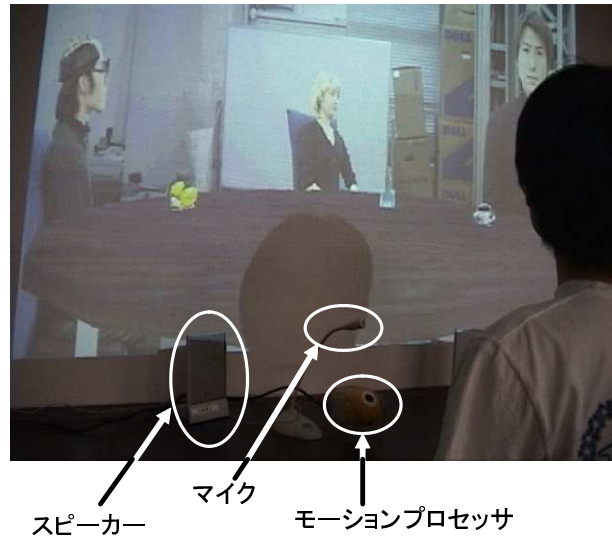


図 4.3: e-MulCS1 利用風景

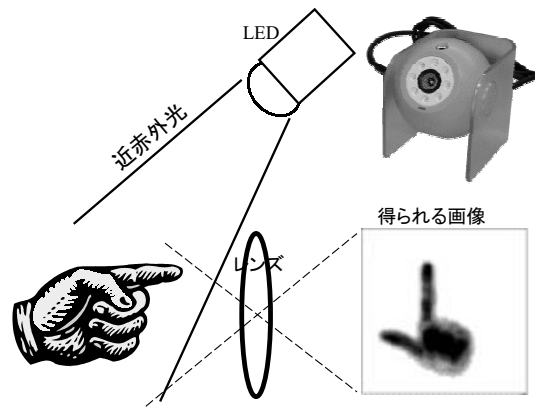


図 4.4: モーションプロセッサとモーションプロセッサの動作概要

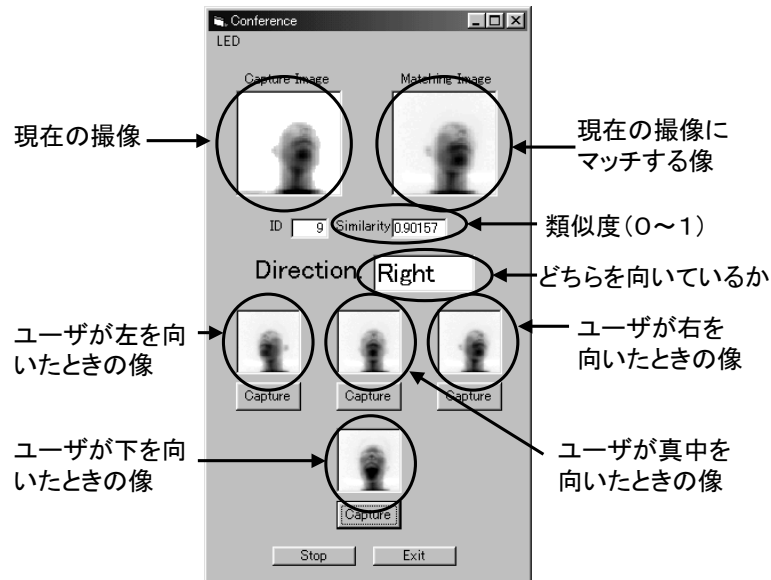


図 4.5: モーションプロセッサプログラムの実装図

を注目したかをリアルタイムに認識する（図 4.5 参照）。

e-MulCS1 は、大半のプログラムを Java 言語で記述した。しかし、モーションプロセッサは、API が Visual Basic で用意されており、VisualBasic でプログラムを記述することになった。そこで今回は、その二つのプログラムの連携を、ソケット通信を利用することにより実現した。

Java には Native Method と呼ばれる、他言語で記述されたプログラムを Java で利用できるようにした機能がある。しかし、今回 Java と Visual Basic のプログラムの間を流れるのは、1 バイトで表現できるユーザの向きの情報のみである。

そこで、今回は、Java と Visual Basic の両者にソケットの受け口を作り、Visual Basic 側から、ユーザの動きに変化があったとき（Visual Basic の While 文の中で、ユーザの前回の注目している向きと今回注目している向きを比較し、違った場合）、ユーザが右・真中・左のどちらを注目したかを示す 1 バイトの情報を Java 側に送った。そして、Java 側はその情報を受け取り、処理する方法をとった。

このプログラムを利用することにより、通常の PC ディスプレイ（液晶 15inch）を利用した環境で、87%の精度で注目した方向を認識できた。

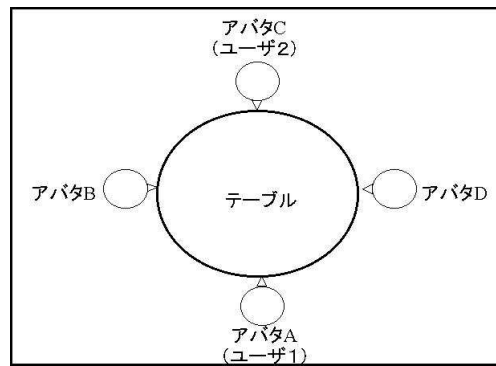


図 4.6: 仮想空間設計図

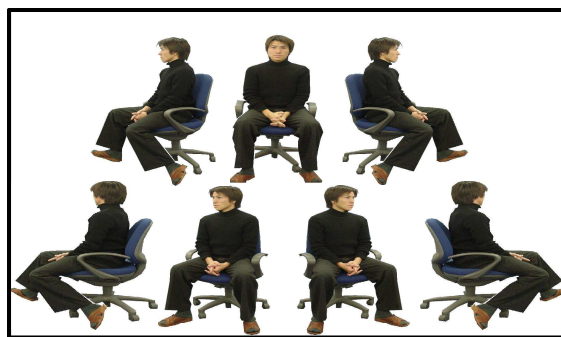


図 4.7: e-MulCS1 でのアバタの向きの動き

## 4.4 仮想空間の構築

### 4.4.1 仮想空間の設計

本システムの仮想空間は、図 4.6 をもとに作られた。こうして作られた空間が、図 4.2 である。

### 4.4.2 ユーザの注目している方向とアバタの動き

モーションプロセッサで認識された、ユーザの注目している方向の情報を利用して、e-MulCS1 では、アバタの向く方向を制御した。アバタの向きの動きを示したのが、図 4.7 である。e-MulCS1 では、アバタの向く方向の切り替えは、図 4.7 のような静止画を仮想空間内に配置された透明の板に貼り、貼る画像を切り替えることにより実現している。

このようにして、各アバタがそれぞれ向きを反映することにより、図 4.2 のように、誰が誰に注目しているかを直感的に認識できる環境を作り出すことが可能になる。これは、





図 4.8: 一般タイプの表示法 (e-MulCS1)

全ユーザの正面動画を表示するビデオ会議システムでは、実現不可能なことである。

#### 4.4.3 注目している方向の認識とユーザの画面表示法

本システムでは、従来の一般的な表示法として一般タイプ・遠くから見たタイプ、そして今回新しく提案するユーザが注目した方向に変化を与える表示法として、ズームアップタイプ・指差しタイプの4種類の表示法を実装した。

**一般タイプ** 一般的な仮想空間を用いたアプリケーションにて利用されているのが、この表示方法である。この表示方法では、ユーザが見たいと思うものが、基本的に真中にくるように設定される。この表示法を利用して、ユーザが右を注目したとき、図4.8のように表示される。この表示法は、一般的でユーザが使い慣れているため、馴染みやすいという特徴があるが、注目した方向に画面の中心が移るため、注目した方向と逆に存在するアバタ(この場合左側)が見えなくなり、左のアバタをアウェアできなくなるという問題を抱える。また、3.2.2節で述べた通り、ユーザが注目した方向のものが、逆に画面の中心にきてしまい違和感を与える表示法でもある。

**遠くから見たタイプ** この表示法も、一般タイプと同じで、自分が見たいと思うものが、基本的に真中にくるように設定されている。それに加え、一般タイプだと、逆側のアバタをアウェアすることができなくなるという問題を解決するために、カメラ位置を机から少し遠ざける形をとった。こうすることにより、一般タイプとは違い、逆側に存在するアバタもアウェアすることが可能となる。この表示法を利用して、ユーザが右を向いたとき、図4.9のように表示される。この表示法は、常に全ユーザを画面上に表示させておくことができるが、その代わりに、自分だけが遠くにいるような感覚を覚えやすくなってしまい、コミュニケーションを傍観している気分になりやすい。また、一般タイプと同様に、ユー



図 4.9: 遠くから見たタイプの表示法 (e-MulCS1)



図 4.10: ズームアップタイプの表示法 (e-MulCS1)

ザが注目した方向のものが、逆に画面の中心に来てしまい違和感を与えてしまう特徴を兼ね持つ。

**ズームアップタイプ** この表示法では、提案概念を実装し、ユーザが見たいと思うものが真中に来るのではなく、ユーザが注目した方向のアバタ自身を大きくさせる。このようにすることにより、一般タイプのように、逆側にいるアバタが見えなくなるという問題も発生せず、また、遠くから見たタイプのように疎外感を感じることも無くなる。しかし、「アバタが大きくなる」というのは、ユーザにとっては違和感を感じることであり、不自然な表示法であるというデメリットも併せ持つ。

この表示法を利用して、ユーザが右を向いたとき、図 4.10 のように表示される。

**指差しタイプ** この表示法は、ズームアップタイプと同じように提案概念を実装したものであり、ユーザが注目した方向のアバタ自身に変化を持たせる。アバタを大きくするという動作は、ユーザにとって不自然である場合があるため、この表示法では、注目している方向のアバタを明るくし、さらにアバタの上部に指を表示した。そして、他のアバタは比



図 4.11: 指差しタイプの表示法 (e-MulCS1)

表 4.1: e-MulCS1 での音質

| 音質       | サンプリング周波数 | 量子化ビット数 | ステレオ/モノラル |
|----------|-----------|---------|-----------|
| 電話並の音質   | 8 kHz     | 8 bit   | モノラル      |
| ラジオ並の音質  | 22.05 kHz | 8 bit   | モノラル      |
| CD 並みの音質 | 44.1 kHz  | 16 bit  | ステレオ      |

較的暗くなるように設定した。こうすることにより、ズームアップタイプでの不自然さは取り除くことができ、また一般タイプの表示法のように、自分の注目しようとする相手が逆に画面の中心に来てしまうという問題もない。

この表示法を利用して、ユーザが右を向いたとき、図 4.11 のように表示される。

## 4.5 音声通信の実現

コミュニケーションにおいて、言語情報、つまり音声は欠かせないものである。また非言語情報である準言語を認識する上でも重要な情報である。e-MulCS1 では、音声通信のために、Java の標準音声 API である Java-Sound を利用し、ネットワークを介して、音声通信を行えるようにした。

音声通信に際し、通信環境によって音声の質を変えられるように、GUI とコマンドラインにて設定できるように実装した。設定した音のタイプを表 4.1 に表示する。

また、通信回線の環境によって、音声のバイト配列を受け取るバッファの最適な長さが変わる。また、OS によっても長さが変わった。

そこで e-MulCS1 では、100Base-TX の LAN で、表 4.1 の中の CD 並みの音声でバッファサイズを 64 バイトに設定して通信を行うことにした。

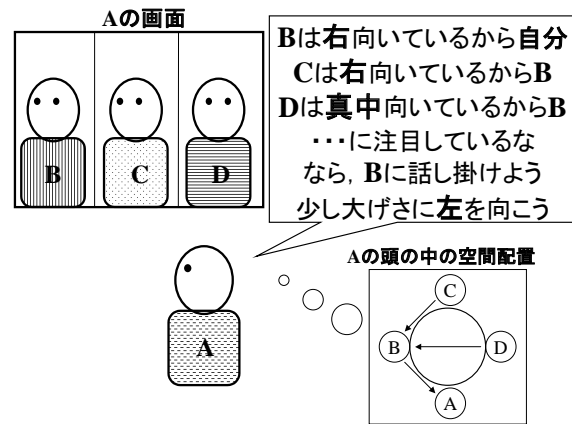


図 4.12: ビデオ会議での PFA 支援

そうすることにより、最終的には、 $0.1[\text{ms}] \sim 0.3[\text{ms}]$  の遅延での多地点音声通信が可能となり、抵抗なく会話を行うことが可能となった。

## 4.6 評価

本研究で提案した、PFA が提供された環境の有用性を検討するために、3つの評価実験を行った。

### 4.6.1 PFA の実現性評価

コミュニケーションを行う上で、PFA の支援は重要であることは既に述べた。そして本研究は、仮想空間を用い、位置関係を認識できる環境を構築することにより、直感的に PFA を支援できると主張した。

画面を分割し、位置関係を認識できないビデオ会議システムでも、参加者の意識次第で、PFA を支援することはある程度可能である。例えば、図 4.12 のような構成のビデオ会議システムでは、各ユーザが意識的に自身の注目する人の方向に首を大きさに動かすと、その動画を見て、他のユーザはどのユーザに話そうとしているかを、認識することが可能である。

このように、意識的に PFA をビデオ会議システムで実現する方法はあるが、この手法だと、直感的な PFA を支援しているとは言えない。つまり、あるユーザが自分の方向を向いたとしても、誰の方向を向いているかを認識するのに、ユーザの配置と顔の向きとの二つの情報から計算する必要がある。また、全員正面を向いているため、ユーザ自身、話し

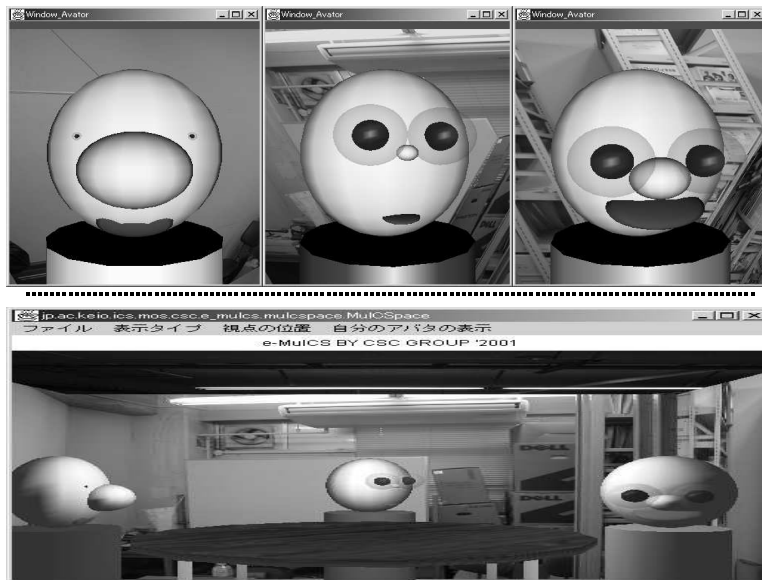


図 4.13: 実験で使ったビデオ会議風システム（上）と e-MulCS1（下）

掛けている相手が誰であるのかあいまいになりがちである。

そこで本実験では、e-MulCS1 のようにシームレスなコミュニケーション空間を構築し位置関係を認識できることが、直感的な PFA の提供に効果があることを検証する。

#### 実験内容

本実験では、ビデオ会議システムにおける PFA と、e-MulCS1 における PFA の比較を行った。「位置関係が認識できているか否か」以外を同じ条件にしないと、PFA の支援度合いを正確に測れないため、図 4.13 のように、ビデオ会議システムに似たシステム（以下、ビデオ会議風システム）と e-MulCS1（アバタはビデオ会議風システムと同じものを配置）を比較した。顔画像を切り替える手法も検討したが、顔画像に対する先入観などを極力削減する必要があると考え、このような同じアバタを二つのシステムに実装して比較した。

ビデオ会議風システムは、図 4.12 を元に設計している。したがって、図 4.13 の上の図で、左側のアバタは右側のアバタに、中央のアバタは右側のアバタに、右側のアバタは被験者に注目していることになる。

実験の流れは以下の通りである。

- (1) スタートボタンを押す。
- (2) 自動的にあるアバタが「はい！」と声を出し、他のアバタ、またはユーザの方向を

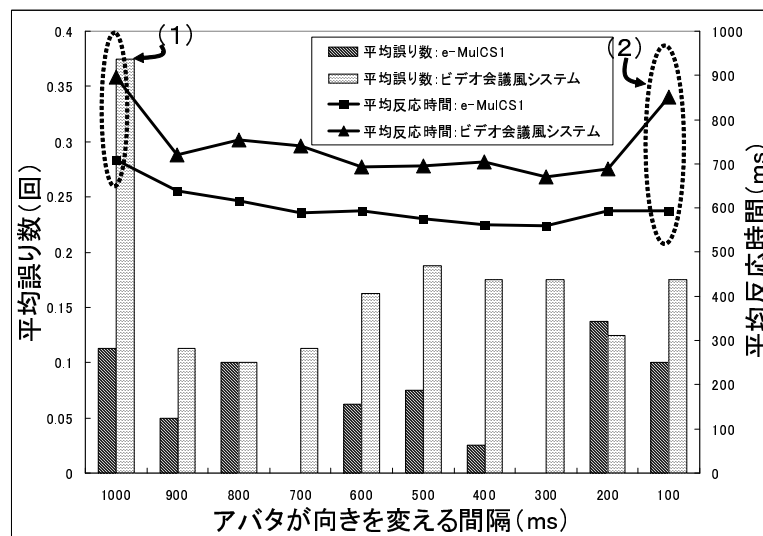


図 4.14: アバタが向きを変える間隔と平均反応速度・平均誤り数の関係

向く。

- (3) アバタの方に注目した場合，注目されたアバタは「はい!」と言って他のアバタ，または被験者の方向を注目する。
- (4) 被験者が注目された場合，被験者は自身の方向を注目したアバタを示すキーをできるだけ早く押す。
- (5) 初期条件として，アバタは1000[ms]ごとに向きを変える。そして，ユーザの方向を5回向いた後，向きを変える間隔を100[ms]短くする。この実験を10回繰り返し，最終的には100[ms]毎にアバタが向きを変える。

