

操作性を考慮した顔画像合成システム： FUTON：顔認知研究のツールとしての評価

YOSHIKAWA, Sakiko / MUKAIDA, Shigeru / KATO, Takashi / 赤松, 茂 / 向田, 茂 / 吉川, 左紀子 / 蒲池, みゆき / ODA, Masaomi / 尾田, 政臣 / 千原, 國宏 / 加藤, 隆 / CHIHARA, Kunihiro / KAMACHI, Miyuki / AKAMATSU, Shigeru

(出版者 / Publisher)

電子情報通信学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界 / 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界

(号 / Number)

10

(開始ページ / Start Page)

1126

(終了ページ / End Page)

1137

(発行年 / Year)

2002-10-01

操作性を考慮した顔画像合成システム：FUTON

——顔認知研究のツールとしての評価——

向田 茂^{†,††a)} 蒲池みゆき[†] 尾田 政臣^{††} 加藤 隆^{†††}
 吉川左紀子^{††††} 赤松 茂^{†††††} 千原 國宏^{††}

Facial Image Synthesis System : FUTON

——Evaluation as Tools for Cognitive Research on Face Processing——

Shigeru MUKAIDA^{†,††a)}, Miyuki KAMACHI[†], Masaomi ODA^{††}, Takashi KATO^{†††},
 Sakiko YOSHIKAWA^{††††}, Shigeru AKAMATSU^{†††††}, and Kunihiro CHIHARA^{††}

あらまし 近年、顔の認知に関する心理学的研究が盛んに行われている。心理実験を行うには実験デザインに応じた実験刺激の作成が必要となるが、これまで実験刺激の生成を目的とした統合的な顔画像合成システムは見当たらなかった。我々は、先行研究で用いられてきた合成顔を容易に作成できるとともに、今後検討されるであろう様々な実験刺激の作成にも柔軟に対応できるよう、心理学研究からの要求を考察し、実験デザインの段階から実験刺激の作成までの一連の作業をサポートする顔画像合成システムの開発を行った。特に、一連の作業の中で、操作者への負担が大きくなる、特徴点の取得作業の負荷を軽減できるよう、採用した操作者補助の機能の有効性を実験により確認した

キーワード 顔画像合成システム、心理実験、実験刺激、特徴点、顔パーツ

1. ま え が き

顔の認知に関する心理学的研究は、1990年代に入っ
て急速に広がりを見せるようになった。その背景の一
つに、心理実験の実験刺激としてコンピュータで合成
した、合成顔画像が用いられ始めたことが挙げられる。

顔画像合成には、線画による似顔絵作成機
(Caricature Generator) [1] を写真画像に発展させた
システム [2] をはじめ、Facial Action Coding System

(FACS) [3] を用いた表情合成 [4], Genetic Algorithm
(GA) を用いた表情顔画像合成 [5] などが提案されて
いる。心理実験のための実験刺激の作成には、このよ
うな顔画像合成システムや、Photoshop などの画像編
集ソフトが用いられてきた。

心理実験を行う場合、実験刺激を的確に統制（コン
トロール）することが求められる。そして、実験刺激
として、画像間においても、統制された条件のもとで
作成された画像を用意しなければならない。これまで
のシステムは1枚の画像の生成を目的としており、複
数の画像を作成するためには、同じ画面操作を何度も
繰り返し行わなければならなかったり、作成される画
像間での条件の統制が困難であったりと、操作面にお
いては不満の残るものであった。また、機能面にお
いても、平均顔合成や顔パーツの入換えのような、心理
実験でよく使われる合成に多様に対応しているとはい
えなかった。

これまで、心理実験で用いる実験刺激を作成する
ことを目的とするとともに、操作性や機能性を考慮
したシステムは見当たらなかったことから、筆者ら

[†] ATR 人間情報科学研究所, 京都府

Human Information Science Laboratories, ATR-I, Kyoto-fu,
619-0288 Japan

^{††} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科, 生駒市

Nara Institute of Science and Technology, Ikoma-shi,
630-0101 Japan

^{†††} 立命館大学文学部, 京都市

Ritsumeikan University, Kyoto-shi, 603-8577 Japan

^{††††} 関西大学総合情報学部, 高槻市

Kansai University, Takatsuki-shi, 569-1095 Japan

^{†††††} 京都大学教育学研究科, 京都市

Kyoto University, Kyoto-shi, 606-8501 Japan

^{††††††} 法政大学工学部, 小金井市

Hosei University, Koganei-shi, 184-8584 Japan

a) E-mail: mukaida@atr.co.jp

は、研究の計画段階からの活用と、多様な実験目的への柔軟な対応、そして簡単な操作による効率的な実験刺激顔画像の生成を目的とした顔画像生成システム（FUTON: Foolproof UTilities for Facial Image ManipulatiON System）の研究開発を進めてきた。

本論文では、まず 2. で心理学研究からの合成顔への要求を考察し、要求される機能を用いた過去の研究事例を紹介する。そして 3. では、その要求に対応するよう開発した FUTON の構成とその構造について述べる。4. では、特徴点取得時の作業負荷の軽減のために取り入れた操作者補助の機能の有効性を実験で確認する。

2. 合成顔に対する心理学研究からの要求

顔に関する心理実験では、実在の人物の顔写真だけでなく、合成顔を実験刺激として用いることで効果的な刺激統制を図ることが可能となる。

例えば、表情認知における視線の効果を調べるための実験を考える。実験刺激となる顔写真を得るには、最低 2 回の撮影が必要となる。モデルには表情は同じで視線方向のみの異なる顔を作るように指示することになるが、全く同一の表情を表出することは実際には不可能である。このような場合には 1 枚の表情写真に対して視線方向の異なる顔画像の目だけを入れ換えた画像を合成することで視線以外は全く同じ顔画像を得ることができる。刺激統制の観点からは 2 枚の実画像を用いるよりもこのような合成顔を用いる方が望ましい。

ここでは、多くの先行研究の実験刺激として用いられた合成顔を作成するために必要な合成機能と、過去に行われた心理実験の例を挙げる。また、これらが心理実験のための素材（刺激画像など）の合成で最も重要な機能と位置づけ、顔画像合成に対する心理学研究からの要求とする。図 1～図 5 及び添付データ 1 は FUTON で作成されたものであり、各合成が可能であることを示している。

2.1 平均顔合成

平均顔とは複数の顔画像を混ぜ合わせ、顔の特徴を平均化した顔画像である。つまり、合成に用いた顔画像がもつ個人特徴を消去し、共通にもつ特徴を具現化した画像といえる。また、平均顔は顔の集合の全体的な特徴の可視性を高めたものともいえる（図 1 及び添付データ 1 ave）。例えば、永田らは「サラリーマンの平均顔」や「プロレスラーの平均顔」などの顔画像を



(a) 男性 (b) 女性

図 1 日本人 60 人の平均顔。添付データ 1 ave のカラー画像をモノクロ画像として表示

Fig.1 Averaged face of 60 Japanese. This is a monochrome version of the original data in Data 1 ave.