両方のシステムにて，被験者48人にこのタスクを行ってもらい，反応速度，誤り数を測定した。24人はビデオ会議風システムを先に，残り24人はe-MulCS1を先にやってもらうことにより，順序効果が無いようにした。実験後，アンケートに記入してもらった。

#### 実験結果と考察

アバタが向きを変える時間間隔と被験者の平均反応速度，平均誤り数の関係を示したのが図4.14である。この図を見ると，どの時間間隔でも，e-MulCS1の方がより早くより正確にPFAを認識していることが分かる。アバタが向きを変える間隔が長い(1000[ms])時(この図の(1)参照)は，反応速度が遅いが，これは慣れが影響していると考えられる。また，アバタの向きを変える間隔が早くなった時，この図中の(2)で示した部分にて他の

表 4.2: 被験者の反応速度と正確性

|              | ビデオ会議風 |          |
|--------------|--------|----------|
|              | システム   | e-MulCS1 |
| 平均反応速度 (sec) | 0.7    | 0.6      |
| 平均誤り数 (回)    | 3.4    | 1.3      |

Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果, 全ての項目が危険率 1 % 以下で有意であった

表 4.3: PFA 実現性評価のアンケート結果 (1: 全く思わない 7: 強く思う)

| 質問                            | ビデオ会議風 |          |
|-------------------------------|--------|----------|
|                               | システム   | e-MulCS1 |
| 違和感なく入力できたか<br>(直感的に正解を出せたか)  | 1.21   | 5.50     |
| 速さに対応できたか                     | 1.43   | 5.11     |
| 現実空間と近かったか                    | 1.11   | 5.36     |
| 誰がどちらの方向を注目して<br>いるかわかりやすかったか | 1.21   | 5.50     |
| 「注目された」気になったか                 | 1.71   | 4.89     |
| 操作が楽だったか                      | 2.00   | 5.43     |

Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果, 全ての質問が危険率 1 % 以下で有意であった

間隔の時よりも大きな差が出てくる。これは、ビデオ会議風システムでは向きを変える間隔が長い間は、頭の中で考えながら操作しても反応が遅れないが、間隔が短くなったとき、頭で考えている分反応が遅れたと推測する。つまり、ビデオ会議システムで支障なく PFA を得るための、発言者の移り変わり速度の閾値は 100[ms] から 200[ms] の間にあることが分かる。

被験者の反応速度と正確性を示した表 4.2 から、位置情報を認識できる e-MulCS1 の方が、約 1.2 倍早く反応することができたことが分かった。また、e-MulCS1 の平均誤り発生数は、ビデオ会議風システムの約 40% であった。e-MulCS1 の方がビデオ会議風システムよりも反応速度が早くなる傾向があるとの仮説のもと、Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果、帰無仮説が成立する確率は 1% 以下であり、危険率 1% 以下で有意差が認められた。また、e-MulCS1 の方がビデオ会議システムよりも平均誤り数が少ない傾向があるとの仮説のもと、Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果、帰無仮説が成立する確率は 1% 以下であり、危険率 1% 以下で有意差が認められた。これらの結果から、空間内にて位置情報を認識できる e-MulCS1 の方が、ビデオ会議のような空間共有せず位置情報を認識できないシステムよりも、より早く、より正確に PFA を伝達することを確認した。そして、空間共有して位置情報を認識できる環境を構築することが直感的に PFA を伝達する上で不可欠であることが分かった。

表 4.3 のアンケート結果を参照しても、全質問に対して e-MulCS1 の方が肯定的傾向を示している。e-MulCS1 の方がビデオ会議風システムよりも全アンケート結果にて肯定的傾向が出るとの仮説のもと、Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果、全項目にて帰無仮説が成立する確率は 1% 以下であり、危険率 1% 以下で有意差が認められた。これらの結果から、e-MulCS1 の“シームレスなコミュニケーション空間を有し、位置情報を認識できる”という特徴が、被験者にとって自然であり、早い会話の移り変わりにも対応することができ、誰が誰の方向を注目しているのか直感的に認識できる環境を実現できたことが分かった。

本研究では、仮想空間を用いてユーザの位置情報を認識できるようにしたが、この手法がビデオ会議のような手法に比べ直感的に PFA を支援していることを、これらの結果から確認した。

#### 4.6.2 PFA の実用面評価

システム全体として、実用的側面からの評価を得るため、スケジュール調整会議を行った。





図 4.15: 実験に利用したビデオ会議システム:iVisit

### 実験方法

本実験では、e-MulCS1の比較対象としてiVisit(<http://ufojapan.net/box/iVisit/>)を用いた(図4.15参照)。そして、作業をより早く完了することができ、参加者に余計な操作や発言をさせることなく、常に「誰が誰の方向を注目しているか」が分かることを「実用面から見て有用」とであると定義した。

被験者には、それぞれのスケジュールを合わせ、都合の良い時間に共通のスケジュールを入れるというタスクを、両方のシステムで行ってもらった。タスクは以下のような制約のもと、実施された。

- なるべく早く予定を合わせる
- 相手の名前を極力呼ばない
- 自分のスケジュールを順に読み上げたりせず、話し合いながら決めていく

実験は、48人を16グループに分け(一グループあたり3人)、8グループはビデオ会議システムを、残り8グループはe-MulCS1を先にやってもらうことにより、順序効果が出ないようにした。そして以下を測定し、最後にアンケートに答えてもらった。なお、実験の様子はビデオにて撮影した。

- タスク完了時間

表 4.4: ビデオ会議システムと e-MulCS1 の実用面評価結果

|             | ビデオ会議システム |          | Wilcoxon 符号付<br>順位検定 $p$ 値 |
|-------------|-----------|----------|----------------------------|
|             | ビデオ会議システム | e-MulCS1 |                            |
| タスク完了時間 (秒) | 272       | 246      | *0.01152                   |
| 名前使用回数 (回)  | 3.12      | 0.20     | **0.00143                  |

( $N = 48$ ; \*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$ )

表 4.5: 実用面評価のアンケート (1: 全く思わない 5: 強く思う)

| 質問              | ビデオ会議システム |          | Wilcoxon<br>符号付順位<br>検定 $p$ 値 |
|-----------------|-----------|----------|-------------------------------|
|                 | ビデオ会議システム | e-MulCS1 |                               |
| 空間を共有している気になったか | 3.52      | 3.91     | 0.12406                       |
| 空間的距離感を感じられたか   | 2.44      | 3.69     | **0.00015                     |
| 誰が誰を向いているかわかったか | 1.75      | 4.56     | **0.00000                     |
| 見られた・話された気になったか | 2.29      | 4.23     | **0.00000                     |
| 固有名詞を使わず平気だったか  | 2.52      | 3.80     | **0.00005                     |
| 画面を「向く」気になったか   | 3.17      | 4.23     | **0.00011                     |

( $N = 48$ ; \*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$ )

- 名前使用回数
- 一分あたりの発言時間
- 一分あたりの発言回数

#### 実験結果と考察

タスク完了時間、名前を使用した回数、一分あたりの発言時間、一分あたりの発言回数を記したのが、表 4.4 である。この表から、e-MulCS1 はビデオ会議システムの約 90% の時間でタスクを完了できたことが分かる。e-MulCS1 の方がビデオ会議システムよりもタスクが早く完了する傾向があるとの仮説のもと、Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果、帰無仮説が成立する確率は 5% 以下であり、危険率 5% 以下で有意差が認められた。この結果から、PFA が実現されたことにより、会話がより円滑に行われたことが推測でき、PFA を実現した本研究の有用性が確認できる。また、本実験では相手の名前を呼ばないという制

約があるにも関わらず、ビデオ会議システムでは3.12回名前を呼んでいるが、e-MulCS1では0.20回にとどまっている。e-MulCS1の方がビデオ会議システムよりも相手の名前を呼ぶ回数が少ないとの仮説のもと、Wilcoxon符号付順位検定を行った結果、帰無仮説が成立する確率は1%以下であり、危険率1%以下で有意差が認められた。これは、e-MulCS1が、ビデオ会議システムより直感的にPFAを支援しており、相手の名前を呼んで「話しかけようとしている」ことを伝える必要がほとんど無かったことを示している。撮影したビデオを解析すると、ビデオ会議システムの方では、会話の最中に「え？」や「誰に言ってるの？」といった発言が頻繁に出現するが、e-MulCS1ではそのような発言の出現頻度は小さかった。この結果からも、PFAを直感的に提供したことが、円滑なコミュニケーションの実現に貢献したことが分かった。

表4.5のアンケート結果を見ると、すべての質問に対してe-MulCS1の方が良好な結果を示した。e-MulCS1の方がビデオ会議システムよりも全アンケート結果にて肯定的傾向が出るとの仮説のもと、Wilcoxon符号付順位検定を行った結果、「空間を共有している気になったか」という質問以外の全項目にて帰無仮説が成立する確率は1%以下であり、危険率1%以下で有意差が認められた。「空間を共有している気になったか」という質問にて有意差が確認できないが、これはどちらのシステムでも画面が平面であり、画面以外の周りの様子が視野に入ってきたため表示法に大きな差が出なかったと想像する。表示デバイスとして、外界の情報が視野に入らないHMDなどを利用した場合は、もっと大きな差が出るのではないかと想像する。他の質問では、「誰が誰の方向を向いているか」が分かり、「見られた・話された」気になれたという結果を得ることができ、PFAを支援したことによる利点がこの結果から分かる。またe-MulCS1では、顔を動かすと自身の注目した方向へフィードバックを得ることができる。そのため「画面を向く気になったか」という質問に対してもe-MulCS1の方が良い結果を出している。また、ビデオに録画した実際の実験風景を確認したところ、ビデオ会議システムに比べ、e-MulCSを用いた場合の方が、画面を見ている時間が多かった。

これらの結果から、提案概念を実装したe-MulCS1は、タスクをより早く完了でき、相手の名前を意識的に呼ぶ必要も少なく、常に「誰が誰の方向を注目しているか」を認識することができるということが分かった。また、ユーザの注目している方向に対してのフィードバックがあることにより、より画面に注目することも分かり、実用面から見て本研究で提案したPFAを実現したコミュニケーション環境が有用であることが確認できた。

#### 4.6.3 入力装置と画面表示の適性評価

本システムでは、モーションプロセッサと新しい表示方法を使うことにより、対面会議と同じように、注目したい人の方向を常に直感的に向くことができ、PFAがサポートさ

表 4.6: 入力インタフェースと画面表示法の比較結果

|                | キーボード<br>と一般表示 | モーシ<br>ョンプロ<br>セッサと<br>新表示法 | Wilcoxon<br>順位検定<br>$p$ 値 |
|----------------|----------------|-----------------------------|---------------------------|
| 向き変更数 (回 / 1分) | 9.9            | 36.2                        | **0.00000                 |

( $N = 48$ ; \*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$ )

表 4.7: 入力インタフェースと画面表示法の比較のアンケート (1: 全く思わない 5: 強く思う)

| 質問           | キーボード<br>と一般表示 | モーシ<br>ョン<br>プロセ<br>ッサと<br>新表示<br>法 | Wilcoxon<br>順位<br>検定<br>$p$ 値 |
|--------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 画面を向く気になったか  | 3.04           | 4.27                                | **0.00001                     |
| 直感的に向きを伝えたか  | 2.95           | 3.94                                | **0.00356                     |
| 相手を向いた気になったか | 3.04           | 4.29                                | **0.00000                     |

( $N = 48$ ; \*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$ )

れているコミュニケーションを実現できる。そこで、このシステムにおいて利用した入力装置と、その装置に適した画面表示方法が適切であったかを調べるための実験を行うため、4.6.2 節と同様のスケジュール調整会議を行った。比較システムとして、キーボードの入力によって向きを変え、従来の空間表示方法である遠くから見たタイプ (4.4.3 節の図 4.9 参照) を適用した e-MulCS1 を用いた。

#### 実験内容

本実験は、4.6.2 節と同じ方法でスケジュール調整会議を行い、更に被験者の「向きを変えた回数」も測定した。

#### 実験結果と考察

向き変更回数の平均を記したのが、表 4.6 である。この表を見ると、モーシ  
ョンプロセ  
ッサを使ったシステムでは、向き変更数が 36.2 回だったのに対し、キーボードを使ったシステムでは 9.9 回にとどまった。モーシ  
ョンプロセ  
ッサを使ったシステムの方がキーボードを使ったシステムよりも向き変更数が増える傾向があるとの仮説のもと、Wilcoxon

符号付順位検定を行った結果，帰無仮説が成立する確率は1%以下であり，危険率1%以下で有意差が認められた．これらの結果から，モーションプロセッサの方が直感的に，かつユーザに負荷をかけることなくPFAを認識することができたため，向き変更数が多くなったと推測できる．

表4.7のアンケート結果を参照しても，全質問に対して，モーションプロセッサを利用したシステムの方が良い結果を残している．モーションプロセッサを使ったシステムの方がキーボードを使ったシステムよりも全アンケート結果にて肯定的傾向が出るとの仮説のもと，Wilcoxon符号付順位検定を行った結果，全項目にて帰無仮説が成立する確率は1%以下であり，危険率1%以下で有意差が認められた．「画面を向く気になったか」「直感的に向きを伝えられたか」という質問に対してモーションプロセッサの方が良い結果を示したのは，モーションプロセッサが直感的に操作できる点と，被験者に負担がかからないことが評価されたと推測される．また，「相手を向いた気になったか」という質問に対して，新しい表示法の方が良い結果を出し，新しい表示法が被験者にとって直感的であったことがこの結果から推測できる．

これらの結果から，多地点遠隔会議システムにおいて，モーションプロセッサとモーションプロセッサに適している表示方法を適用した方が，キーボードと従来の表示方法を適用するより，適切であることが分かった．

## 4.7 まとめ

本章では，非言語情報に注目し，PFAを実現することに主眼を置いたプロトタイプシステム e-MulCS1 の紹介をした．PFAを実現する環境を構築するために，e-MulCS1では，仮想空間を構築する手法をとった．そして，ユーザの注目している方向を顔の向きから抽出し，それを仮想空間内のアバタに反映させる手法をとった．また，顔の向きから注目している方向を認識する手法に最適な画面表示として，ユーザの注目している方向に変化を与える表示法を採用した．

評価実験にて，仮想空間を用いたことによりPFAがより直感的に認識できたことを確認した．また，PFAが認識できる環境でのコミュニケーションがより円滑になったことを，実用実験により実証した．さらに，PFAを抽出するための入力インタフェースおよび画面表示法が，従来のキーボードを用いた手法よりも，より有効であることを確かめた．

本章では，対面環境と同等のコミュニケーション環境を構築するというアプローチに基づき，非言語情報の提供に焦点をあてた．非言語情報の中でも，PFAの実現に焦点をあて，誰が誰に関心を持っているかを認識できる環境を構築し，その有用性を確かめた．本研究が目的とする，誰が誰にどの程度関心を持っているかを認識できる環境を実現する上で，非言語情報を適用することの有用性を確認した．

# 第5章 生体情報を活用したコミュニケーション支援

## 5.1 はじめに

前章では、誰が誰にどの程度関心を持っているかを認識できる環境を実現するために、まず、非言語情報を提供するというアプローチをとり、PFAを実現した環境を構築し、その有用性について論じた。

本章では、対面環境で提供される非言語情報を適用するのではなく、対面環境では提供されていない生体情報を提供し、対面環境では実現できないコミュニケーション環境を構築するアプローチをとる。e-MulCS1にて有用性を確認したPFAの提供に加え、生体情報として、脳活動度・突発脳活動・瞬きを抽出し、提供するプロトタイプシステムe-MulCS2(enhanced Multiparty Conference System 2)の紹介をし、具体的な実装手法について言及する。また、評価実験を通して本研究で用いている生体情報が正確に人間の状態を表していることを検証し、さらに、これらの指標をコミュニケーションに適用することの有用性について論じる。

## 5.2 e-MulCS2の概要

本システムは、3章で述べた提案をデザインコンセプトとして、実装された。

本システムは、e-MulCS1同様、図4.1のように、最大3～4人の会議を想定して構築された。そして、それぞれのユーザがアバタとして仮想空間の中に存在し、そのアバタを介してコミュニケーションを図った。各々のユーザは脳波計を装着し、脳波データを解析することにより、ユーザの脳活動状態を抽出し、それをアバタに反映させる方式を採用した。また、誰が誰の方向を注目しているかを認識できるように、ユーザの注目している方向をアバタに反映させ、PFAを実現している。

図5.1に本システムの実装画面を表す。この図を見ると、左側と中央の二人は現在関心を持って話をしているが、右側のユーザは現在の会話に関心がない(脳活動度が低い)ことが直感的に分かる。また、PFAの提供により、左側と中央の二人が会話していることも認識できる。

図5.2に、本システムの利用風景を表示する。この図では没入感を出すために、ユーザは大型スクリーンを利用して本システムを利用しているが、一般的に使われているPC用の画面でも、本システムは問題なく利用することが可能である。

本システムでは、以下のことが実現可能である。

- 向いている方向を認識し、アバタの向きを変えることにより、誰が誰に注目しているかを、ユーザーの微細な顔の向きで認識
- 簡易脳波計から抽出した脳活動レベル(現在の話に関心をもっているか否か)をアバタに反映