(a) 女性 1 原画像 (b) モーフィング画像 (c) 女性 2 原画像

図 2 モーフィング画像。添付データ 1 morph のカラー画像をモノクロ画像として表示

Fig.2 Morphing image. This is a monochrome version of the original data in Data 1 morph.



(a) アンチカリカチュア (50%) (b) 原画像 (c) カリカチュア (50%)

図 3 カリカチュア/アンチカリカチュア画像。添付データ 1 cari のカラー画像をモノクロ画像として表示

Fig.3 Caricature/anti-caricature images. This is a monochrome version of the original data in Data 1 cari.

作成している [6]。

2.2 2 画像間のモーフィング合成

モーフィング画像は 2 枚の画像を任意の合成割合で混ぜ合わせて生成する。図 2 (b) は左右の女性を均等に混ぜ合わせて生成した顔画像である。

合成のもとになる 2 枚の画像の組み合わせで様々な

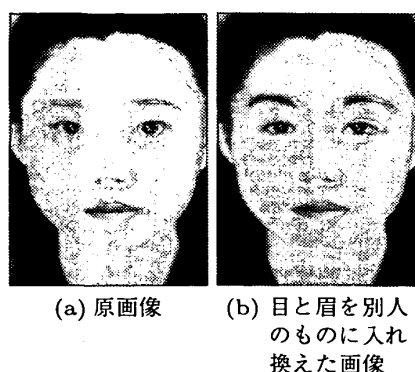


図 4 入換え合成. 添付データ 1 parts のカラー画像をモノクロ画像として表示

Fig. 4 Exchange morphing. This is a monochrome version of the original data in Data 1 parts.

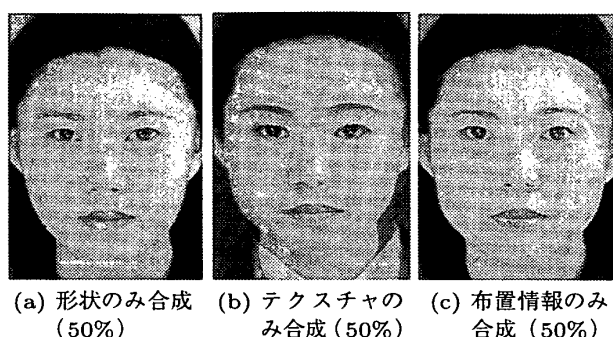


図 5 形状, テクスチャ及び布置の合成. 添付データ 1 each のカラー画像をモノクロ画像として表示

Fig. 5 Shape, texture and configuration morphing. This is a monochrome version of the original data in Data 1 each.

実験研究が可能となる. 男性と女性の顔画像をもとにした合成からは, 性差に関する研究が考えられ, 若者と高齢者の顔画像をもとにした合成からは, 加齢に関する研究が考えられる. そして, 異なる表情の顔画像をもとにした合成からは表情認知に関する研究が可能であろう. 例えば, Calder らはある表情 (例えば笑顔) と別の表情 (例えば怒り) との間で合成割合を徐々に変えた画像を作成し, 表情認知におけるカテゴリー化の問題に関する実験研究を行っている [7].

2.3 カリカチュア/アンチカリカチュア合成

平均顔と比較した際の個々の顔の特徴を誇張したものは, カリカチュア (誇張) 画像と呼ばれる. 逆に, 個々の特徴を弱めたものはアンチカリカチュア (平均化) 画像と呼ばれる. カリカチュア画像はその人の特徴を際立たせた画像であり, その人らしさを引き出した似顔絵のような効果を得ることができる. 図 3 及び添付データ 1 cari は, (b) 原画像をカリカチュアした

画像とアンチカリカチュアした画像である. 例えば, 特異な顔は再認記憶しやすく, 平均的な顔は魅力的であるとされている [8], [9] が, Rhodes らは個人の顔をカリカチュア/アンチカリカチュアした画像を作成し, 再認記憶と魅力度について評定実験を行っている [10].

2.4 パーツの入換え合成

パーツの入換え合成は顔のパーツを別の顔画像のパーツと入れ換える合成である. 例えば, 目や口といった特定のパーツを別の人物あるいは表情のものに入れ換え, 特定の部分のみが異なる画像を生成することができる. 図 4 (b) 及び添付データ 1 parts/parts.bmp は, 図 4 (a) 及び同 parts/parts.a.bmp の目と眉を別の女性のものに入れ換えた画像である.

入換え合成を用いて作成した画像は, 入換えを行った部分以外は全く同じ画像であることから, 極めて厳密に統制された画像といえ, 心理実験の観点からは有効な合成技術である. 顔の認知に関しては全体処理か部分処理かという議論がなされてきており, 顕著性効果についての実験も多く行われている. しかし, 過去の実験研究ではいわゆるモンタージュ画像の粗い顔画像が用いられており, 実験刺激の統制という観点からは課題を残した研究であるといえる. 本システムで実現されているような, 入れ換えた部分がわからない自然な画像による再検証も必要であろう.

2.5 形状と布置及びテクスチャの合成

形状の合成とは, 顔の形に関する情報を操作する合成である. テクスチャの合成とは, 顔の色合いや陰影, しわなどを含む画像上の色情報を操作する合成である. そして, 布置情報の合成とは顔パーツの配置を操作する合成で, 例えば目と眉の位置関係を変えるとといった操作を行うものである. 図 5 は女性 (図 4 (a) 及び添付データ 1 parts/parts.a.bmp) の顔をもとに男性の顔画像の形状 (a), テクスチャ (b), 布置 (c) のみをそれぞれ 50% 混合合成した画像である.