図 5.1: e-MulCS2 の画面

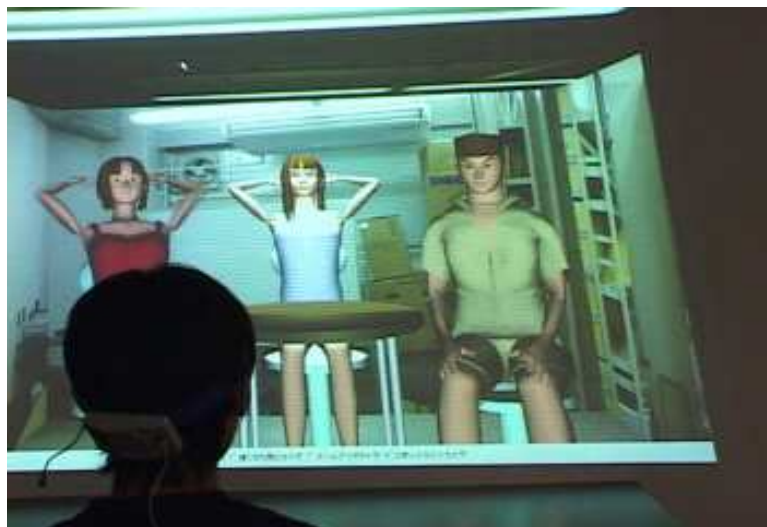


図 5.2: システム利用風景



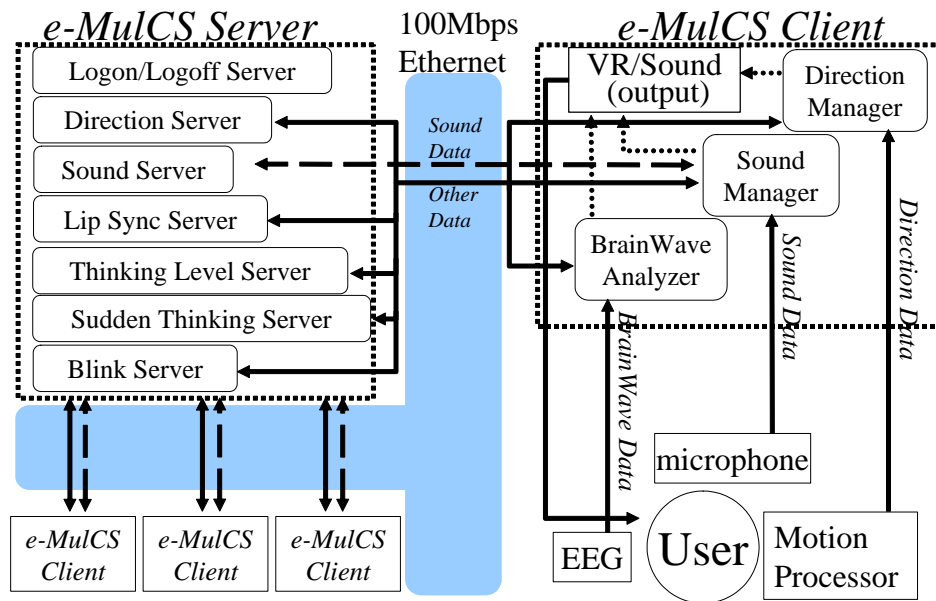


図 5.3: システム構成図

- ユーザ本人の脳活動レベルをユーザの画面に反映することにより，ユーザ自身の脳活動レベルをフィードバック
- 簡易脳波計から抽出した突発脳活動をアバタに反映
- 簡易脳波計から抽出した瞬きをアバタに反映
- 話していることを認識し，それを話中状態という形でアバタに反映
- 各ユーザの音声，リアルタイムに他のユーザに聞こえるように設計（多地点音声通信を実現）

本システムのシステム構成図を示したのが，図 5.3 である．*e-MulCS2* はクライアント・サーバ型で設計されており，柔軟にクライアント数を変更することが可能である．本システムでは，モーションプロセッサの認識率の制約から，最大クライアント数を 4 人としている．今後，PFA を認識するインタフェースの性能向上により，クライアント数を増やすことは可能である．

図 5.3 で，各モジュールの役割は以下のとおりである．

- Logon/Logoff Server: クライアントのログイン / ログオフを管理する．
- Direction Server: 誰が誰の方向を注目しているかの情報を管理する．

- Sound Server: 音声データを管理し、各クライアントから来た音声データを合成して、各クライアントに送信する。
- Lip Sync Server: 各クライアントから送られてきた、現在ユーザが話しているか否かの情報を受け取り、それを管理して、各クライアントに情報を送る。
- Thinking Level Server: 各クライアントで抽出された脳活動レベルを受け取り、それを管理して、各クライアントに情報を送る。
- Sudden Thinking Server: 各クライアントで抽出された突発脳活動の情報を受け取り、それを管理して、各クライアントに情報を送る。
- Blink Server: 各クライアントで脳波計により抽出された、現在瞬きをしているか否かの情報を受け取り、管理して、各クライアントに情報を送る。
- Direction Manager: ユーザ自身がどちらの方向を注目しているかを管理するとともに、サーバから受け取った他のユーザの注目している方向を取得し、それを出力モジュール（仮想空間 / VR）に伝達する。
- Sound Manager: ユーザのマイクからの入力データを、ネットワークを介してサーバに送るとともに、サーバから送られてきたデータを、受信し、それを出力モジュール（スピーカーなど）に送る。またマイクからの入力を元に、音声入力レベルを検知し、指定した閾値を超えていたら「話中」であると認識し、その情報をサーバに送るとともに、サーバから誰が話中であるかの情報を受け取り、そのデータをVR出力モジュールに渡す。
- BrainWave Analyzer: ユーザの簡易脳波計から脳波データを受け取り、そのデータから脳活動レベル・突発脳活動・瞬きを検出し、それらの情報をサーバに送信する。また、サーバから受け取ったこれらの情報を、VR出力モジュールに受け渡す機能も持つ。
- VR/Sound(output): 出力モジュールのことを示す。このモジュールでは、他のモジュールから送られてきたデータをもとに、仮想空間（VR）・音声データを作成し、それを、画面とスピーカ（ヘッドフォン）を通じて、ユーザに通知する役割を果たす。

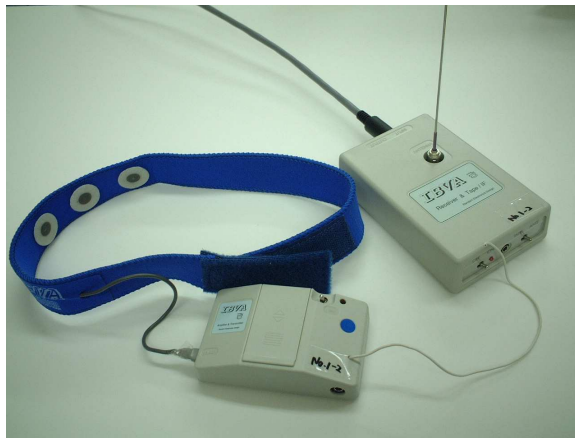


図 5.4: 本システムで利用した脳波計 : IBVA

## 5.3 脳波の測定と脳活動，突発脳活動，瞬きの抽出

### 5.3.1 脳波装置

本システムでは，脳活動状態を測定し，コミュニケーションに対する関心を自動的に認識するために，簡易脳波計 IBVA (Interactive Brainwave Visual Analyzer) を利用した。IBVA の概観を示したのが，図 5.4 である。

IBVA は，図 2.5 の国際 10-20 法の  $Fp1$ ,  $Fp2$  に電極が存在する脳波計であり，学術的にも利用されてきた [73, 86, 118, 132, 133]。IBVA は送信機と受信機，3 つの電極を付けるヘッドバンドから構成されており，ユーザはヘッドバンドを頭部の額部分の真中に装着し，ヘッドバンドにて電位差を測定する。電極は真中がアースの役目をし，左右の電極が得た電位の高い方を出力とする。そして，ヘッドバンドの電極からのデータが送信機に送られ，送信機は無線で受信機にデータを送信する。受信機と PC は，シリアルポートか USB ポートを経由して通信することが可能となっており，本システムでは，USB ポートを利用して通信することにした。

IBVA は，他の脳波計に比べ，以下のような利点を持っている。

- 軽量・小型なため，ユーザに負担をかけない
- ワイヤレスでデータを送信できるため，ユーザを束縛することなく，ユーザは自由な行動をとることができる。
- 非常に安価である（¥100,000/一台 程度）。
- 電極が少なく，額の部分だけで測定できるため，装着していても違和感が無い（普通の脳波計を装着すると，帽子をかぶり，その帽子に，20 個ほどの電極が付きさ

さった概観になる)

- 導入実績が多い．そのため，さまざまところに本装置の情報を見つけることができる．

逆に，本装置は以下のような欠点もあわせて持っている．

- 前頭葉の脳波データしか取得することができない．
- 精度は良いとはされておらず，よって医療用の機器としても正式に認められてない．

しかし後述する脳活動状態の測定は，主に前頭葉のデータを利用すれば測定することができ，実装した結果，十分な精度の分析結果を出した．今後，より精度が高い脳波計が出てきたら，より精度の高い脳活動状態の測定をすることができると考えられる．

### 5.3.2 脳波データ取得と窓関数

本研究では，IBVA から得たデータをリアルタイムに集計・分析し，適切に脳活動状態データの算出などをする必要があった．しかし，IBVA に付属している脳波解析ソフト (Mind Force) では，FFT 変換した結果をグラフに表示することしかできず，値をリアルタイムに解析することなどはできなかった．そのため，IBVA からリアルタイムにデータを取得し，それを表示するだけでなく，リアルタイムにデータを集計・分析することが可能なアプリケーションの開発が必要になった．

そのような中，Mind Force でどのようにして IBVA のデータを取り込んでいるかなどを知る必要があり，直接 IBVA Technology にどのような仕組みで解析が行われているか問い合わせた．その結果，シリアルポート経由の通信で 2400bps, 8 data bit, no parity, 1 stop bit でデータを取得することができるということが分かった．また，データはビットの順番が反転して送られてくるので反転させる必要があることも分かった．そこでこれらの情報を元に，シリアルポートからのデータを受け取るプログラムを作成した．

こうして，生データを取得することができたが，脳波解析をするためには，窓関数を掛け合わせる必要がある．そして，脳波解析をする時にはハニング・ウィンドウが最も適していると言われている [67]．そこで生データにハニング・ウィンドウをかけあわせた．こうして得られたデータをリアルタイムに表示しているのが，図 5.5 である．

こうして得られたデータを，FFT アルゴリズムで処理すると，周波数ごとのデータを得られる．本システムでは，窓関数をかけた生データを 128 ポイントで FFT した．こうして得られるデータは半分の 64 個のデータで，周波数レンジが 0Hz-60Hz であるため，

$$60[\text{Hz}] / 64[\text{point}] = 0.9375[\text{Hz/point}]$$

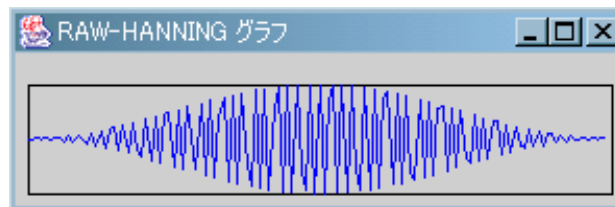


図 5.5: 窓関数を使った後の生データ表示

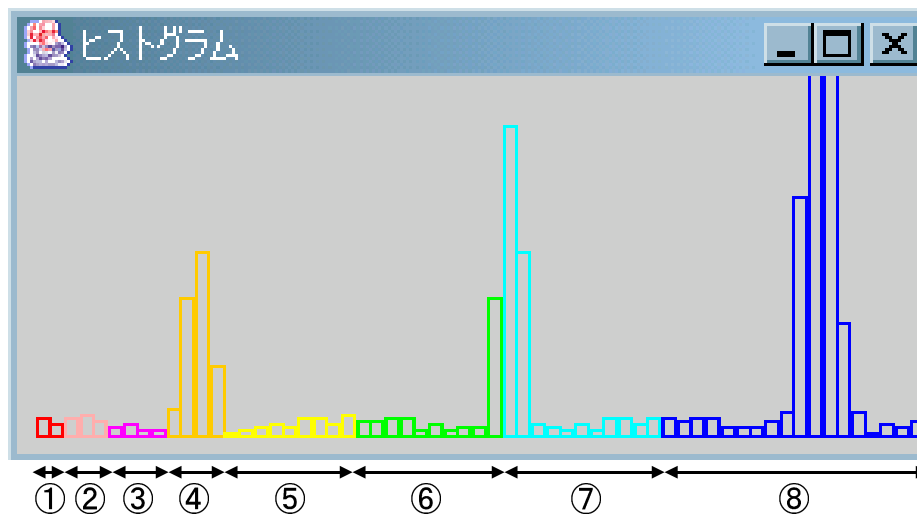


図 5.6: 周波数ごとのスペクトル表示

となり,  $0.9375\text{Hz}$  の周波数分解能となった。1 つ目のデータから  $0\text{Hz}$ ,  $0.9375\text{Hz}$ ,  $1.875\text{Hz}$ ... と対応させて周波数ごとのデータ  $0\text{--}1\text{Hz}$  は眼球運動帯域,  $1\text{--}4\text{Hz}$  は 波,  $4\text{--}8\text{Hz}$  は 波,  $8\text{--}13\text{Hz}$  は 波,  $13\text{--}20\text{Hz}$  は 波低帯域,  $20\text{--}30\text{Hz}$  波中帯域,  $30\text{--}40\text{Hz}$  波高帯域,  $40\text{--}60\text{Hz}$  はノイズのデータが得られた。

こうして得られた, 周波数ごとのスペクトルを図 5.6 に表示した。この図で, 番号がついているところと, その帯域の関係は以下のようにになっている。

- ( 1 ): 眼球運動帯域
- ( 2 ): 波
- ( 3 ): 波
- ( 4 ): 波
- ( 5 ): 波低帯域

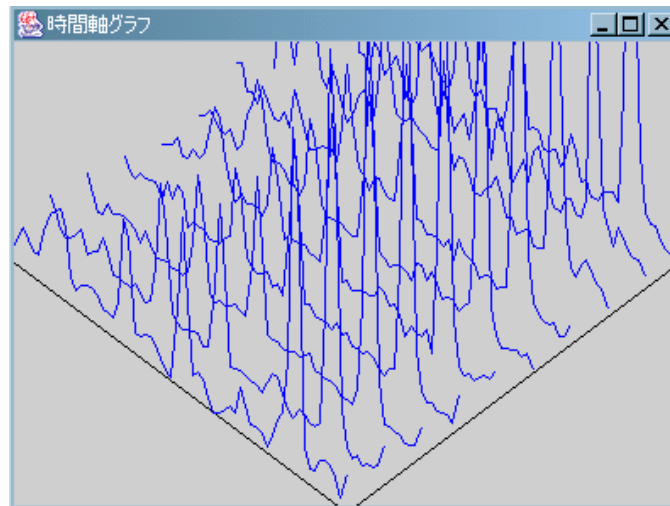


図 5.7: 時系列に並べた周波数ごとのスペクトルデータ

- ( 6 ): 波中帯域
- ( 7 ): 波高帯域
- ( 8 ): ノイズ

生データは1サンプル(1つの8ビットデータ)あたり1/120秒間隔でPCに送られる。FFTは128ポイントを用いて集計されるため、FFTされた結果は、約1秒ごとに得られることになる。しかし、一秒間に一回の結果では、リアルタイムな解析をしているとは言いがたい。そこで、より早い時間間隔でデータを得るために、データをオーバーラップさせる機能も実装した。オーバーラップとは新しくサンプリングされたデータと以前のデータと重ねて(オーバーラップして)FFT解析を実行することである。オーバーラップ量が大きいということは、それだけ信号の変化に高速に追従していることである[134]。

オーバーラップも加え、脳波の周波数解析したデータを時系列に並べたものが、図5.7である。このグラフを見ることにより、自分の脳波データの時間ごとの移り変わりをリアルタイムに参照することが可能になる。

脳波データ取得・解析ソフトは、図5.8の開始ボタンをクリックすることにより、開始される。また本システムでは、図5.9のようにFFTが対象にするデータ数を変えることもでき、さらに図5.10のように、オーバーラップの割合も設定することが可能になっている。



図 5.8: 脳波データ解析ソフトのメイン GUI



図 5.9: FFT のポイント数設定

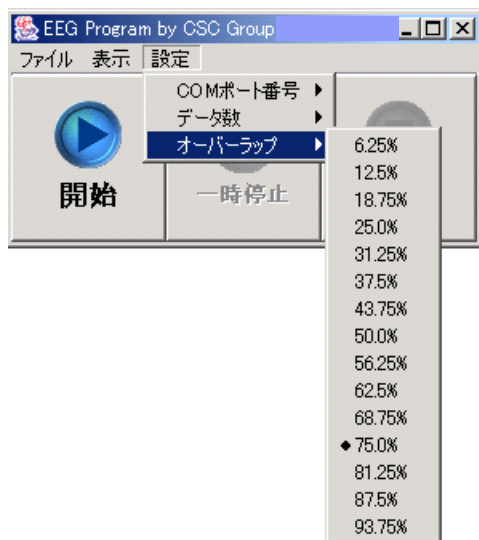


図 5.10: オーバーラップの設定

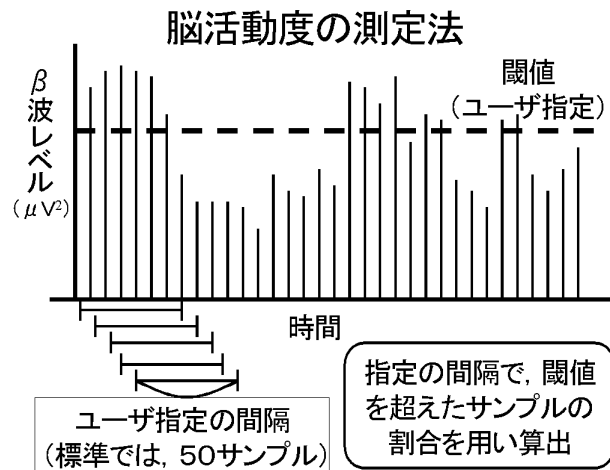


図 5.11: 脳活動度算出方法

### 5.3.3 脳活動度データの取得

波は、興奮・思考・精神活動に伴い、強く現れるという研究が数多くされている [135, 136]。そこで本システムでは、波が高まったと言うことは、ユーザが脳活動をしたと仮定し、波を測定することにより、脳活動度を抽出することにした。

波を用いて脳活動度を測定するが、波の中でも脳活動をするとの周波数帯域のスペクトルが大きく出るかは、人によってさまざまである。すべての人の脳活動状態を的確に抽出するためには、波全体の中でも一番浮き沈みが激しい周波数帯域を重点的に測定する必要があると考えた。そこで本システムでも、波帯域の中で一番強くスペクトルが出た帯域のデータを取得し、それを脳活動度を算出する元のデータとした。

人間は一瞬で思考をするのではなく、思考にある程度の時間をかけると考えられる。そこで本システムでは、脳活動度を算出するにあたり、波からのデータを、ある一定時間（ユーザ指定・任意の数のサンプル。標準では、50サンプル（約12秒）に設定）保存しておき、指定した時間の波データを脳活動度の算出対象とした。そしてユーザにある閾値を設定してもらい、その閾値を超えたサンプル数の割合（閾値を超えたサンプル数 / 対象サンプル数）を算出し、これを脳活動度と定義した。脳活動度算出の様子を示したのが、図 5.11 である。

また、ユーザは脳活動度の閾値を自由にリアルタイムに変更することが可能である。ユーザが脳活動度の閾値を調整する GUI を示したのが、図 5.12 である。

この閾値を高くすることにより、ユーザの脳活動度は相対的に低くなり、逆に低くすると、ユーザの脳活動度は相対的に高くなる。従って、相手の話により関心を持っている態度を示したい場合は、脳活動度の閾値を低めに設定することにより、脳活動度を高めることが可能になり、相手に関心を持っている態度をアバタに持たせることが可能となる。こ



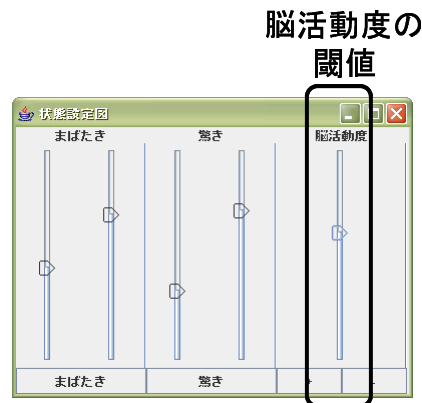


図 5.12: 脳活動度の閾値調整 GUI

のようにして、脳活動度の個人差への対応を実現している。

こうして得られた脳活動度を時系列に並べた一例のグラフが、図 5.13 である。このグラフの細かい説明は、第 5.9.1 節で述べるが、このグラフから、そのユーザの脳活動度の推移を読み取ることが可能になる。

### 5.3.4 脳活動レベルの取得

脳活動度より、ユーザの脳活動状態が把握することが可能となったが、この脳活動度をそのままアバタなどに反映させ視覚化すると、アバタが常に動きつづけてしまい、落ち着きが無くなり、コミュニケーションに支障をきたす可能性がある。そこで、脳活動度（0.0～1.0 の値）を任意の段階のレベル（標準では 5 レベル）に分け、それを脳活動レベルと定義した。

表 5.1 は、脳活動度と脳活動レベルの関係を示しているが、このように脳活動レベル 3（標準状態）の範囲を大きくすることにより、平常の状態が多くなるように設定されている。また、この指標を用いることにより、ある一定時間は同じ状態を保つため、アバタに

表 5.1: 脳活動度と脳活動レベルの関係

| 脳活動レベル | 脳活動度      |
|--------|-----------|
| 1      | 0.0 ~ 0.1 |
| 2      | 0.1 ~ 0.3 |
| 3      | 0.3 ~ 0.7 |
| 4      | 0.7 ~ 0.9 |
| 5      | 0.9 ~ 1.0 |

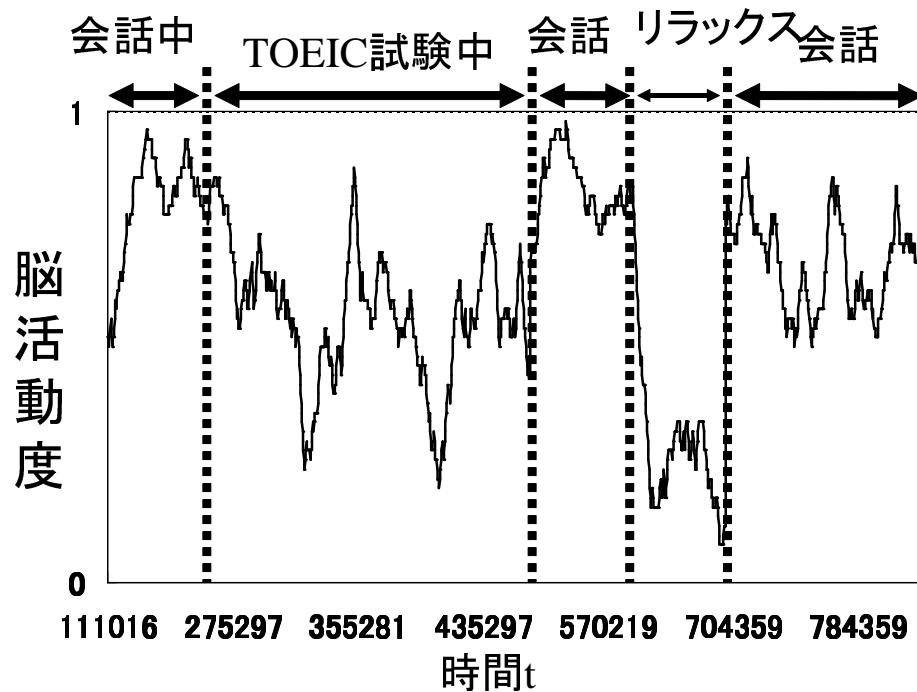


図 5.13: 脳活動度の移り変わりの一例

反映されたとき、落ち着きなく動きつづけることもない。図 5.14 に図 5.13 で示した脳活動度を脳活動レベルに変換したときのグラフを表示する。

### 5.3.5 突発脳活動の取得

人間が驚いた時、脳波には大きな乱れが生じ全周波数のスペクトルが全体的に高くなる。そこで突発脳活動のスペクトルとして閾値をあらかじめ設定し、突発的に閾値を超えた状態（図 5.15 の（1）の部分）を「突発脳活動」と定義した。以下に突発脳活動を抽出する際に利用した定義式を表す。

$$Power = \frac{\sum_{f=1}^{40} power(f)}{40} > Power_{\text{突発脳活動}}$$

各パラメータは以下のものを表している。

- $Power$  : 全周波数 (0-40Hz) の平均値 ( $\mu V$ )
- $power(f)$  :  $f$ Hz 帯の脳波強度の値 ( $\mu V$ )
- $Power_{\text{突発脳活動}}$  : 突発脳活動判定の閾値 ( $\mu V$ )

ユーザが任意に調整する閾値変更の GUI を表示したのが、図 5.16 である。

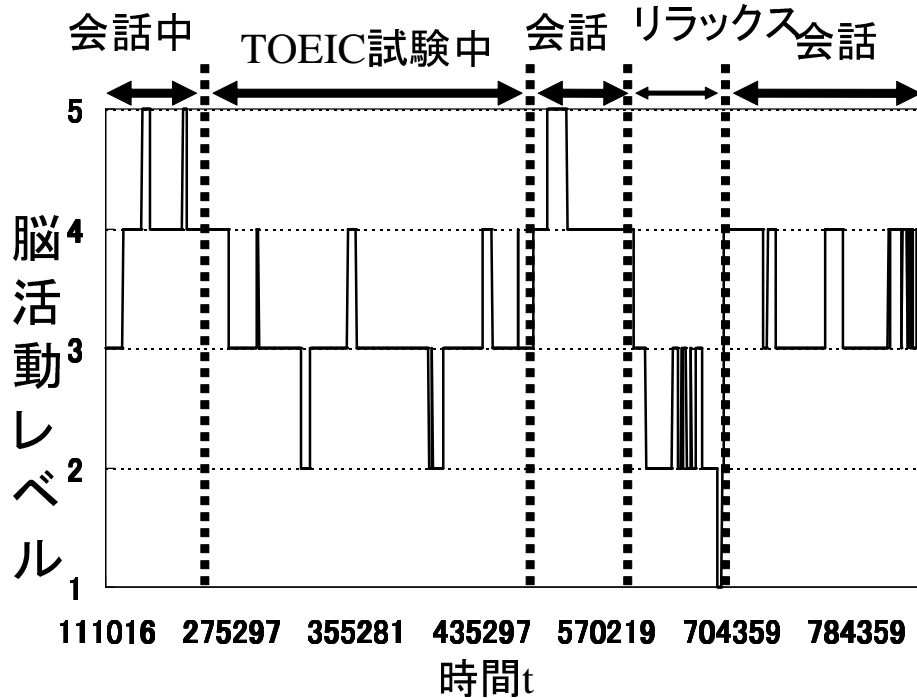


図 5.14: 脳活動レベルの移り変わりの一例

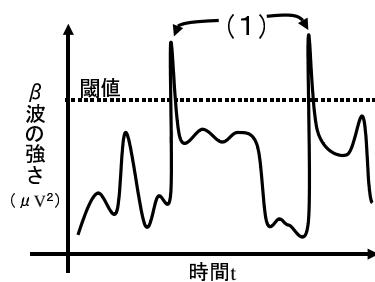


図 5.15: 突発脳活動の測定

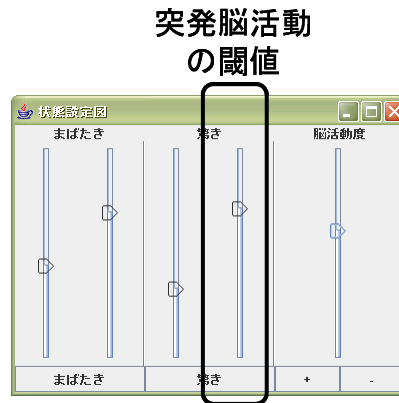


図 5.16: 突発脳活動の閾値調整 GUI

### 5.3.6 瞬きの取得

本研究では，脳波計を主に脳活動状態の抽出用の装置として利用した．しかし脳波データを解析することにより，他にもさまざまな情報を得ることができる．それらの情報の中の 하나가瞬きであり，e-MulCS2 ではユーザの瞬きを他のユーザが認識できるように実装されている．

瞬きの認識には，突発脳活動（5.3.5 節）と同じように，ユーザに任意の閾値を設定してもらう．瞬きをすると簡易脳波計の低い周波数（1-4Hz 近辺）にノイズが生じ，それらの周波数のスペクトルが高くなる．そこで，測定中，常に 1-4Hz の周波数の平均値を抽出し，閾値を超えたときの状態を瞬きの状態であると定義した．以下に瞬きを抽出する際に利用した定義式を表す．

$$Power = \frac{\sum_{f=1}^4 power(f)}{4} > Power_{瞬き}$$

各パラメータは以下のものを表している．

- $Power$  : 1-4Hz の平均値 ( $\mu V$ )
- $power(f)$  :  $f$ Hz 帯の脳波強度の値 ( $\mu V$ )
- $Power_{瞬き}$  : 瞬き判定の閾値 ( $\mu V$ )

瞬きの閾値を設定する GUI を表示したのが，図 5.17 である．

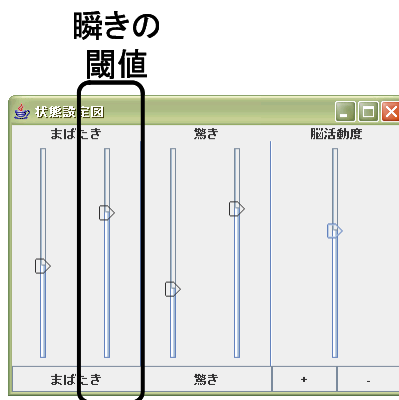


図 5.17: 瞬きの閾値の設定

## 5.4 仮想空間とアバタ

本システムの仮想空間は、e-MulCS1 と同様に、図 4.6 をもとに作られた。こうして構築されたシステムの画面が、図 5.1 である。

### 5.4.1 仮想空間の設計

### 5.4.2 ユーザ自身のアバタ表示と仮想空間のカメラ位置設定

ユーザは、本システム中のアバタと対話することになる。そこで、ユーザにとってより対話をしやすくなるように、ユーザ自身のアバタ表示の有無を切り替えられるようにし、また、仮想空間のカメラ位置を何種類か設定できるように本システムは実装された。

#### 自分のアバタを非表示

自分のアバタを非表示にすることにより、自分があたかも仮想空間の中においてコミュニケーションを図っているような錯覚を覚えることができる。本システムは、標準ではこのモードで利用されることになっている。このモードを表示しているのが、5.2 節で紹介した、図 5.1 である。

#### 自分のアバタを表示・カメラ位置移動なし

本システムを利用するにあたり、自分のアバタを表示するほうが、直感的に利用できるというユーザもいた。そこで、自分のアバタを表示したモードも実装した。自分のアバ



図 5.18: 仮想空間表示法（左：自分のアバタを表示した画面，中央：カメラ位置を上部に設定した画面，右：ユーザ自身のアバタのみを表示した画面）

タを表示することにより，ユーザは空間内での自分の位置などを直感的に把握できる．また，自分のアバタを表示しなかったタイプに比べると，第三者的立場でコミュニケーションに参加することが可能となる．このモードを利用したときの画面が図 5.18 の左である．

#### 自分のアバタを表示・カメラ位置を少し上部に移動

前節で自分のアバタを表示した画面を示したが，この表示方法だと自分のアバタの影に他のアバタが隠れてしまう．そこで，自分のアバタを表示するとともに，仮想空間を映し出すカメラの位置を少し上に移動し，上から見下ろした雰囲気表示も実装した．このモードを利用することにより，コミュニケーション空間の全体的様子を認識することが可能となる．このモードを利用したときの画面が，図 5.18 の中央である．

#### 自分自身のアバタを表示

コミュニケーションを続けていると，しばしば自分のアバタがどのような態度・表情をしているかなどが気になることがある．そこで，自分のアバタのみを表示するモードも実装した．このモードを利用しているときは，基本的に他の参加者の様子を認識することができないが，一時的に自分のアバタの状態を認識したいときなどには有効であると考えられる．このモードを利用したときの画面が，図 5.18 の右である．

### 5.4.3 アバタの設計

本プロトタイプシステムでは，図 5.19 のような 4 種類のアバタを利用可能である．これらのアバタは，すべて同じ骨格で作られており，同じ動作をする．本研究では，これらのアバタを，PFA・脳活動度・突発脳活動・瞬きを反映することができるアバタの一例と



図 5.19: 4 種類のアバタ



図 5.20: アバタの向きの動き

して設計・利用している。

## 5.5 PFA と画面表示法の対応

### 5.5.1 向きとアバタの動き

モーションプロセッサで認識された、ユーザの注目した方向の情報を利用して、e-MulCS2 では、アバタの向く方向を制御した。アバタの向きの動きを示したのが、図 5.20 である。アバタが向きを変えるとき、その動作は各状態間を補完されて表示され、より自然に向きの変更を認識することができる。

そして、向きなどを動かしているシステム利用風景が、図 5.21 である。この図を見ると、現在左側のユーザを真中と右側のアバタが注目しているということが直感的に認識できる。これは全ユーザの正面動画を表示するビデオ会議システムでは、分からないことである。またこの図を見ると、真中のユーザは左側のユーザの話を熱心に聞いており、右側のユーザは、真剣に聞いてないということも直感的に認識することが可能となる。



図 5.21: システム上でのアバタの動き

### 5.5.2 注目した方向の認識とユーザの画面表示法

本システムでは、e-MulCS1 と同様に、ユーザの注目した方向に応じて画面全体が動くタイプ 2 種類（一般タイプ・遠くから見たタイプ）と、ユーザの注目した方向に変化をもたらす提案手法（ズームアップタイプ・スポットライトタイプ）の 4 種類を実装しユーザ自身がどちらを注目したかなどが認識できるように設定した。

図 5.22 に、e-MulCS2 での表示手法を示す。基本的に、これらの表示方法は 4.4.3 節で述べた表示方法と同じデザインコンセプトで開発されている。

## 5.6 脳活動状態とアバタ・画面表示法の対応

本研究では、脳活動状態として脳活動度の指標を提示し、これらをユーザが直感的に認識できるような環境を提案している。また、簡易脳波計から突発脳活動、瞬きも認識した。そこで本システムでは、脳活動状態をアバタに反映させることにより、直感的に脳活動状態をアウェアできる環境を作り出している。また、突発脳活動、瞬きをアバタに反映することにより、より豊かな表情のアバタを実現している。以下に、各指標とアバタ・空間表示法との対応付けの説明を行う。





図 5.22: ユーザの注目に応じた4つの表示手法(左上:一般タイプ, 右上:遠くから見たタイプ, 左下:ズームアップタイプ, 右下:スポットライトタイプ)

### 5.6.1 脳活動レベルとアバタの態度の対応

5.3.4節にて説明したとおり,脳活動レベルを標準では5レベルに設定した.そして,その脳活動レベルに対応した態度をアバタにとらせるように本システムは設計した.