Perrett らは男性の平均顔と女性の平均顔の形状のみをカリカチュア/アンチカリカチュアし, 男性化/女性化という合成を行い, 女性はより女性的な顔が好まれ, 男性も女性的な顔が好まれることを報告している [11].

3. 顔画像生成システムの開発

ここでは, 2. で要求された合成に必要な機能を満足するとともに, 実験刺激生成のための一連の作業を効率良く進めるために工夫をこらしたシステムの構成

と機能について述べる。

3.1 ユーザインタフェース

心理実験に合成顔画像を用いることの利点は、研究目的に応じた実験刺激の統制が可能なこと、そして多量の刺激を比較的容易に提供できることといえる。

心理実験を行う場合、研究目的に応じた実験デザイン、そして実験刺激の作成という一連の作業が必要である。研究目的によっては、実験デザイン段階で、合成のためのパラメータ値を変えながらサンプル刺激を作成し、研究目的に最もあったパラメータ値を決定するという手順を踏む必要が出てくる。このように、実験デザインを検討する段階では、直接的な操作のできるグラフィカルユーザインタフェース（GUI）を用いることで効率的に検討することが可能となる。しかし、合成に用いるパラメータ値を決定し、多量の刺激を作成しようとしたとき、GUIによるインタフェースでは、作成する個々の画像に対して操作者が一つひとつ対応していかなければならないなど、操作者に多大な負荷がかかってしまう。また、GUIのシステムは通常、コンピュータのウィンドウシステムに大きく依存し、動作する環境がある程度限定されてしまう。それに比べて、キャラクタベースユーザインタフェース（CUI）を用いたインタフェースなら、より多くの環境で動作させることが可能である。そして、スクリプト言語などの親和性も高く、多量の画像も容易に作成することができる。例えば、実験デザインが決まれば同一の規則で多量の実験刺激を生成することがしばしばある。このような場合には、スクリプト言語などの繰り返し処理を利用することで容易に多量の刺激を生成することができる。FUTONでは、それぞれの長所を生かし、使用目的に合わせてGUI、CUIの両方のインタフェースを使い分けられるようにした。この構成により、本システムの一つの目的である「複数の画像合成を行うために何度も同じ操作を繰り返す必要がないこと」を達成した。

3.2 システム構成

FUTONは「特徴点の取得（Landmarks specifying）」（GUI）、「画像の正規化（Normalize）」（GUI, CUI）、「画像合成（Morphing）」（GUI, CUI）の3種類の機能を提供するツールで構成される（図6、図7）。

合成した画像を用いて別の画像を合成することや、合成した画像を更に正規化するという多様な組合せでの使用を可能にするために、個々の機能ごとに一つのツールとし、独立に起動できるようにした。そして、

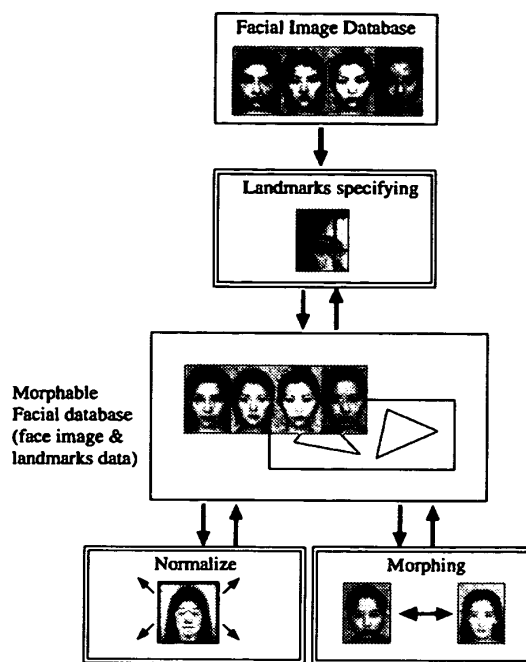


図6 システム構成
Fig. 6 System structure.

入出力に用いるデータのフォーマットを統一し、任意の順序でそれぞれのツールを使用できる構成とした。

顔画像の合成にはモーフィングを用いている。モーフィングは、画像間の共通する特徴を線形補間する技術であるので、合成を行うには画像間に共通する特徴点が必要となる。市販のモーフィングツールでは、合成する2画像間の、対になる特徴点を任意の数だけ設定するものが多い。このような方法では合成を行うたびに特徴点の設定が必要になり、そのたびに特徴点の位置が変わってしまいかねない。その結果、生成画像の画質を低下させてしまうことになる。なぜなら、設定された特徴点の位置が合成画像の画質に大きくかわるからである。また、特徴点の設定作業は、操作者への負担となるため、合成のたびに特徴点を設定するというのでは、作業効率が非常に悪くなってしまう。

FUTONでは、合成に用いる特徴点をあらかじめ定義しておくことで、すべての画像間で共通した特徴点の配置を可能とし、一度特徴点を取得しておけば任意の画像間での合成を行うことができるようにした。例えば、顔画像データベースは複数の研究者で共用して利用できれば、データベースの有効利用となる。しかし、研究者間では、研究目的は異なるため、要求される顔画像も異なってくる。つまり、目的に応じて大きさや、位置の調整といった正規化や、顔画像合成を行うことになる。そのたびに要求に合わせて特徴点の取

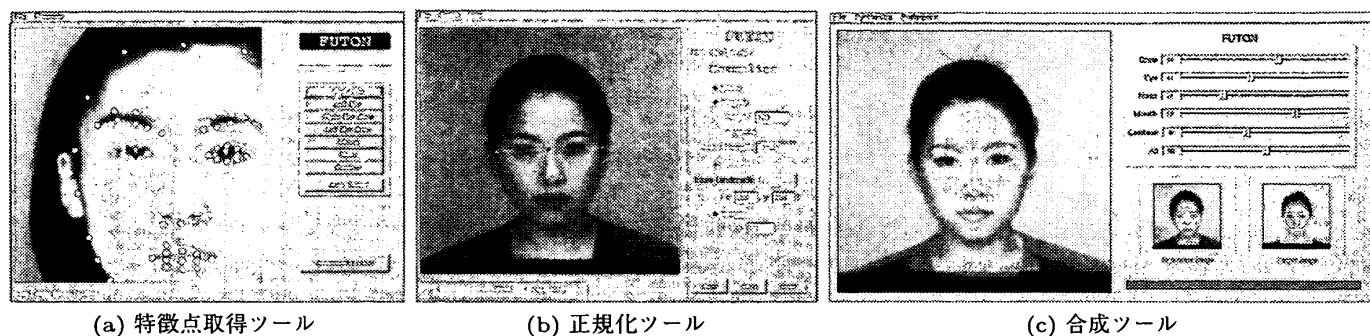


図 7 GUI ツール
Fig. 7 GUI tools.

得をしなければならないとなると、それは大変な労力となる。このような問題を解決するためには、データベース内の各画像間で共通した特徴点をあらかじめ付与しておくことで、任意の画像間での合成が常に可能になる。この機能により、本システムの一つの目的である「複数の画像合成を行うために何度も同じ操作を繰り返す必要がないこと」をここでも達成した。そして、異なる実験目的の実験刺激の生成時にも再び、特徴点の取得を行う必要がなく、作業負荷及び作業時間の軽減を図ることができる。また各特徴点に固有の名前を付与し、目や口といった顔パーツを複数の特徴点の集まりとして定義することで、合成を行いたい部位のみを容易に操作することを可能とした。逆に、操作を行わない部位については、全く変更が行われなため、比較を行いたい部位以外は全く同じにすることが可能になった。この機能により、本システムの一つの目的である「作成された画像間で条件を統制すること」を達成した。

画像の正規化は、研究目的に応じた詳細な統制を行う上で、重要な処理である。顔の大きさや、傾きをそろえることで、より自然な画像を生成することが可能となる。また、正規化を行った際には、画像と特徴との対応がくずれないように、画像とともに特徴点も正規化する。画像間で共通した特徴点を持ち、常に画像と対応をとることが可能にすることは、多様な合成を実現する上での基礎となる。

画像の合成では、先行研究で用いられてきた合成顔を容易に作成できるようにするとともに、今後検討されるであろう様々な実験刺激の作成にも柔軟に対応できるように、2. で述べた合成機能を基本機能として実装することで、本システムの一つの目的である「心理実験でよく使われる合成に多様に対応すること」を達成した。

以下に詳細な説明を述べる。

3.3 特徴点の定義

顔研究では、顔輪郭より内側を扱うことが多いため、デフォルトの定義として、特徴点は顔の内部構造に限った 91 点（画枠 8 点を含む）とし、髪や耳は合成対象から除外した。特徴点は、次のような基準で決定した。(1)目や口などの重要なパーツに関しては、特徴点を多くした。(2)個人差が大きい顎の輪郭部分は特徴点を多くした。(3)目尻や目頭のような、輪郭線上の頂点など容易に特定できる点を特徴点とした。(4)位置が特定しにくい輪郭線上の特徴点については、容易に特定できる特徴点を基準に、取り得る範囲を計算するようにした。定義規則の詳細は表 1 に示す。

特徴点には右目の目尻 (ER_o) や瞳の中央 (ER_c) といった具合に各特徴点に固有の名前を付与するようにした (図 8)。実画像に対し取得した特徴点データを添付ファイル 2 measure.txt に示す。実験目的によっては、新たな特徴点が必要になることが想定される。例えば、デフォルト設定では耳は除外しているが、実験目的によっては耳に特徴点を設ける必要が出てくる。このような場合には、特徴点名を設定し、特徴点として追加できるようにした。

図 9 ~ 図 12 は実際に取得した特徴点の例である。特徴点を結ぶ直線は特徴点の定義規則を規定するために用いる直線であると同時に、後述する特徴点取得ツールで操作者補助のために表示される補助線でもある。

3.4 顔パーツの定義

FUTON が顔に特化した合成システムである上での優れた点の一つは、右目や左眉といった顔のパーツを特徴点の集合として定義し、操作できることにある (添付データ 2 parts.txt)。こうすることで、合成時に個別に特徴点に対して合成割合を指定するのではなく、

表 1 特徴点の定義規則
Table 1 Rule of landmarks definition.

部位	特徴点名	定義規則
眉 (右) *	BRi, BRo	目視 (図 9 : b)
	BRu1, BRu2, BRu3, BRb1, BRb2, BRb3	BRi, ERc, BRo を結んでできる角を 4 等分するように ERc より放射状に伸ばした直線と右眉の上側あるいは下側の輪郭との交点 (図 9 : b)
目 (右) *	ERi, ERo, ERc	目視 (図 9 : a)
	qf ERu1, ERu2, ERu3, ERb1, ERb2, ERb3	ERi, ERo を結んだ直線を 4 等分する点より垂直に伸ばした直線と右まぶたの上側あるいは下側の輪郭との交点 (図 9 : a)
鼻	Nr1, Nr2, Nr3	目視 (小鼻 (右側 : Nr1, Nr2, Nr3), 左側 : NI1, NI2, NI3), 下 (Nb), 鼻の頂点 (Nm) (図 9 : c)
	NI1, NI2, NI3, Nb, Nm	
	Nu	Mmu2 から ERc, ELc を結ぶ直線に引いた垂線の交点 (図 9 : c)
口	Mr, MI	目視 (口の右端, 左端) (図 9 : d)
	Mu1, Mu2, Mu3, Mmu1, Mmu2, Mmu3, Mmb1, Mmb2, Mmb3, Mb1, Mb2, Mb3	Mr, MI を結んだ直線を 4 等分する点より垂直に伸ばした直線と上唇の上側, 下側と下唇の上側, 下側の輪郭との交点 (口が閉じている場合には, 上唇の下側と下唇の上側の点が同じにならないように一定距離を保持する) (図 9 : d)
顔輪郭	Fb	目視 (あごの先端) (図 12)
	Ft, Fr1, Fr2, Fr3, FI1, FI2, FI3	ERc, ELc を結ぶ直線を軸とし, Nu から放射状に $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ の間で 30° ごとに伸ばした直線と顔輪郭 (髪の毛のはえぎわ) との交点. (図 10)
	Fr4, Fr5, Fr6, Fr7, Fr8, Fr9, FI4, FI5, FI6, FI7, FI8, FI9,	Nu と Fb の 2 点を結ぶ直線の Nu より $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{5}{8}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, \frac{13}{16}$ の点より ERc, ELc を結ぶ直線に平行に伸ばした直線と顔輪郭との交点 (図 11)
	Fr10, Fr11, Fr12, FI10, FI11, FI12	Nu と Fb の 2 点を結んだ直線の $\frac{7}{8}$ の割合の点と Fr10 及び FI10 とを結んでできる直線を 4 等分する点から垂直に下した直線と顔輪郭との交点 (図 12)
画枠	AUL, AUR, ABL, ABR, AUM, ALM, ARM, ABM	固定座標 [上左端 (0, 0), 上右端 (511, 0), 下左端 (0, 511), 下右端 (511, 511), 上中央 (255, 0), 左中央 (0, 255), 右中央 (511, 255), 下中央 (255, 511)]

* 左側は, 特徴点名の R を L に入れ換えた特徴点名となる.