図 5.23 は,脳活動レベルとアバタの正面から見た態度の対応を説明した図である.また図 5.24 は,脳活動レベルとアバタの横から見たときの態度の対応を示した図である.

本システムでは,このように脳活動レベルがあがるほど,関心がある態度をアバタにとらせることにより,他の参加者が直感的に相互の脳活動状態を認識できるように設計した.

なお,各脳活動レベル間のアバタの動作は,モーフィングの技術により補完されるため,その動作に違和感が無いように考慮されている.

### 5.6.2 脳活動レベルとユーザの画面表示法の対応

人間は,物事に集中したり関心を持ったりすると,その対象物・人に焦点を絞り,その周りがぼやけて見えなくなるという特徴をもつ.逆に集中せず,リラックスしているときなどは,全体が均等に見える.

本システムでは人間のこの特徴を生かし,ユーザの脳活動レベルが高くなってきたらズームアップされていき,逆に脳活動レベルが低くなってきたらズームアウトされて,全

| 脳活動<br>レベル               | アバタ   | 脳活動<br>レベル                  | アバタ  |
|--------------------------|---|-----------------------------|--|
| 1<br>(脳活動<br>なし)         |  | 4<br>(大きく<br>脳活動し<br>ている)   |  |
| 2<br>(少し脳<br>活動して<br>いる) |  | 5<br>(大変大き<br>く脳活動し<br>ている) |  |
| 3<br>(脳活動<br>している)       |  |                             |  |

図 5.23: 脳活動レベルとアバタの態度の対応 (正面)






| 脳活動<br>レベル               | アバタ   | 脳活動<br>レベル                  | アバタ  |
|--------------------------|---|-----------------------------|--|
| 1<br>(脳活動<br>なし)         |  | 4<br>(大きく<br>脳活動し<br>ている)   |  |
| 2<br>(少し脳<br>活動して<br>いる) |  | 5<br>(大変大き<br>く脳活動し<br>ている) |  |
| 3<br>(脳活動<br>している)       |  |                             |  |

図 5.24: 脳活動レベルとアバタの態度の対応 (横)

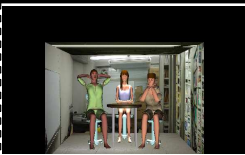
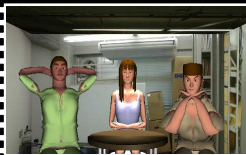


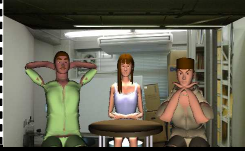
| 脳活動<br>レベル               | アバタ   | 脳活動<br>レベル                  | アバタ  |
|--------------------------|---|-----------------------------|--|
| 1<br>(脳活動<br>なし)         |  | 4<br>(大きく<br>脳活動し<br>ている)   |  |
| 2<br>(少し脳<br>活動して<br>いる) |  | 5<br>(大変大き<br>く脳活動<br>している) |  |
| 3<br>(脳活動<br>している)       |  |                             |  |

図 5.25: 脳活動レベルとユーザの画面表示法の対応

体が見えるような画面表示法を適応した．このようにすることにより，ユーザは，自分の脳活動状態のフィードバックをうけることが可能となった．

脳活動レベルとユーザの画面表示法の対応を示しているのが，図 5.25 である．

### 5.6.3 突発脳活動とアバタの表情

5.3.5 節にて取得した突発脳活動，アバタの表情を図 5.26 のように表示した．こうすることにより，瞬きと同様，他のユーザが直感的に突発脳活動を認識することが可能になる．

このように，明確に突発脳活動が発生したことが分かるようにすることにより，話し手が何か話したあとに，聞き手に突発脳活動があった場合，話し手のそのときに話した内容が，聞き手にとって刺激があったということを話し手は認識することができるようになる．またこの指標と脳活動レベルを合わせることにより，より詳細な相手の反応を知ることが可能になる．たとえば最初にまったく脳活動レベルが低い人がいたとする．そして話し手のある発言後に，その人に突発脳活動が発生し，その後次第に脳活動レベルが高くなってきた場合，話し手は，その発言が相手に刺激を与え，それをきっかけにして自分の話に関心を持ってくれたということを認識することが可能になる．



図 5.26: 突発脳活動時のアバタの表情

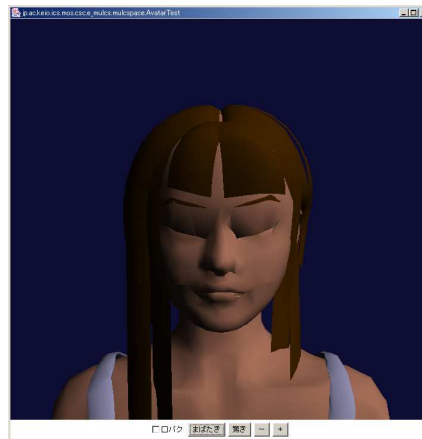


図 5.27: 瞬きしているアバタ

#### 5.6.4 ユーザの瞬きの反映

5.3.6 節にて取得した瞬きを、本システムではアバタに反映し、他のユーザが直感的に瞬きしたことを認識できるようにした。瞬きしているアバタを図 5.27 に示す。

このように、瞬きを表現することにより、より豊かな表情をもったアバタを表現することが可能になる。

### 5.7 本システムの実際の利用例

本システムの実際の利用例を示したのが、図 5.28 である。このシステムでは、話し手が話している最中に、他の参加者が関心を持っているか否かをフィードバックするため、

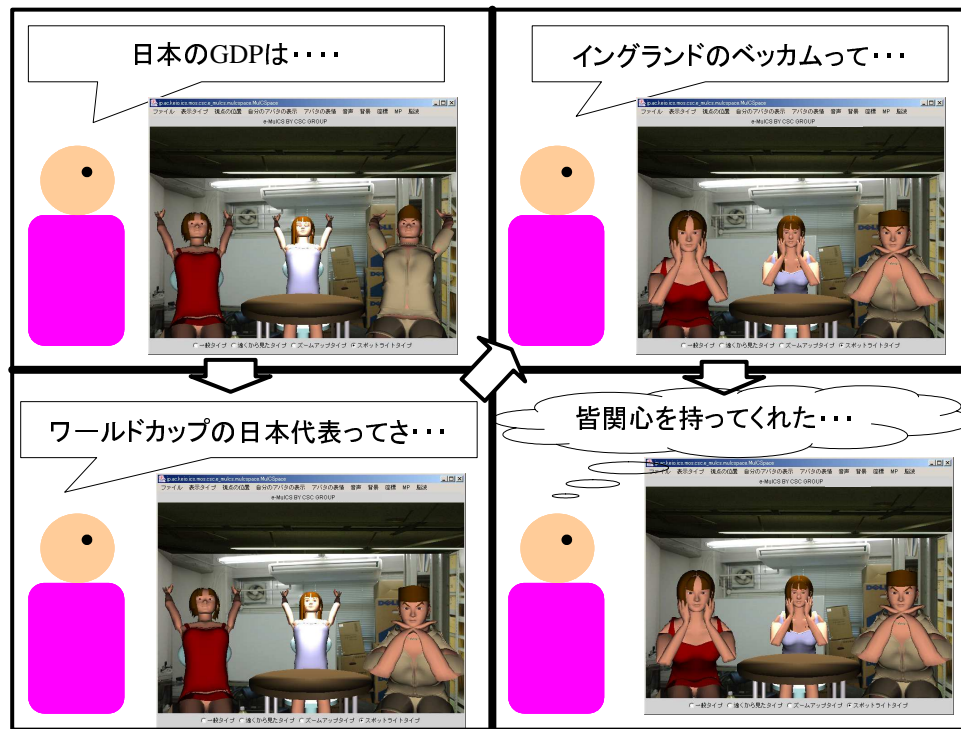


図 5.28: e-MulCS2 の実際の利用例

この図の一番左上のように、皆が関心の無い話題を出すと、他の参加者のアバタはみな関心の無い態度をとる。そして話し手は、誰もが関心がないことを認知し、話題を変えて、最近話題になっているワールドカップのサッカー日本代表の話をする。すると、その話に関心があるユーザが関心を示し、それを脳波解析プログラムが認識し、左下の画面のように、右側のユーザのアバタだけが、関心がある態度を示す。そして、話し手は、全員に関心を持って欲しかったため、また少し話題を変え、女性に人気のある、イングランドのベッカム選手の話をする。女性二人が関心を示し、それを脳波解析プログラムが認識し、右上のように、女性のアバタが関心を示す。そしてこの画面を見て、話し手は現在適切な話題を提供できており、皆関心を持っているということに確信を持ちながら、会話を続けることが可能となる。

## 5.8 e-MulCS2 で実装しているその他の機能

### 5.8.1 音声通信の実現

e-MulCS2 では、4.5 節で述べたものと同様の手法にて音声通信を実現している。この機能により、多人数でも遅延がなく、高品質の音声によるコミュニケーションが可能である。



図 5.29: 話中状態のアバタ

### 5.8.2 アバタへの話中状態の反映

話している最中に、口が動いているか否かという非言語情報は、重要な役割を果たしている。腹話術などを見ても分かれるとおり、たとえ音声が出ていても、口が動いていないと、その人が実際に話しているとは認識しづらい。

そこで本システムでは、音声通信のために録音した音声のボリュームを認識し、それが一定の閾値を超えた場合、そのユーザが話していると認識するように設定した。そして、話していると認識したときには、図 5.29 のような口をあけた表情と、口を閉じた表情の間をモーフィングさせることにより、相手が話しているということを、他のユーザが直感的に認識できる環境を実装した。

## 5.9 評価

### 5.9.1 脳活動度の正確さ評価

本研究で定義した脳活動度が、ユーザの脳活動状態を的確に反映しているかを確認する実験を行った。

#### 実験内容

本実験は、被験者 20 人（理工系大学生 男性 15 人 女性 5 人）を対象に行った。被験者は脳波計を装着し、脳活動度を測定しながら以下の 3 つのタスクを実行する。

- 会話タスク：スポーツ、経済など、決められた複数の話題について、自分の言葉で

表 5.2: 各タスクの脳活動度集計結果

| タスク名 | 会話    | 英語試験  | リラックス |
|------|-------|-------|-------|
| 平均   | 0.715 | 0.630 | 0.268 |
| 標準偏差 | 0.042 | 0.029 | 0.054 |

表 5.3: 各タスク間の Wilcoxon 符号付順位検定 p 値

|            | Wilcoxon 符号付順位検定 p 値 |
|------------|----------------------|
| 会話：英語試験    | 0.04405*             |
| 会話：リラックス   | 0.00000**            |
| 英語試験：リラックス | 0.00008**            |

(N=20; \*\*:p &lt; 0.01, \*:p &lt; 0.05)

話す（約1分間を5回）

- 英語試験タスク：英語試験のリスニング問題を解く（4分間）
- リラックスタスク：静かにし，目を開けたまま体の力を抜き，何も考えない状態でいてもらう（1分間）

脳活動を必要とするタスクとして会話タスクを設定し，逆に脳活動を必要としないタスクとして，リラックスタスクを設定した．会話タスクは人によって話す内容が違い，自由度が高くなる．そのため，脳活動を必要とする別のタスクとして，皆同じ問題を同じ状況で解くため，比較的自由度が少ない英語試験タスクも行った．

本実験は被験者には脳波計を装着するが，何を測定するかは一切知らせなかった．この実験では，脳波計から得られたデータから脳活動度を算出し，それを3つのタスクで比較した．

### 実験結果と考察

各タスクごとの全ユーザの脳活動度の平均と，標準偏差を示したものが表 5.2 で，各タスク間の Wilcoxon 符号付順位検定の結果を示したのが表 5.3 である．

表 5.2 で各ユーザの脳活動度の平均を比べると，会話タスクが 0.715，英語試験タスク 0.630 となっているのに比べ，リラックスタスクでは 0.268 と低い値を示している．会話タスクの方がリラックスタスクよりも脳活動度が高くである傾向がある，英語試験タスクの方がリラックスタスクよりも脳活動度が高くである傾向があるとの二つの仮説のもと，Wilcoxon

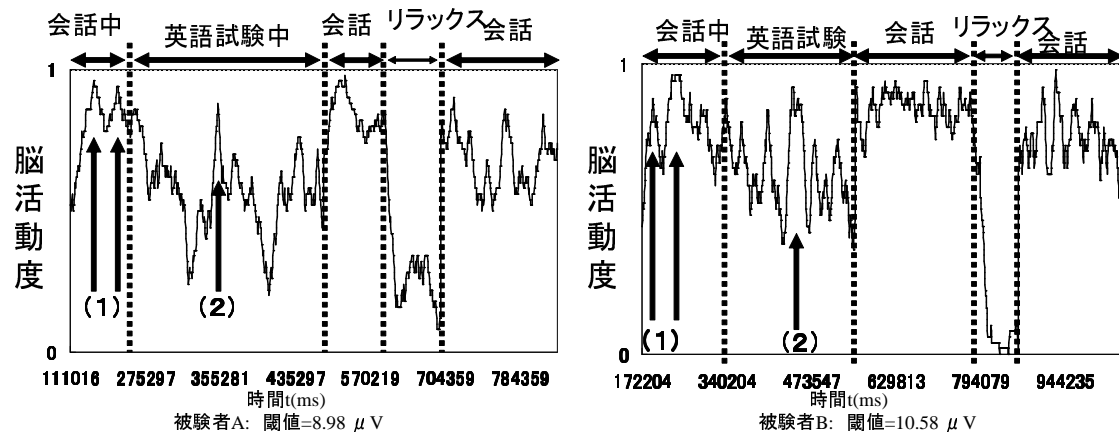


図 5.30: 2人の被験者の脳活動度の移り変わり

符号付順位検定をそれぞれ行った結果，両方とも帰無仮説が成立する確率は1%以下であり，危険率1%以下で有意差が認められた．この結果から，脳活動度は思考を要するタスクのときに高くなり，思考を要しないタスクのときには低くなる結果を導き出した．

表5.2で，会話タスクと英語試験タスクを比較すると，会話タスクの方が平均脳活動度は高くなっている．会話タスクの方が英語試験タスクよりも脳活動度が高くである傾向があるとの仮説のもと，Wilcoxon符号付順位検定を行った結果，帰無仮説が成立する確率は5%以下であり，危険率5%以下で有意差が認められた．脳活動度は会話などのコミュニケーション時に特に強くなることをこの結果は示しており，コミュニケーション時に脳活動度を利用することが有効であることがこの結果から分かる．また，両方のタスクの標準偏差を比較した結果，会話タスクが0.042，英語試験タスクが0.029となっており，会話タスクの方が大きくなっている．英語試験タスクは会話タスクに比べて自由度を小さくしており，そのようなタスクの自由度の差も，脳活動度は反映していることが分かる．

図5.30は，2人の被験者の脳活動度の移り変わりを示したグラフである．これらの図より，会話中・英語試験タスク中には比較的脳活動度が高くなっているのに比べ，リラックスタスクの最中は，どちらの被験者も脳活動度が低くなっている．この結果からも，被験者の脳活動度が適切に反映されていることが分かる．

図5.30で，(1)の時間帯は，会話の「話題を変えた」時間帯を示している．(1)の時間帯は，どの被験者の脳活動度も全般的に大きくなっており，話題が変わったことにより，新しい話題を理解するために被験者は脳活動を繰り返したと推測する．さらに，(2)の部分において，どの被験者も脳活動度が高くなっていた．調査した結果，この時間帯に出題した問題の正答率が，他よりも高くなっていることが判明した．これは，他の問題は難しすぎて途中で脳活動をやめてしまうことが多かったが，この問題はもう少し考えれば解けると判断し，多くのユーザが脳活動をして正しい答えを導き出そうとした結果，脳活動度



が高くなったと推測する。

これらの結果から、脳活動度は会話や英語試験などの思考を必要とするタスクのときに強くなっており、ユーザの脳の活動状態を的確に反映していることを確認することができた。

### 5.9.2 突発脳活動、瞬きの認識率評価

e-MulCS2 では、突発脳活動・瞬きの状態を抽出し、それをアバタに反映させるが、実際に人間がこれらの状態になった時に、e-MulCS2 がどの程度正確に各状態を抽出できるか調査する評価実験を行った。

#### 実験内容

本実験では突発脳活動・瞬きの 2 つの状態を測定を行った。ユーザが突発脳活動、瞬きの状態の時に、システムが正常に認識しているかを評価の対象とした。

実験では、33 名の被験者にそれぞれ、突発脳活動の状態を 5 回、瞬きの状態を 20 回ずつ行ってもらった。脳波への影響を考慮し、誰も出入りしない個室を用意し、その中で実験を行った。

それぞれの状態は、以下のような環境で作り出した。なお、順序効果が出ないように、ランダムな順番で以下の環境を作り出した。

- 瞬き：被験者に瞬きを行ってもらい、それをシステムが認識しているかを測定した。
- 突発脳活動：20 個の穴に順に剣を刺し、そのなかのどれか一つの穴に剣を挿したときに人形が飛び出すゲームを行ってもらう。そして、人形が飛び出した時に被験者が驚き、それに伴い突発脳活動が発生すると仮定した。突発脳活動する状況になったとき、脳波解析で突発脳活動状態として認識しているかを測定した。

#### 実験結果と考察

e-MulCS2 の突発脳活動・瞬き認識の機能評価結果を表 5.4 に示す。表 5.4 から、それぞれの状態の反映率は、80%を超える高水準値であることがわかる。