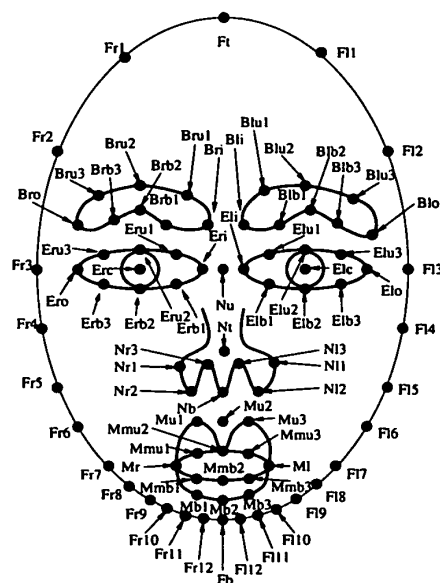


図 8 特徴点
Fig. 8 Landmarks.

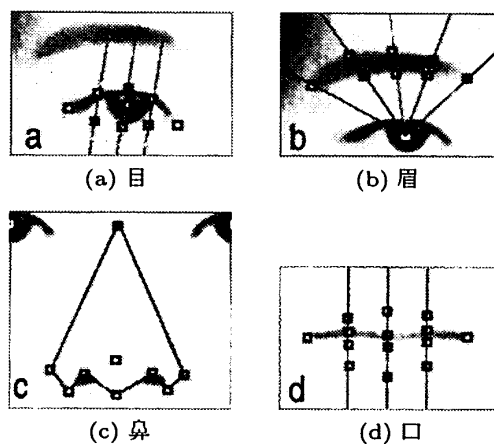


図 9 特徴点の定義
Fig. 9 Definition of landmarks.

の目, 鼻, 口, 顔輪郭の 7 通りのパーツをデフォルトとして定義している (表 1 の部位と特徴点名). なお, ここでの左右とは顔画像のモデルにとっての左右であり, 観察者から見て右側が左, 左側が右となる.

3.5 ツールの機能

3.5.1 特徴点取得ツール

特徴点の取得については自動化の試みもされているが, 輝度などを含む様々な画像上の制約が伴うなどの理由から, 筆者らはマウス操作により, マーカを特徴

顔のパーツ単位に合成割合を指定することが可能となる. また, この定義は任意に修正可能であり, 必要に応じて新たなパーツを容易に定義することができる. 例えば, 額や頬といった新規な顔パーツを定義し合成することも可能である. FUTON では左右の眉, 左右

点上に配置していくという、手動による特徴点取得の方法を採用した。しかし手作業による取得では、操作者に大きな負担がかかる。また、作業により得られる特徴点座標についても、目視で常に同じ点を選ぶように心掛けても全く同じ点を選ぶことは難しい。更には操作者が変われば、取得ルールが決まっていたとしても操作者の感覚の違いで取得される位置に差がでることも予想される。このような問題を最小限にするために、CAD ソフトなどの機能に習い、特徴点の取得領域の拡大表示と補助線による特徴点の取得補助の 2 種類の操作者補助の機能を取り入れ、実装した。

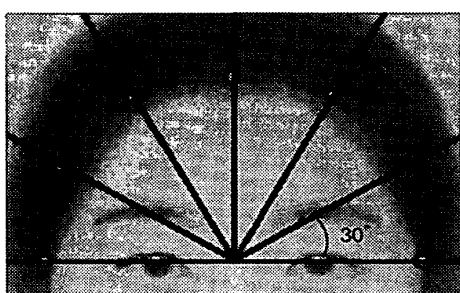


図 10 顔輪郭上の上部の特徴点の定義
Fig. 10 Definition of landmarks on upper part of facial contour.

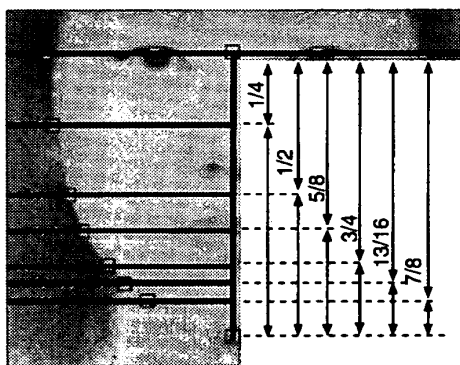


図 11 顔輪郭上の中央部の特徴点の定義
Fig. 11 Definition of landmarks on middle part of facial contour.

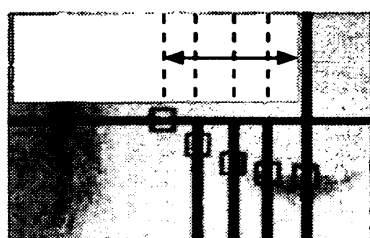


図 12 顔輪郭上の下部の特徴点の定義
Fig. 12 Definition of landmarks on lower part of facial contour.

取得領域の拡大表示は、特徴点を取得する顔パーツ部分を縦横それぞれ 2 倍の大きさに拡大表示し、操作時の視認性を高める。補助線による特徴点の取得補助は、位置が特定しにくい輪郭線上の特徴点（例、まぶたの上側：ERu1）に対し、容易に特定できる特徴点（例、目頭：ERi）から、輪郭線上の特徴点の取り得る範囲を計算し、その範囲内のみ特徴点の取得が可能にする。そして、システムが計算した、特徴点の取り得る範囲を直線（補助線）で表示する。操作者のマウス操作は、この補助線上へのみ反映され、操作者は補助線と輪郭線の交点にマーカを移動させるだけで、特定しにくい特徴点の取得が可能になる（図 13）。

4. では、操作者補助の機能の有効性を確認するために行った評価実験について述べる。

3.5.2 画像の正規化

人は、それぞれ体の大きさが違うように顔の大きさも異なる。そのため、同じ撮影距離で撮影された写真であっても顔の大きさは通常異なる。更に、撮影時にはできるだけ水平になるようにモデルに指示をしても、ある程度は傾いてしまう。