20%以下程度の認識ミスがあったが、これはユーザの突発脳活動・瞬き以外の体動作によるノイズの影響、簡易脳波計の精度の問題が関係している。本研究では、3 節で述べたとおり、手軽に利用できるインタフェースということに着目して簡易脳波計を利用しているため、この程度の誤差はやむを得ず、これが本研究にて突発脳活動・瞬きを認識する上での制限事項となる。

表 5.4: 機能評価結果

|       | 平均正解率 (%) |
|-------|-----------|
| 突発脳活動 | 84.2      |
| 瞬き    | 90.3      |

しかしこれらの結果から、e-MulCS2 は突発脳活動・瞬きの状態を 80%以上の精度で抽出することができることを結論付けられる。これは、仮想空間内のアバタへ突発脳活動・瞬きの表情を与える上で、十分意味のある指標になっていると筆者は考える。これらの指標を用いることにより、e-MulCS2 にてより豊かな表情変化をアバタが行うことができる。

### 5.9.3 突発脳活動・瞬きの可視化有効性評価

本実験は、突発脳活動・瞬きをアバタの表情に反映することの有効性を調査することを目的とした。

#### 実験内容

本実験では、e-MulCS2 の比較対象として図 5.7 のように、脳波を周波数ごとにグラフ表示するプログラムを用意した。

通常状態・突発脳活動状態・瞬き状態が分かりやすい理想的な脳波を流し、変化した時の状態を読み取ってもらい、その状態のボタンを押してもらおうというタスクを行った。突発脳活動は 3 回、瞬きは 4 回実施した。それぞれの状態間で順序効果が出ないように、無作為に状態を表示した。また、どちらの可視化手法も同じ PC ディスプレイ上で表示した。医学的知識の無い学生 16 人にこのタスクを両方の表示方法で行ってもらい、以下を測定した。

- ユーザの正解率
- 瞬きを認識するまでの反応時間
- ユーザへのアンケート

なお、グラフ表示に関してはある程度知識を与えないと理解できないため、あらかじめ以下の情報を被験者に与えた。

- 全体的に周波数スペクトルが強くなるときは突発脳活動が発生している状態である
- 1~4 Hz 周辺の周波数スペクトルが強くなるときは瞬きの状態である

表 5.5: ユーザの平均正解率

|       | e-MulCS2(%) | グラフ (%) | Wilcoxon 符号付順位検定 $p$ 値 |
|-------|-------------|---------|------------------------|
| 突発脳活動 | 89.58       | 58.33   | 0.00024**              |
| 瞬き    | 92.19       | 81.25   | 0.01563*               |

( $N = 16$ ; \*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$ )

表 5.6: ユーザの平均反応時間

|            | e-MulCS2 | グラフ | Wilcoxon 符号付順位検定 $p$ 値 |
|------------|----------|-----|------------------------|
| 反応時間 (sec) | 0.9      | 1.0 | 0.04431*               |

( $N = 16$ ; \*: $p < 0.05$ )

### 実験結果と考察

ユーザの平均正解率を表 5.5 に，ユーザの瞬きの測定時の平均反応時間を表 5.6 に，また，ユーザへのアンケートを表 5.7 に示す．

表 5.5 から，グラフ表示よりも e-MulCS2 でのアバタ表示の時のほうがユーザは突発脳活動を約 1.5 倍正確に認識することができ，また瞬きの状態を約 1.1 倍正確に反映していることが分かる．アバタ表示の時のほうがグラフ表示の時よりも突発脳活動・瞬きを正確に認識できる傾向があるとの仮説のもと，Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果，突発脳活動・瞬きの双方にて帰無仮説が成立する確率は 1% 以下であり，危険率 1% 以下で有意差が認められた．これらの結果から，突発脳活動・瞬きをアバタに反映させたことの有用性が分かった．

表 5.7: アンケートの平均 (5:良い 1:悪い)

| 質問              | e-MulCS2 | グラフ  |
|-----------------|----------|------|
| 突発脳活動がわかりやすかったか | 4.81     | 1.94 |
| 瞬きがわかりやすかったか    | 4.63     | 2.19 |
| 直感的だったか         | 4.25     | 2.06 |
| 詳細な脳波がわかったか     | 2.56     | 3.88 |

Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果，全ての質問が危険率 1% 以下で有意であった

表5.6 から、e-MulCS2 のアバタ表示での反応にかかった時間 (0.9 秒) は、グラフ表示での反応にかかった時間 (1.0 秒) の約 90% であることが分かった。アバタ表示の時のほうがグラフ表示のときよりも反応にかかる時間が短い傾向があるとの仮説のもと、Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果、帰無仮説が成立する確率は 5% 以下であり、危険率 5% 以下で有意差が認められた。これらの結果は、アバタ表示の方が状態変化がより直感的で分かりやすかったため、正確に早く読み取ることができることを示しており、突発脳活動・瞬きをアバタに反映することの有用性を示している。

表5.7 から、アバタでの表示の方が「突発脳活動がわかりやすかったか」「瞬きがわかりやすかったか」「直感的だった」という質問にて、良好な結果を得たことが分かる。これらの質問項目について、アバタ表示の方が肯定的傾向が出るとの仮説のもと、Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果、全項目にて帰無仮説が成立する確率は 1% 以下であり、危険率 1% 以下で有意差が認められた。これらの結果から、アバタ表示の有効性を確認することができた。「詳細な脳波がわかった」という質問ではグラフ表示の方がよかった。これはアバタでの表示では瞬き、突発脳活動の 2 つの状態しか表現せず、余計な情報は省いているのに対してグラフ表示は、周波数ごとの脳波情報を詳細に知ることができるため、このような結果になったと推測する。一般の人が脳波の詳細な情報を知りたい状況というのは限られており、本研究のように表情に反映させる手法を用いた場合、これらの詳細な情報は必要ないと考える。

#### 5.9.4 脳活動状態アウェアネスによる話者支援方法の評価

本研究では、脳活動状態アウェアネスを提供した仮想空間内コミュニケーション環境を構築することにより、話者を支援している。そこで、実際に話者が脳活動状態アウェアネスによって適切な話題提供を行えるかどうかの評価実験を行った。

##### 実験内容

本実験は、被験者 20 人 (理工系大学生 男性 20 人) を対象に行った。

実験では宝くじ、映画、選挙、スポーツ、食べ物のジャンルが異なる 5 つ (うち宝くじは練習用) の話題を設定した。そしてそれぞれの話題について、被験者が、聞き手に伝えて欲しいトピックを 10 個設定した。たとえば、映画についての話の時は、「最近見た映画の感想」「好きな映画俳優について」「映画とドラマのどちらが好きか」などを設定した。

被験者は、一人ずつ話し手になってもらい、これらの話題を聞き手に自分の言葉で伝えてもらった。4 つのジャンルのうち、映画とスポーツの 2 つのジャンルのみに関心があるユーザを学生の中から事前調査により 3 人選び、その 3 人に毎回聞き手になってもらった。聞き手は毎回脳波計を装着し、その聞き手の脳波情報から脳活動度を取得し、システ

ムに実際に反映させた。聞き手には、発話をしてはいけないこと、相槌やうなずきを含むその他の動作は自然に行ってよいことを伝えて実験をおこなった。被験者を含む全ユーザは、皆違う場所にて実験を行い、全員の音声がお互い聞こえるようにした。

被験者には、この環境で話題を 3 人の聞き手に自然な感覚で伝えるように説明した。そして話題を伝えている最中、もし皆関心を持っていると思えず話しづらいなと感じたら、その話題を途中で止め、別の話題に移ることも可能であることを伝えた。

このような環境で、以下の 2 条件で実験を行った。順序効果が出ないように、ユーザごとにトピックの出現順序を変更して実験を行った。

- 脳活動状態を有効にし、自動的にアバタが動く。
- 脳活動状態を無効にし、手動でアバタを動かす（手動で動かさなかった場合、通常は、アバタは図 5.23 の Level3 の姿勢になる。）

これらの条件のもと、被験者はどの程度それぞれの話題を話したか、その時間を測定した。発話単位数や発話語数で測定することもできたが、本研究では聞き手の反応を含め、コミュニケーション全体にどのような影響を調べる必要があったため、時間を測定した。脳活動状態の有無に関わらず、聞き手は話し手（被験者）の話に対して相槌、同意などを示すことができるようにした。また脳活動状態が無効な場合も、聞き手はアバタの態度を手動で動かすことができるようにした。

集計の際には、脳活動状態の有効・無効による分類と、事前調査にて 3 人が関心あると答えた話題・無いと答えた話題にて分類した。

全トピック終了後にアンケート用紙を渡し、被験者に記入してもらった。

## 実験結果と考察

各トピックでの発言時間と脳活動状態アウェアネスの関係を示したのが、表 5.8 である。なお本実験では、発話時間の制限を設けず、「より自然に話す」ことに重点を置いたため、発話時間のデータが厳密な正規分布に従っているとは言えず、よってノンパラメトリックな Wilcoxon 符号付順位検定を行った。

この表を見ると、脳活動状態アウェアネスが有効のとき、聞き手が関心がある話と関心がない話の間で、話題を切り替えるまでの発言時間の差が約 176 秒である。それに対して、脳活動状態アウェアネスが無効のとき、話題を切り替えるまでの発言時間の差が約 70 秒となっており、脳活動アウェアネスが有効のときの約 40% になっている。これは脳活動状態アウェアネスが有効で、かつ関心がある話をしているとき、話し手（被験者）は、聞き手の脳活動状態を認識することにより、関心があることを直感的に認識することができ、現在の話題が適切であると判断することができたため、このように長い間同じ話題を

表 5.8: 発言時間と脳活動状態アウェアネスの関係

| 発言時間<br>の平均 (sec)<br>(標準偏差) | 脳活動状態<br>アウェアネス |                 | Wilcoxon<br>符号付順位検定<br>検定統計量 |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
|                             | あり              | なし              |                              |
| 聞き手<br>の関心<br>あり            | 267.1<br>(44.7) | 219.4<br>(39.2) | 0.00003**                    |
| なし                          | 91.1<br>(33.2)  | 149.4<br>(43.1) | 0.00000**                    |

(N=20; \*\*:p &lt; 0.01, \*:p &lt; 0.05)

話したと推測する。逆に、関心がない話をしているときは、脳活動状態を認識し、聞き手が関心がないことを直感的に把握することができたため、話題を早く切り替え、より聞き手にとって適切な話題を提供できるように調整したのではないかと推測できる。脳活動状態アウェアネスがないときは、聞き手が関心を持っているのか、直感的にアバタを参照して認識できないため、現在のトピックに関心があるのかをなかなか判断できず、聞き手が関心がある話と関心がない話をしているときの発言時間の差が小さくなったと考える。関心のある話題の最中、脳活動アウェアネスが有効のときの方が無効の時よりも話し手はより長く現在の話題を話す傾向があるとの仮説のもと、Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果、帰無仮説が成立する確率は1%以下であり、危険率1%以下で有意差が認められた。同様に、関心のない話題の最中、脳活動アウェアネスが有効のときの方が無効の時よりも話し手はより短く現在の話題を話す傾向があるとの仮説のもと、Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果、帰無仮説が成立する確率は1%以下であり、危険率1%以下で有意差が認められた。これらの結果から、聞き手は、脳活動状態アウェアネスが有効のときの方が、より関心のある話をより多く聞くことができることが分かった。脳活動状態アウェアネスを有効にすることにより、話し手が適切な話題を提供できることから、脳活動状態アウェアネスの有用性が分かる。

被験者へのアンケート結果をまとめたのが、表5.9である。この結果を見ると、全ての質問に対して、脳活動状態アウェアネスが有効のときの方がよい結果を出しており、脳活動状態アウェアネスの有用性を示している。特に、「聞き手の関心具合に自信を持てたか」という質問に対して、脳活動状態アウェアネスがあるときの方が大幅に良好な結果を示しており、話し手にとってこの指標が有用であったことをこの結果が裏付けている。脳活動アウェアネスが有効の時の方が無効の時よりも全アンケート結果にて肯定的傾向が出るとの仮説のもと、Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果、全項目にて帰無仮説が成立する確率は1%以下であり、危険率1%以下で有意差が認められた。

表 5.9: アンケート結果 ( 1 : まったく思わない, 5 : 強く思う )

|                    | 脳活動状態<br>アウェアネス |      |
|--------------------|-----------------|------|
|                    | あり              | なし   |
| 聞き手の関心具合に自信を持てたか   | 4.55            | 1.80 |
| 相手と会話している気分になれたか   | 4.05            | 1.55 |
| 自然に話題を変える気分になれたか   | 4.20            | 2.05 |
| 相手の方向を向く気分になったか    | 4.30            | 1.65 |
| 相手の反応を知りやすかったか     | 4.35            | 1.65 |
| 誰が話に関心を持っているか分かったか | 4.45            | 1.40 |

Wilcoxon 符号付順位検定を行った結果, 全ての質問が危険率 1 % 以下で有意であった

これらの結果から, 脳活動状態アウェアネスを有効にし, それをアバタに反映させることにより, 話し手は聞き手の反応を直感的に理解することができた. また, コミュニケーションにて脳活動状態アウェアネスを有効にすることにより, 話題の組み立てなどがしやすくなるなどの効果があることを確認した.

## 5.10 まとめ

本章では, コミュニケーションへの生体情報の適用に注目し, 脳活動度・突発脳活動・瞬きを各ユーザが認識できる, プロトタイプシステム e-MulCS2 の紹介をした. e-MulCS2 では, 生体情報を抽出するために簡易脳波計を用いた. そして簡易脳波計から得たデータを解析し, リアルタイムに仮想空間内のアバタに直感的な表示法で反映した.

評価実験にて, 本研究で定義した脳活動度・突発脳活動・瞬きが, 実際の人間の心理状態および表情を的確に表していることを確認した. また, 突発脳活動・瞬きを可視化することの有効性についても確認した. さらに, これらの生体情報を提供したことにより, 話し手にとってコミュニケーションを行いやすい環境を実現していることを確認した.

本章では, 対面環境では提供されない情報をコミュニケーションに適用し, 対面環境では実現できないコミュニケーション環境の構築に焦点を当てた. そして, 各参加者がどの程度関心を持ってコミュニケーションを行っているかを直感的に認識できる環境を構築した. また, e-MulCS2 では, 前章で述べた非言語情報を適用することにより PFA も認識できる. このようにして, 非言語情報および生体情報を有効に活用することにより, 本研究が目的とする, 誰が誰にどの程度関心を持っているかを認識できる環境を構築し, その有用性を確認した.

## 第6章 結論



誰が誰にどの程度関心があるかという情報は、コミュニケーションにおいて重要な役割を果たす。人間はコミュニケーションを行う際、自身の話に参加者がどのくらい関心を持っているのかを常に感じている。そして、関心を持っている人が少なければ、話題を変えたり相手の注意をひきつける努力をする。また、二人で話しているときに相手が自分の方向を向いていないと、コミュニケーションは成立しにくい。さらに多者間コミュニケーションでは、他の参加者が誰に注目しているかは重要であり、会話内容の対象が誰であるかも、誰が誰に注目しているか次第で決まることが多い。

しかし、動画を用いた同期型遠隔コミュニケーションの主流であるビデオ会議では、誰が誰に注目しているか分からず、その結果コミュニケーションが円滑に進まないことが多々ある。また、各参加者のコミュニケーション空間が分裂しているため、参加者が同じ空間にいるという認識を得ることができず、対面と同等の自然なコミュニケーション環境は実現しにくい。

シームレスなコミュニケーション空間を構築するために考案された仮想空間環境では、各参加者が仮想空間内にアバタとして参加することにより、擬似的に同じコミュニケーション空間に滞在することが可能となる。しかし、仮想空間内コミュニケーションにおいても、コミュニケーションにとって重要な要素であるうなずく、相槌をうつ、瞬きをする、表情を変える、顔や身を乗り出して聞くといった相手の非言語情報による反応を、リアルタイムに、かつ直感的に得ることができない。そして、相手が関心を持っているか、どのような反応を示しているかの情報が欠如することにより、相手に対して話している気分になれない、自分の発言が適切であるか自信を持ってない、発言が弱気になってしまうなどの現象が起こり、円滑なコミュニケーションを促進する上での障害になる。

そこで本研究では、これらの課題を解決する手法として、二つのアプローチを用い、これらを相互利用することにより、誰が誰にどの程度関心を持っているかを認識できる環境を提案した。

まず本研究でとった一つ目のアプローチは、対面環境を可能な限り模倣し、対面環境で得られるが、遠隔環境では得られない情報を提供する手法である。このアプローチでは、遠隔地にいながらも、対面環境と同様の感覚が得られる環境を目標とした。そして、対面環境とビデオ会議システムとの大きな差となっているのは、提供している非言語情報の多さであるとの視点に立ち、非言語情報を提供する手法について述べた。本研究では非言語情報の中でも、誰が誰に注目しているかを認識できることを PFA (Participant Focusing Awareness) と定義し、これらを提供することが、誰が誰に関心をもっているかを認識する上でなぜ重要であるかを述べ、その提供手法について言及した。

具体的には、この環境を実現するために、まず仮想空間を用いた。そして、仮想空間内にユーザの分身であるアバタを配置し、アバタ間にてコミュニケーションを行う環境を実現した。仮想空間を構築することにより、上記の非言語情報のうち、対人距離、体の向

き、視線がどちらに向いているかの情報のすべてを提供することが可能になった。また、ユーザの顔の向きで、PFA を認識できる環境を構築した。そして、顔の向きを認識し、その向きを仮想空間内の空間位置と座標に変換し、それをアバタに反映した。さらに、仮想空間の画面の表示法についても言及し、誰の方向をユーザが注目しているかをユーザ自身が認識できる環境を構築した。このようにして、PFA を実現したコミュニケーション環境を提案した。