顔パーツの一部を別の顔画像のそれと入れ換える入換え合成を考えると、顔の傾きの度合や大きさあるいは位置が極端に異なると不自然な画像となる。このような理由からも、合成前に顔画像の正規化を行っておくことが望ましい。しかし、一意に決定できる正規化の基準があるわけではなく、研究目的に合わせて、最も良い基準を選ばなければならない。

研究目的に合わせた基準での正規化ができるよう、指定した特徴点間の距離を一定にする拡大/縮小、左右の瞳を結ぶ 2 点を水平にする回転、そして任意の特徴点が指定した場所へ移動する平行移動の機能を提供する。

3.5.3 顔画像合成

モーフィングは 2 枚の画像に対して適用されること

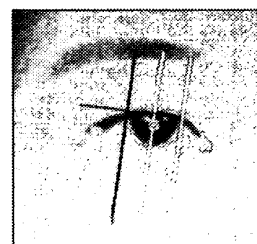


図 13 補助線表示
Fig. 13 Illustration of support line.

が多いが、2枚の画像に分配する合成割合を複数の画像に分配するように拡張することで、2枚以上の画像の同時合成が可能になる。合成割合の指定をする場合、個々の画像の合成割合をすべて指定するのは不便であり冗長である。また、顔パーツのみを合成することを考えた場合、顔パーツ以外の部分はどの画像のものをを使うのかという問題も起こる。このような問題を解決するため、必ず1枚の基準となる基準画像 (I^G) を決め、それ以外の画像は参照画像 (I^R) とする。参照画像が複数ある場合は、参照画像から平均画像を作成し、それと基準画像の比率を式 (1) に基づいて変えることで、合成画像を生成する。参照画像が1枚のときは平均画像は原画像そのものである。こうすることで、合成時には基準画像の合成割合のみを設定するだけで、一意にすべての画像の合成割合が決定する。

$$I^S = \alpha I^G + (1.0 - \alpha) I^R \quad (1)$$

合成割合が $0.0 \leq \alpha \leq 1.0$ の間は基準画像と参照画像間の差を内挿する合成（モーフィング/アンチカリカチュア）となり、それ以外の割合を指定した場合は画像間の差を外挿する合成（カリカチュア）となる。

合成は顔画像を複数の三角形に分割して得られる三角パッチ単位に進められる。すべての三角パッチの頂点は特徴点から構成されており、すべてに合成率が設定されている。また、形状の合成とテクスチャ（しみ、しわや肌のきめなどを含む）の合成は独立に処理されるため、形状とテクスチャの各々の合成率に異なる値を設定することも可能である。形状の合成は、入力画像の特徴点座標から、出力画像の特徴点座標を線形補間し、求める。そして、入力画像の三角パッチが出力画像の三角パッチへ変換されるようなアフィン行列を求め、三角パッチ内部のすべての点を変換する。テクスチャの合成は、入力画像の三角パッチの頂点の合成率から、三角パッチ内部の各画素の合成率を計算し、出力画像の各画素の輝度値を求める。

布置の合成とは顔パーツ間の位置関係の操作である。顔パーツは複数の特徴点から定義されているが、その中の1点を顔パーツを代表する基準特徴点とする。そして、顔パーツ間の基準特徴点の位置関係のみに着目し、配置する。他の特徴点については、その顔パーツの基準特徴点との位置関係を相対的に保つように配置する。

4. 実験——補助機能の有効性の確認——

特徴点は手作業により取得されるが、この作業は操作者に対する大きな負荷となる。FUTONでは、作業負荷を軽減する目的で、CADソフトなどの機能に習い、特徴点の取得領域の拡大表示と、補助線による取得領域の限定という二つの操作者補助の機能を取り入れ、実装した。これらの補助機能の有効性を確認するために、以下の実験を行った。

4.1 手続き

操作時間と得られた特徴点座標について次に上げる三つの条件で比較を行った。(1)補助なし条件：入力画像そのものに対し操作を行う。(2)拡大条件：入力画像を水平、垂直方向、それぞれ2倍に拡大し操作を行う。(3)拡大 + 補助線条件：拡大条件下で、表示された補助線上のみを移動可能なポインタカーソルを操作する。

被験者は日常的にマウス操作は行っているが、特徴点取得作業は行ったことのない10名であった。画像は、 512×512 ピクセル内に顔が十分含まれる大きさのものであり、拡大条件、拡大条件+補助線条件では、水平、垂直方向に2倍の大きさに拡大された画像として表示された。また、作業は表示される顔画像の眉 (brow) と目 (eye) のうち、指示された顔パーツの容易に特定しにくいであろう6点 (眉：眉の輪郭の上側3点と下側3点、目：上まぶたの輪郭3点と下まぶたの輪郭3点) の取得を行うものであり、ポインタカーソルをマウスのドラッグ操作で特徴点と思われる位置に配置させるものであった。ただし、移動後もポインタカーソルを再度選択することで位置の修正も可能であった。なお、目尻、目頭、瞳の中央、眉の両端の特徴点は、拡大 + 補助線条件での基準となる点であるため、すべての条件で表示されていた。

特徴点を取得する顔画像は男女5名ずつの計10枚であった。被験者は各モデルについて眉5回、目5回の取得作業を行い、1条件につき100試行であった。実験は条件ごとに、数日おきに行われた。

4.2 結果と考察

10名の被験者の各条件での1回の作業 (6点取得) にかかった時間を作業時間として比較した。また、得られる特徴点の座標に対しては、正しい値を確定することは難しいため、同じ画像に対してどの程度同じ位置に取得されるかを比較することにした。各被験者は同一画像の眉、目に対して各5回の特徴点の取得を

行っていることから、得られた5点の座標値の水平/垂直方向成分のそれぞれの標準偏差を x 成分, y 成分とするベクトルの大きさをばらつきの度合 σ として定義した。 σ_x は水平方向の標準偏差, σ_y は垂直方向の標準偏差である。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (2)$$

図14は、眉と目の点のばらつきの度合を補助条件ごとにプロットしたものである。各条件でのばらつきの度合は、補助なし条件（眉：2.4 pixel, 目：1.6 pixel）、拡大条件（眉：1.9 pixel, 目：1.2 pixel）、拡大 + 補助線条件（眉：0.8 pixel, 目：0.6 pixel）であった。被験者の各条件下でのばらつきの度合の平均値、及び作業時間の平均値について3補助条件（補助なし条件、拡大条件、拡大 + 補助線条件） $\times$ 2顔パーツ条件（眉、目）の2要因の分散分析を行った。ばらつきの度合については、補助条件 [$F_{(2,18)} = 33.95, p < .0001$], 顔パーツ条件 [$F_{(1,9)} = 84.41, p < .0001$] のそれぞれで有意差が見られた。両条件の交互作用も有意であった [$F_{(2,18)} = 19.453, p < .0001$]。この結果は、拡大と補助線という操作者補助機能が有効に働いていることを示している。更に交互作用が有意であったことから、眉の輪郭は目よりも境界部分が薄く判別が難しいが、このような補助なしではばらつきの大きなパーツにおいて、より補助機能が効果的であることが示唆された（図14）。次に、図15は眉と目の点の特徴点取得にかかった時間を補助条件ごとにプロットしたものである。作業時間の平均値について

は、補助条件 [$F_{(2,18)} = 3.99, p < .05$], 顔パーツ条件 [$F_{(1,9)} = 5.14, p < .05$] のそれぞれで有意差が見られ、交互作用は見られなかった。このことから、補助条件が補助なし、拡大、拡大 + 補助線になるにつれ、いずれの顔パーツの特徴点を取得する場合にも作業時間が有意に短縮できていることがわかり、作業時間についても操作者補助の機能が有効に働いていることがわかる。実験に用いたものではないが、三つの条件で実際に特徴点取得操作を行い、操作性の比較、確認ができるよう、操作性比較プログラムを添付データ3として添付した（Windows用 lm_win.exe, linux用 lm_linux）。

次に、ばらつきが実際の画像合成にどの程度影響するのかを視覚的に確認するために、1枚のモデル画像に対して得られた50回の作業の特徴点から、平均画像を生成した（図16及び添付データ4）。ばらつきが少ないほど、原画像に近い平均画像が生成されるはずである。合成の結果は、どの画像も著しく輪郭がぼけるなどしているわけではないことから、心理実験の実験刺激として最もよく使われる2画像間の合成においては、どの条件でも実用に耐え得るといえる。しかし、詳細に見ると補助線条件で得られた図16(d)の画像は、眉の毛まで確認でき、原画像に非常に近い。ところが、図16(b)の補助なし条件では、眉全体がぼけた画像となっている。この結果からも、補助線によるサポートを行うことで、ばらつきの度合が減少し、合成画像の画質を高めたといえる。

また、すべての実験終了後に三つの条件での作業に

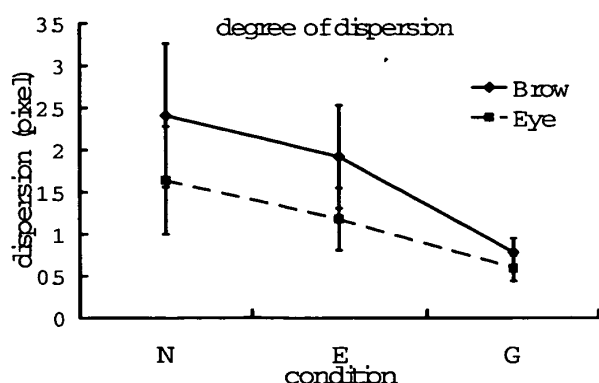


図14 実験結果（Nは補助なし条件、Eは拡大条件、Gは拡大 + 補助線条件）ばらつきの度合の比較

Fig. 14 Experiment results (N is non-support condition, E is enlarged condition, G is enlarged+supported-line condition): Comparison of the degree of dispersion.

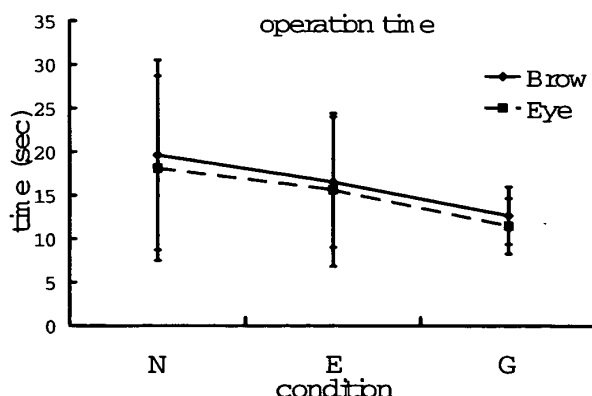


図15 実験結果（Nは補助なし条件、Eは拡大条件、Gは拡大 + 補助線条件）操作時間の比較

Fig. 15 Experiment results (N is non-support condition, E is enlarged condition, G is enlarged + supported-line condition): Comparison of the operation time.

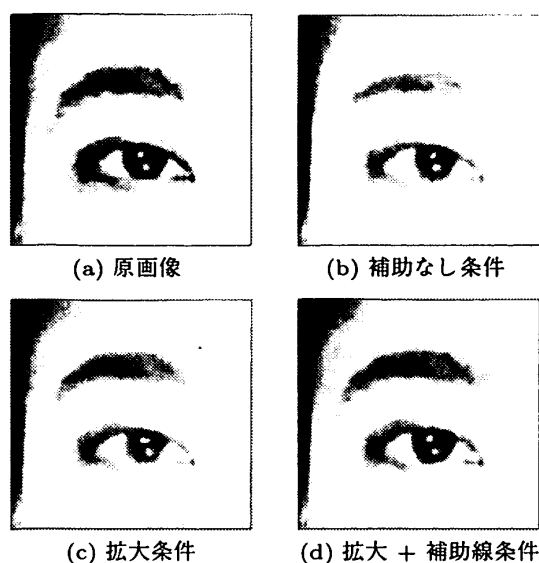


図 16 各条件で得られた特徴点を用いて生成した平均画像。添付データ 4 のカラー画像をモノクロ画像として表示

Fig.16 Averaged image that created by using landmarks of each condition. This is a monochrome version of the original data in Data 4.