本研究でとったもう一つのアプローチは、対面環境では実現し得ないことを、遠隔環境で実現するというアプローチである。対面環境を目指すアプローチは、目標を対面環境に定めているため、対面環境以上のものを構築することは不可能になる。対面環境を模倣している以上、対面環境を超えたコミュニケーション環境を構築できないのである。手紙など、従来の文字を介したコミュニケーションでは実現できなかったことを、ブログなどの新しい技術が可能にしたのと同様に、対面コミュニケーションでは実現できないコミュニケーション環境を構築することを本アプローチは目指した。本研究では、まずユーザの関心や思考状態に深く関係がある、脳活動度および突発脳活動という指標を定義した。そして、ユーザの表情などに表出しない脳活動度および突発脳活動を生体情報より取得し、提供することが、なぜ重要なのであるかを述べ、その提供手法について言及した。さらに、脳活動度と同時に取得できる情報から瞬き情報を取得し、コミュニケーションに適用する手法についても言及した。

具体的には、脳活動度・突発脳活動・瞬きを簡易脳波計を用いて抽出した。そして、これらを仮想空間上のアバタに参加者が直感的に認識できる形で表示した。こうして、ユーザの関心と密接な関わりのある脳活動度、突発脳活動、瞬きの情報をリアルタイムに参加者全員が認識できる環境を提案した。

評価実験を通じ、非言語情報である、PFA を提供したことにより、仮想空間内コミュニケーションが円滑に行われたことを確認した。また、仮想空間を構築し、シームレスなコミュニケーション空間を実現したことが、PFA を実現する上で効果があることも確認した。さらに、生体情報である脳波から取得した、脳活動度・突発脳活動・瞬きが、実際のユーザの脳活動を反映していることを実験により確認した。そして、これらを実際にコミュニケーション環境で利用し、評価を取った結果、生体情報を用いて提供した情報が、話し手にとってコミュニケーションをとりやすい環境を生み出したことを確認し、本研究の有用性を確認した。

本研究が、今後ますます発展する同期型遠隔コミュニケーション研究の基礎となり、人々が対面環境と同等もしくはそれ以上の環境でのコミュニケーションを実現する際に役に立つことを、一研究者として切に願う。

# 謝辞

本研究を進めるにあたり，岡田 謙一 教授より日々賜りましたご指導，ご鞭撻につきまして，ここに深く感謝の意を表したいと思えます．岡田教授には，学部生の時に岡田研究室に配属されてから 5 年半もの間，大変お世話になりました．ありがとうございました．

また，本論文を執筆するにあたり，大変貴重なご意見・ご指導をくださいました，萩原将文 教授，山本 喜一 助教授，重野 寛 助教授に厚く御礼申し上げます．

在籍博士課程はの進学に理解を示していただいた，日本アイ・ビー・エム株式会社，および上司である，水橋 久人さん，馬場 忠弘さん，山上 克也さん，板倉真由美さん，中川 恵太さんにも感謝しています．ありがとうございました．

同じ研究班の後輩の宮田 章裕君にも感謝の意を述べたいと思えます．常に的確に研究のことを考えることができるその能力に，大変助けられました．今後も持ち前の能力を存分に発揮することを期待しています．

同じく研究班の後輩の林 剛史君にも感謝の意を述べたいと思えます．特に博士課程の終盤，林君には本当に助けられました．ありがとうございました．今後も持ち前の頑張り と積極さで，自信持ってさまざまなことに取り組んでください．

研究班の後輩である山本 翔太君，林 雅樹君にも大変お世話になりました．ありがとうございました．今後の活躍に期待しています．

上記 4 名に加え，同じ研究班からの卒業生である，畠中 美穂子さん，喜多野 美鈴さん，本田 研作君にも感謝します．みなさんの努力，能力，チームワークが無ければ，私が研究室に入った当初何も業績が無かったこの班が，これだけの成果を出せる班に成長することはなかったでしょう．ありがとうございました．

親友の杉尾 嘉宏君，幸本 大輔君，博士号取得の相談に乗っていただいた柏 大さん，岡田研究室の皆さん，小宅 宏明君，横山 秀之さん，Hwee Teng さん，荒木 淳君，河野 広伸君，井上 卓君，難波 昇平君，磯 大輔君，その他数多くの人に支えられられて本論文を完成することができました．この場を借りて感謝の意を述べたいと思えます．

最後に，常に遠くから暖かい目で見守ってくれた家族に，感謝の意を述べたいと思えます．ありがとうございました．これからも自分の夢に向かって邁進していきます．

2006 年 夏  
福井 健太郎

## 参考文献

- [1] 梅田望夫: ウェブ進化論 - 本当の大変化はこれから始まる, 筑摩書房 (2006).
- [2] 松下温, 岡田謙一: コラボレーションとコミュニケーション, 共立出版 (1995).
- [3] Richmond, V. P. and McCroskey, J. C.: *Nonverbal Behavior in Interpersonal Relations*, Allyn & Bacon (2003).
- [4] 原岡一馬: 人間とコミュニケーション, ナカニシヤ出版 (1990).
- [5] Dance, F. E. X. and Larson, C. E.: *The functions of human communication : a theoretical approach*, New York: Holt, Rinehart and Winston (1976).
- [6] 橋本満弘, 石井敏: コミュニケーション論入門, コミュニケーション基本図書 第1巻, 桐原書店 (1993).
- [7] 深田博己: インターパーソナル・コミュニケーション 対人コミュニケーションの心理学, 北大路書房 (1995).
- [8] 立川敬二: コミュニケーションの構造, NTT 出版株式会社 (1993).
- [9] Birdwhistell, R. L.: *Kinesics and Context: Essays on Body Motion Communication*, Univ of Pennsylvania Press (1970).
- [10] 岡田謙一, 西田正吾, 葛岡英明, 仲谷美江, 塩澤秀和: ヒューマンコンピュータインタラクション, オーム社 (2002).
- [11] Patterson, M. L.: *Nonverbal behavior a functional perspective*, Springer-Verlag (1983).
- [12] マイルス・L. パターソン: 非言語コミュニケーションの基礎理論, 誠信書房 (1995).
- [13] 田多英興, 山田富美雄, 福田恭介: まばたきの心理学, 北大路書房 (1991).

- [14] Tada, H.: Eyeblink rates as a function of the interest value of video stimuli., *Tohoku Psychologica Folia*, Vol. 45.
- [15] 津田兼六, 鈴木直人: 主観的興味が瞬目率と体動の生起頻度に及ぼす影響, *生理心理学と精神生理学*, Vol. 8.
- [16] 渡部和雄, 阪田史郎, 前野和俊, 福岡秀幸, 大森豊子: マルチメディア分散在席会議システム MERMAID : グループウェアのプラットフォーム, *情報処理学会論文誌*, Vol. 32, No. 9, pp. 1200–1209 (1991).
- [17] 阿部豊子, 前野和俊, 阪田史郎, 福岡秀幸: マルチメディア分散会議システム : MERMAID を利用したアプリケーション分散協調制御方式とその実現, *情報処理学会論文誌*, Vol. 34, No. 6, pp. 1406–1416 (1993).
- [18] 阿部豊子, 前野和俊, 阪田史郎: マルチメディア分散在席会議システム MERMAID における AP 分散協調制御機構とその仮想現実感 (VR) への応用, *情報処理学会グループウェア研究会*, pp. 57–62 (1992).
- [19] Tang, J. C. and Rua, M.: Montage: Providing Teleproximity for Distributed Groups, *Proceedings of the Conference on Computer Human Interaction (CHI) '94*, pp. 37–43 (1994).
- [20] Buxton, B.: Telepresence: Integrating Shared Task and Personal Spaces, *In Proceedings of The Potential of Team and Organizational Computing (Groupware '91)*, pp. 27–36 (1991).
- [21] Okada, K.-I., Maeda, F., Ichikawaa, Y. and Matsushita, Y.: Multiparty videoconferencing at virtual social distance: MAJIC design, *CSCW '94: Proceedings of the 1994 ACM conference on Computer supported cooperative work*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 385–393 (1994).
- [22] 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, *情報処理学会論文誌*, Vol. 40, No. 2, pp. 670–676 (1999).
- [23] : <http://www.i-robot.co.jp/>(2006年5月9日現在).
- [24] 新徳健, 渡辺富夫: 3者間インタラクション支援および合成的解析のための身体的バーチャルコミュニケーションシステム, *情報処理学会論文誌*, Vol. 45, No. 4, pp. 1212–1221 (2004).

- [25] 石井裕, 渡辺富夫: VirtualActor を対面合成した身体的ビデオコミュニケーションシステム, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 5, No. 2, pp. 225–234 (2003).
- [26] 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. 89–98 (2005).
- [27] 内藤剛人, 松田晃一: エージェント指向仮想社会の構築 -PAW-, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No. 2, pp. 399–406 (1999).
- [28] Cassell, J. and Vilhjalmsson, H.: *Fully Embodied Conversational Avatars: Making Communicative Behaviors Autonomous*, Kluwer Academic Publishers. Reprinted from *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 2 (1999).
- [29] Honda, S., Tomioka, H., Kimura, T., Oosawa, T., Okada, K. and Matsushita, Y.: Valentine: An Environment for Home Office Worker Providing Informal Communication and Personal Space, *Proceedings of the International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work: the Integration Challenge*, pp. 368–375 (1997).
- [30] 本田新九郎, 富岡展也, 木村尚亮, 大澤隆治, 岡田謙一, 松下温: 作業者の集中度に応じた在宅勤務環境の提供 - 仮想オフィスシステム Valentine, 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp. 1472–1483 (1998).
- [31] 本田新九郎, 木村尚亮, 大澤隆治, 太田憲治, 岡田謙一, 松下温: 人間の現実動作の仮想空間への反映手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No. 2, pp. 377–388 (1999).
- [32] 磯和之, 鈴木由里子, 八木貴史, 小林稔, 石橋聡: 利用者の視線と音声を用いた表情付きアバタの実現, 情報処理学会第63回全国大会 (2001).
- [33] Vertegaal, R.: The GAZE groupware system: mediating joint attention in multi-party communication and collaboration, *Proceedings of the Conference on Computer Human Interaction (CHI) '99*, pp. 294–301 (1999).
- [34] 下田宏, 國弘威, 吉川榮和: 動的顔画像からのリアルタイム表情認識システムの試作, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 1, No. 2, pp. 25–32 (1999).
- [35] Terrillon, J. C., David, M. and Akamatsu, S.: Automatic Detection of Human Faces in Natural Scene Images by Use of a Skin Color Model and of Invariant Moments,

- Proceedings of the 3rd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 112–117 (1998).
- [36] 大久保雅史, 渡辺富夫, 山田公成: 色情報を用いたオプティカル・スネークによる口唇運動抽出, 第 14 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム, pp. 175–179 (1998).
- [37] 間瀬健二: 色情報を用いたオプティカル・スネークによる口唇運動抽出, 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 17–24 (1990).
- [38] 山田貴志, 渡辺富夫: 顔面皮膚温計測に基づく恐怖の情動下での顔色の分析と合成, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 7, No. 4, pp. 131–138 (2005).
- [39] 小林宏, 原文雄: ニュ - ラルネットによる人の基本表情認識, 計測自動制御学会論文集, Vol. 29, No. 1, pp. 112–118 (1993).
- [40] Ekman, P. and Friesen, W. V.: *Facial Action Coding System/Investigator's Guide-Part 1/6701*, Consulting Psychologists Press (1993).
- [41] 小林宏, 原文雄, 内田豪, 大野宗久: アクティブ・ヒューマン・インタフェース (AHI) のための顔口ボットの研究, 日本ロボット学会誌学術論文, Vol. 12, No. 1, pp. 155–160 (1992).
- [42] Healey, J. and Picard, R. W.: StartleCam: A Cybernetic Wearable Computer, *Second International Symposium on Wearable Computers (ISWC 1998)* (1998).
- [43] Shimoda, H., Kunihiro, T. and Yoshikawa, H.: Dynamic Facial Expression Generation by using Facial Muscle Model, *Proceedings of World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, IX*, pp. 56–61 (2000).
- [44] 宮島俊光, 藤田欣也: マルチユーザ音声チャットシステムにおける音声基本周波数を用いたアバタ表情制御法の提案, 第 68 回情報処理学会全国大会, pp. 19–20 (2006).
- [45] Sone, J., Tokuyama, Y., Konno, K., Miura, K. and Yoshida, K.: Study of 3D Avatar Facial Expression using Voice Spectrum Analysis, *The Journal of Three Dimensional Images*, Vol. 19, No. 4, pp. 115–119 (2005).
- [46] 宮脇一男: 生体情報処理, コロナ社 (1966).
- [47] 内園耕二: 生体の電気現象 [1], コロナ社 (1967).
- [48] 福田忠彦: 生体情報システム論, 産業図書 (1995).

- [49] 小林幸夫, 武者利光: 生体情報工学, 森北出版 (2000).
- [50] 生体情報の可視化技術編集委員会: 生体情報の可視化技術, コロナ社 (1997).
- [51] 大西昇: 生体情報処理, 昭晃堂 (2001).
- [52] 星宮望: 生体情報計測, 森北出版 (1997).
- [53] 加藤象次郎, 大久保堯夫: 初学者のための生体機能の測り方, 日本出版サービス (1999).
- [54] 清水健太郎, 秋元波留夫, 時実利彦, 藤森聞一: 脳波入門, 南山堂 (1962).
- [55] 宮田洋: 現代心理学シリーズ 2 脳と心, 培風館 (1996).
- [56] 小杉幸夫, 武者利光: 電子情報通信工学シリーズ 生体情報工学, 森北出版株式会社 (2000).
- [57] Giannitrapani, D.: The Role of 13-Hz Activity in Mentation, *The EEG of Mental Activities*, pp. 149–152 (1988).
- [58] Rasey, H. W., Lubar, J. F., McIntyre, A., Zoffuto, A. C. and Abbott, P. L.: EEG Biofeedback for the Enhancement of Attentional Processing in Normal College Students, *Journal of Neurotherapy*, Vol. 1, No. 3, pp. 15–21 (1998).
- [59] 八木昭宏: 現代心理学シリーズ 6 知覚と認知, 培風館 (1996).
- [60] Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Takino, R., Sasaki, Y. and Putz, B.: Transition of Brain Activation from Frontal to Parietal Areas in Visuomotor Sequence Learning, *Journal of Neuroscience*, Vol. 18, No. 5, pp. 1827–1840 (1998).
- [61] 武者利光: 「こころ」を測る, 日経サイエンス 1996 年 4 月号, pp. 20–29 (1996).
- [62] Musha, T., Terasaki, Y., Haque, H. and Ivanitsky, G.: Feature Extraction from EEG Associated with Emotions, *Artificial Life Robotics*, pp. 15–19 (1997).
- [63] 入野野宏, 堀忠雄: 心理学研究における事象関連電位 (ERP) の利用, 広島大学総合科学部紀要 IV 理系編, Vol. 26, pp. 15–32 (2000).
- [64] 佐藤謙助, 平井富雄, 山岡淳: 誘発電位の基礎と臨床, 新樹会 (1990).
- [65] : <http://www.nihonkohden.co.jp/> (2005 年 1 月 22 日現在).
- [66] 末永和栄, 岡田保紀: 最新脳波標準テキスト (改訂 2 版), メディカルシステム研修所 (2004).



- [67] : <http://www.ibva.com/> (2005年1月22日現在) .
- [68] Wolpaw, J. R. and McFarland, D. J.: Multichannel EEG-based Brain-computer Communication, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, Vol. 90, No. 6, pp. 444-449 (1994).
- [69] 久野悦章, 八木透, 藤井一幸, 古賀一男, 内川嘉樹: EOG を用いた視線入力インタフェースの開発, *情報処理学会論文誌*, Vol. 39, No. 5, pp. 1455-1462 (1998).
- [70] 船瀬新王, 八木透, 久野悦章, 内川嘉樹: 脳波を用いたアイポインタに関する研究, pp. 597-599 (1999).
- [71] : <http://www.technosj.co.jp/Fukushi/Communication/Frame/MCTOS.htm> (2005年1月22日現在) .
- [72] Lusted, H. S.: *Biomuse - Virtual Reality as Healing Art*, p. 197 (1998).
- [73] 福田修, 辻敏夫, 金子真: ニューラルネットワークによる時系列脳波パターンの識別, *電子情報通信学会論文誌*, No. 7, pp. 1896-1903 (1997).
- [74] 阪田治, 椎名毅, 斎藤陽一: 多次元有向情報量とその脳波因果性解析への応用, *電子情報通信学会論文誌*, No. 5, pp. 466-475 (2000).
- [75] 木下和之, 柏木英一, 渡辺宏太郎: 時間 - 周波数分布による脳波の解析 (1), *電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ大会*, p. 57 (1999).
- [76] 柏木英一, 木下和之, 渡辺宏太郎: 時間 - 周波数分布による脳波の解析 (2), *電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ大会*, p. 58 (1999).
- [77] 安倍崇史, 田中久弥, 長嶋祐二, 西谷善樹, 井出英人: リアルタイム脳電位解析システム, *電子情報通信学会 総合大会*, p. 117 (1998).
- [78] 伊藤伸一, 満倉靖恵, 福見稔, 赤松則男: GAとNNを用いた有効脳波スペクトラム領域の抽出, *電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会*, pp. 61-65 (2002).
- [79] 小川宜洋, 満倉靖恵, 福見稔, 赤松則男: 音楽鑑賞時の脳波パターンの特徴抽出, *電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会*, pp. 81-85 (2004).
- [80] 平岩明, 内田典佳, 下原勝憲, 曾根原登: 随意運動発生直前の頭皮電位分布パターンのニューラルネットによる認識, *電子情報通信学会論文誌*, No. 2, pp. 408-415 (1996).

- [81] 井口弘和, 石井直宏: 波形パターン認識法による作業時脳波変動の特徴抽出, 電子情報通信学会論文誌, No. 1, pp. 123–127 (1996).
- [82] 住谷正夫, 安久正紘: K.L 展開を用いた聴覚ストレス時の  $\alpha$  波パターンの特徴抽出について, 電子情報通信学会論文誌, No. 9, pp. 2556–2564 (1997).
- [83] Giannitrapani, D. and Collins, J.: EEG Differentiation between Alzheimer's and Non-Alzheimer's Dementias, *The EEG of Mental Activities*, pp. 26–41 (1988).
- [84] Giannitrapani, D.: *The Electrophysiology of Intellectual Functions*, Karger (1985).
- [85] 中村亮太, 市村哲, 岡田謙一, 松下温: 撮影グループの生体反応を相互利用した映像コンテンツ作成, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2004) シンポジウム, pp. 373–376 (2004).
- [86] 中村亮太, 市村哲, 松下温: スポーツ中継の知識を用いた多視点リプレイ自動生成システム, 情報処理学会第 49 回グループウェアとネットワークサービス研究会, pp. 127–132 (2003).
- [87] 村井護晏, 田中一定, 永田輝彦, 中島光実: デイベート中の脳波について, 日本科学教育学会 科教研報, Vol. 11, No. 1, pp. 53–56 (1996).
- [88] 村井護晏, 中島光実, 永田輝彦: デイベート中の脳波表意について, 日本科学教育学会科教研報, Vol. 12, No. 2, pp. 67–72 (1997).
- [89] 村井護晏, 有田憲仁, 中島光実, 永田輝彦: コンピュータ使用中の脳波について, 日本科学教育学会 科教研報, Vol. 12, No. 2, pp. 73–76 (1997).
- [90] Fujimaki, N., Takeuchi, F., Kobayashi, T., Kuriki, S. and Hasuo, S.: Event-related Potentials in Silent Speech, *Brain Topography*, Vol. 6, No. 4, pp. 259–267 (1994).
- [91] 阿部央, 中山実: 漢字認知課題における脳波変化に関する検討, 電子情報通信学会信学技報, pp. 1–6 (2002).
- [92] Callan, D., Callan, A., Masaki, S. and Honda, K.: Scalp Recorded Electrical Brain Activity Underlying Lexical Processing, *Technical Report of IEICE*, pp. 25–32 (1999).
- [93] 山下政司: 漢字認知課題における脳波変化に関する検討, 電子情報通信学会教育工学研究会, pp. 1–6 (2002).

- [94] 後藤卓司, 中山実: 数字記憶課題における脳波への音環境の影響, 電子情報通信学会論文誌, No. 3, pp. 420-423 (2004).
- [95] 武者利光: 「こころ」を測る, 日経サイエンス 1996年4月号, pp. 20-29 (1996).
- [96] 岡田明大, 河本昌彦: 化粧品の心理的影響の評価に関する研究 感性スペクトルを利用した評価について, 月刊脳研 1月号 (2001).
- [97] 清水裕子, 佐々木和也, 寺崎有仁子, 武者利光: 脳波の解析による衣服の着心地の評価, 宇都宮大学教育学部紀要, Vol. 49, No. 2 (1999).
- [98] 中西正洋, 島和之, 松本健一, 井上克郎, 鳥居宏次: 脳波データを用いたユーザビリティ評価実験の考察, 電子情報通信学会 信学技報, pp. 17-24 (1999).
- [99] 田垣内博一, 島和之, 松本健一, 鳥居宏次: 脳波計測装置を用いたユーザインタフェースの評価, 電子情報通信学会 信学技報, pp. 47-54 (1999).
- [100] 中村太戯留, 武者利光, 石崎俊, 田中茂範: 対話状況における感情の脳波分析, 第10回人工知能学会全国大会, pp. 489-492 (1996).
- [101] 中沢弘: 人間の満足感を測定するシステム, 日経メカニカル, No. 534, p. 50 (1999).
- [102] 林秀彦, 白井英樹, 國藤進, 宮原誠: 高品位画像の画質評価 脳波を指標とする客観的評価法と主観的評価法による, 情報処理学会第35回グループウェア研究会, pp. 25-30 (2000).
- [103] 大橋力, 仁科エミ, 不破本義孝, 河合徳枝, 田中基寛, 前川督雄: 脳波を指標とする映像情報の生体計測, Vol. 50, No. 12, pp. 1921-1934 (1996).
- [104] 岩川幹生, 小川麻子, 佐藤康仁, 寺野真明: 微細気泡浴の心理的・生理的効果, 松下電工技報, Vol. 52, No. 2, pp. 19-24 (2004).
- [105] Lin, C.-T., Chen, Y.-C., Wu, R.-C., Liang, S.-F. and Huang, T.-Y.: Assessment of Driver's Driving Performance and Alertness Using EEG-based Fuzzy Neural Networks, *IEEE Int Symp Circuits Syst*, pp. 152-155 (2005).
- [106] 相澤清晴, 石島健一郎, 椎名誠: ウェアラブル映像の構造化と要約: 個人の主観を考慮した要約生成の試み, 電子情報通信学会論文誌, No. 6, pp. 807-815 (2003).
- [107] 石島健一郎, 相澤清晴: ウェアラブルによる長時間個人体験記録の編集 脳波を利用した映像の自動編集の試み, 電子情報通信学会パターン認識とメディア理解研究会 (PRMU2000-147), pp. 85-92 (2001).

- [108] : <http://www.smartbraingames.com/> (2006年5月9日現在)。
- [109] 中村亮太, 井上亮文, 市村哲, 岡田謙一, 松下温: 暗黙的な撮影意志に基づく協調的映像スイッチング法, 情報処理学会第2回グループウェアとネットワークサービスワークショップ2005, pp. 105–110 (2005).
- [110] 宮田章裕, 宮狭和夫, 本田研作, 岡田謙一: 脳波情報および複合現実感を利用した指導者支援の提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO 2004)シンポジウム, pp. 587–590 (2004).
- [111] 廣瀬通孝, 上岡玲子: ウェアラブルコンピュータの為の体験記録についての研究, 日本バーチャルリアリティ学会第5回大会論文集, pp. 389–392 (2000).
- [112] Picard, R. W.: *Affective Computing*, The MIT Press (1997).
- [113] 高橋信, 北村雅司, 吉川栄和: ニューラルネットワークによるリアルタイム認知状態推定, 計測自動制御学会論文集, Vol. 30, No. 8, pp. 892–901 (1994).
- [114] 石井裕, 渡辺富夫: ビデオコミュニケーションにおける自己映像の合成対話配置の評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 7, No. 2, pp. 113–120 (2005).
- [115] 小木哲朗, 山田俊郎, 栗田裕二, 服部陽一, 廣瀬通孝: 仮想空間共有のためのビデオアバタ技術とその利用法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 8, No. 1, pp. 37–46 (2003).
- [116] Lee, S.-Y., Kim, I.-J., Ahn, S. C., Ko, H., Lim, M.-T. and Kim, H.-G.: Real time 3D avatar for interactive mixed reality, *VRCAI '04: Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 75–80 (2004).
- [117] Zitnick, C. Lawrence, G. J. and Toyama, K.: Manipulation of Video Eye Gaze and Head Orientation for Video Teleconferencing, Technical report, Microsoft Research Technical Report, MSR-TR-99-46 (1999).
- [118] 本田新九郎, 富岡展也, 木村尚亮, 大澤隆治, 岡田謙一, 松下温: 在宅勤務者の疎外感の解消を実現した位置アウェアネス・アウェアネススペースに基づく仮想オフィス環境, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 7, pp. 1454–1464 (1998).
- [119] 井上雅之, 宇佐美潔忠, 清末悌之, 石橋聡, 長谷雅彦: 3次元仮想社会 InterSpace におけるコミュニティ形成過程とコミュニケーションメディア利用推移に関する考察, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 10, pp. 2670–2678 (2000).

- [120] 藤田欣也, 河内卓朗: グローブ型簡易仮想物体硬さ感覚呈示装置の開発, 電子情報通信学会技術研究報告 (1997).
- [121] 蒲原新一, 竹田仰: 分類システムと遺伝的アルゴリズムによる腕相撲対戦の試み, 計測自動制御学会第34回ヒューマン・インタフェース研究会 (1995).
- [122] Fischer, A. and Vance, J. M.: PHANTOM haptic device implemented in a projection screen virtual environment, *EGVE '03: Proceedings of the workshop on Virtual environments 2003*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 225–229 (2003).
- [123] Vargas, M. F.: *LOUDER THAN WORDS*, Iowa State University Press (1987).
- [124] Matarazzo, J. D., Saslow, G., Wiens, A. N., Weitman, M. and Allen, B. V.: Non-verbal signals. In M. L. Knapp & G.R. Miller (eds.), *Interviewer Head Nodding and Interviewee Speech Durations. Psychotherapy : Theory*, pp. 54–63 (1964).
- [125] Berger, H.: Uber des Electrenkephalog des Menschen, *Arch. F. Psychiat*, Vol. 97, pp. 527–570 (1929).
- [126] 宮川智文, 高野博史, 中村清実, 野尻智弘: 黒目の面積測定による非接触型リアルタイム瞬き検出装置の開発, 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 138–144 (2004).
- [127] Nakanishi, H., Yoshida, C., Nishimura, T. and Ishida, T.: FreeWalk: A 3D Virtual Space for Casual Meetings, *IEEE MultiMedia*, Vol. 6, No. 2, pp. 20–28 (1999).
- [128] 黒岡武俊, 木佐昌文, 山下裕, 西谷紘一: 脳波を用いたプラントオペレータの思考状態推定, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, Vol. 3, No. 2, pp. 100–109 (1998).
- [129] 山川匡史, 黒岡武俊, 山下裕, 西谷紘一: 脳波を用いた論理的思考状態の推定, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, pp. 7–12 (2000).
- [130] T. Kurooka, Y. Yamashita, H. N.: MIND STATE ESTIMATION IN LOGICAL THINKING JOBS, pp. II407–II412 (1999).
- [131] 沼崎俊一, 森下明, 梅木直子, 土井美和子: ジェスチャ入力に適した画像入力装置の提案とその3次元情報検出性能の検討, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 5, pp. 1267–1275 (2000).
- [132] 宮田章裕, 林剛史, 福井健太郎, 重野寛, 岡田謙一: 思考状態と発話停止点を利用した会議の動画ダイジェスト生成支援, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 3, pp. 906–914 (2006).

- [133] 宮田章裕, 福井健太郎, 本田研作, 重野寛, 岡田謙一: 会議を撮影した動画メディアの思考状態インデキシングの提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 11, pp. 2509–2518 (2004).
- [134] : <http://www.onosokki.co.jp/> (2005年1月22日現在).
- [135] 加藤象次郎, 大久保堯夫: 初学者のための生体機能の測り方, 日本出版サービス (1999).
- [136] Giannitrapani, D.: The Role of 13-Hz Activity in Mentation, *The EEG of Mental Activities*, pp. 149–152 (1988).

# 論文目録

## 主論文に関する原著論文

- (1) 福井 健太郎, 喜多野 美鈴, 岡田 謙一: 仮想空間を使った多地点遠隔会議システム: e-MulCS, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.11, pp.3375-3384 (2002).
- (2) 宮田 章裕, 福井 健太郎, 本田 研作, 重野 寛, 岡田 謙一: ”会議を撮影した動画メディアの思考状態インデキシングの提案”, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.11, pp.2509-2518 (2004).
- (3) Kentaro Fukui, Kensaku Honda, Kenichi Okada: ”Promotion of Multiparty Conference in Collaborative Virtual Environments”, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E87-D, No12, pp2540-2547 (2004). (*invited paper*)
- (4) 宮田 章裕, 林 剛史, 福井 健太郎, 重野 寛, 岡田 謙一: 思考状態と発話停止点を利用した会議の動画ダイジェスト生成支援, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.3, pp.906-914 (2006).
- (5) 福井 健太郎, 宮田 章裕, 林 剛史, 重野 寛, 岡田 謙一: アバタコミュニケーションにおける脳活動状態ウェアネスを利用した話者支援, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.8, No.1, pp.87-94 (2006).
- (6) 福井 健太郎, 林 剛史, 山本 翔太, 重野 寛, 岡田 謙一: 脳波計を用いたアバタの表情変化手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 (採録, 2006/06 出版予定)

## 国際会議

- (1) Kensaku HONDA, Kentaro FUKUI, Hiroshi SHIGENO, Kenichi OKADA: ”e-MulCS: Multi-Party Conference System with Virtual Space and the Intuitive Input Interface”, The 2004 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2004), Tokyo, Japan (2004).

- (2) Kentaro Fukui, Akihiro Miyata and Kenichi Okada : Implementation of Avatar Mediated Communication Environment with Thinking Awareness, Joint 2nd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 5th International Symposium on Advanced Intelligent Systems(SCIS&ISIS2004) THE-7, pp116(2004).

## 研究会

- (1) 福井 健太郎, 畠中 美穂子, 岡田 謙一: 仮想空間を使った多地点コミュニケーションを促進させる技法, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 CSVC2001-11, pp27-32 (2001).
- (2) 喜多野 美鈴, 福井 健太郎, 岡田 謙一: 仮想空間を使った多地点コミュニケーションシステム e-MulCS の評価, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 CSVC2002-03, pp15-20 (2002).
- (3) 本田 研作, 福井 健太郎, 岡田 謙一: 脳波情報を利用したアバタの表情変化, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 CSVC2002-14, pp19-24 (2002).
- (4) 本田 研作, 福井 健太郎, 喜多野 美鈴, 重野 寛, 岡田 謙一: 仮想空間を用いた多地点遠隔コミュニケーションシステム:e-MulCS, 信学技法 MVE2002-53, PP.21-24 (2002).
- (5) 福井 健太郎, 本田 研作, 宮田 章裕, 重野 寛, 岡田 謙一: 多地点遠隔コミュニケーションにおける思考状態ウェアネスの提供, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 CSVC2003-4, pp33-38(2003).
- (6) 本田 研作, 福井 健太郎, 宮田 章裕, 重野 寛, 岡田 謙一: 思考状態ウェアネスによる対人コミュニケーション支援, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO 2003) シンポジウム, pp.449-452(2003).
- (7) 宮田 章裕, 福井 健太郎, 本田 研作, 重野 寛, 岡田 謙一: 脳波情報を利用したミーティング分析, 第113回マルチメディア通信と分散処理研究会 2003-DPS-113, pp.63-68, (2003).
- (8) 林 剛史, 福井 健太郎, 宮田 章裕, 重野 寛, 岡田 謙一: 簡易脳波測定によるリアルタイムな思考状態導出手法, 情報処理学会第56回GN研究会, pp.43-48 (2005).
- (9) 林 剛史, 福井 健太郎, 宮田 章裕, 重野 寛, 岡田 謙一: 簡易脳波計を用いたリアルタイムな脳活動状態導出手法, 情報処理学会 GN ワークショップ 2005(査読付), pp.69-74 (2005)



- (10) 山本 翔太, 福井 健太郎, 宮田 章裕, 林 剛史, 岡田 謙一: 遠隔コミュニケーションにおいて嗅覚情報を用いた言葉のニュアンスの提示, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 CSVC 2006-13, pp29-34 (2006).

## 口頭発表

- (1) 福井 健太郎, 畠中 美穂子, 岡田 謙一: 仮想空間を使った多地点コミュニケーションの実現, 情報処理学会第 62 回全国大会, 特別トラック 1, pp.95-98 (2001).
- (2) 福井 健太郎, 喜多野 美鈴, 岡田 謙一: Gaze Awareness をサポートした多地点コミュニケーションの実現, 情報処理学会第 63 回全国大会, Vol4, pp.117-118 (2001).
- (3) 本田 研作, 福井 健太郎, 岡田 謙一: 脳波情報を利用したアバタの表情変化, 情報処理学会第 64 回全国大会, Vol4, pp.575-578 (2002).
- (4) 宮田 章裕, 福井 健太郎, 本田 研作, 重野 寛, 岡田 謙一: 脳活動 index を利用したコミュニケーション分析支援, 情報処理学会第 65 回全国大会, Vol.4, pp219-220, (2003).
- (5) 林 剛史, 福井 健太郎, 宮田 章裕, 重野 寛, 岡田 謙一: 簡易脳波測定による時間幅を考慮したリアルタイムな思考状態の推定, FIT2005 (2005)
- (6) 山本 翔太, 福井 健太郎, 林 剛史, 重野 寛, 岡田 謙一: 遠隔コミュニケーションにおける香りをを用いた Ambient Information の伝達, 情報処理学会第 68 回全国大会, Vol.3, p275-276, (2006).

## 著書

- (1) Kentaro Fukui, Kensaku Honda, Akihiro Miyata, Hiroshi Shigeno and Kenichi Okada: e-MulCS: Multiparty Conferencing System in Collaborative Virtual Environments, Communication and Collaboration Support Systems, IOS Press, (2005).
- (2) Bart Jacob, Michael Brown, Kentaro Fukui, Nihar Trivedi: Introduction to Grid Computing, IBM Redbook (2005).

## 受賞

- (1) 情報処理学会第 62 回全国大会 大会奨励賞 受賞 (2001)

- (2) IEEE SAINT 2004 最優秀論文賞 受賞 (2004)
- (3) SCIS Session Best Presentation Award 受賞 (2004)

## プレスリリース

- (1) 2003年11月28日 日本経済新聞朝刊 「思考状態および視線のウェアを実現した遠隔コミュニケーションシステム」

## その他論文

- (1) 福井 健太郎, 飯田 英世: Web アプリケーション開発における入力項目チェックコード自動生成手法, IBM プロフェッショナル論文 2005 入選論文 (2005).