ついて口頭で自由に答えてもらった。ここでも、補助線によるサポートを行った場合が、最も容易に作業を進めることができたという回答を得た。このことから、特徴点の取得領域の拡大表示と、特徴点の取得のための補助線によるサポートが、操作性の向上に役立っているといえる。

5. む す び

本論文では、顔研究における心理実験の実験刺激という観点から合成顔の有効性について考察し、多様な研究目的に柔軟に対応しつつ、統制された実験刺激の作成を可能とする顔画像合成システムの構成とその構造について述べた。そして、本システムで取り入れた操作者補助の機能の有効性を実験により確認した。

FUTON は既に多くの心理実験で用いられており、このことから合成ツールとしての本システムの有効性を示すことができる。例えば、パーツの入換え合成と平均顔合成の機能は、顔の認識における部分処理と全体処理の比較に関する実験で効果を発揮している [12]。

また、GUI ベースの合成ソフトウェアでは、直接的でかつ簡便な操作が可能であることから、具体的な目的をもたなくても探索的に様々な合成を試みることができる。この“遊び”ともいえる行為が顔の認知処理

に対する新たな仮説や疑問を生み、研究のきっかけを与えてくれるなど、実験刺激作成という目的を越えた思わぬ副次的効果をもたらしている。しかし、開発当初には予想しなかった合成画像の使用法も提案されるなど、顔研究における合成顔画像の必要性はますます多岐にわたってきている。今後は、物理量と心理量との対応関係を検証するとともに、異なる顔向きや動画あるいは 3 次元画像などの合成にも対応していく予定である。

謝辞 第 1 著者、第 2 著者は、本研究を通信・放送機構の研究委託「人間情報コミュニケーションの研究開発」により実施した。

文 献

- [1] S.E. Brennan, "Caricature generator: The dynamic exaggeration of faces by computer," *Leonardo*, vol.18, no.3, pp.170-178, 1985.
- [2] P.J. Benson and D. Perrett, "Synthesising continuous-tone caricatures," *Image and Vision Computing*, vol.9, no.2, pp.123-129, 1991.
- [3] P. Ekman and W.V. Friesen, *Facial Action Coding System*, Consulting Psychologists Press, 1978.
- [4] F.I. Parke and K. Waters, *Computer facial animation*, A K Peters, 1996.
- [5] 磯野勝宣, 尾田政臣, 赤松 茂, "遺伝的アルゴリズムを用いた顔画像生成システム—感性的イメージの生成," *信学論 (D-II)*, vol.J82-D-II, no.3, pp.483-493, March 1999.
- [6] 永田明徳, 金子正秀, 原島 博, "平均顔を用いた顔印象分析," *信学論 (A)*, vol.J80-A, no.8, pp.1266-1272, Aug. 1997.
- [7] A.J. Calder, A.W. Young, D.I. Perrett, N.L. Etcoff, and D. Rowland, "Categorical perception of morphed facial expressions," *Visual Cognition*, vol.3, no.2, pp.81-117, 1996.
- [8] 吉川左紀子, 益谷 真, 中村 真, *顔と心 顔の心理学入門*, サイエンス社, 1993.
- [9] V. Bruce (著), 吉川左紀子 (訳), *顔の認知と情報処理*, サイエンス社, 1990.
- [10] G. Rhodes, A. Sumich, and G. Byatt, "Are average facial configurations attractive only because of their symmetry?" *Psychological Science*, vol.10, no.1, pp.52-58, Jan. 1999.
- [11] D.I. Perrett, K.J. Lee, I. Penton-Voak, D. Rowland, S. Yoshikawa, S.P. Henzi, D. Castles, and S. Akamatsu, "Effects of sexual dimorphism on facial attractiveness," *Nature*, vol.394/issue., no.6696, pp.884-887, 1998.
- [12] R. Cabeza and T. Kato, "Features are also important: Contributions of featural and configural processing to face recognition," *Psychological Science*, vol.11, no.5, pp.429-443, 2000.

付 録

添付デジタルデータ一覧

添付データ 1

ファイル名	ave/ave_a.bmp, ave_b.bmp morph/morph_1.bmp ~ morph_5.bmp cari/cari1_1.bmp ~ cari2_5.bmp parts/parts_a.bmp ~ parts_e.bmp each/each_a.bmp ~ each_e.bmp
保存場所	/DATA/data1/
データ種類	静止画像
データ形式	BMP
説明	モノクロ画像として本文図にも記載 ave: 平均顔合成画像 (図 1). morph: 2 画像間モーフィング合成画像 (図 2). cari: カリカチュア/アンチカリカチュア合成画像 (図 3). parts: 入換え合成画像 (図 4). each: 形状, テクスチャ及び布置の合成画像 (図 5).

添付データ 2

ファイル名	parts.txt, measure.txt
保存場所	/DATA/data2/
データ種類	テキスト
データ形式	EUC
説明	合成時に用いる特徴点データとパーツ定義ファイル

添付データ 3

ファイル名	lm_linux, lm_win.exe
保存場所	/DATA/data3/
データ種類	バイナリ
データ形式	Linux 実行形式, Windows 実行形式
説明	実験で行った特徴点取得手法の比較のサンプルプログラム

添付データ 4

ファイル名	exp_a.bmp ~ exp_d.bmp
保存場所	/DATA/data4/
データ種類	静止画像
データ形式	BMP
説明	実験結果から合成した平均画像, モノクロ画像として図 16 にも記載

添付データ 5

ファイル名	index.htm ほか (data5 ディレクトリ以下の全ファイル)
保存場所	/DATA/data5/
データ種類	テキスト及び静止画像
データ形式	html ソース, jpeg, gif
説明	web ブラウザによる添付データ 1 ~ 4 の閲覧と, 説明. index.htm がトップページ

(平成 14 年 1 月 16 日受付, 4 月 15 日再受付,
6 月 3 日最終原稿受付)



向田 茂 (学生員)

平 1 大阪電子計算機専門学校・情報システム卒. 同年 SCC 入社. 平 12 国際電気通信基礎技術研究所出向. 平 13 関大大学院修士課程了. 現在 ATR 人間情報科学研究所出向中. 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士課程在学中. 顔画像合成システムの研究開発に従事. 日本顔学会会員.



蒲池みゆき (正員)

平 7 九州大・文・心理卒. 平 10 同大大学院修士課程卒. 平 10 より平 13 日本学術振興会特別研究員. 平 12 九州大・博士 (人間環境). 表情など, 顔の認知の研究に従事. 平 13 より現在, ATR 人間情報科学研究所客員研究員. 日本心理学会, 日本視覚学会, 日本基礎心理学会各会員.



尾田 政臣 (正員)

昭 46 北大・工・電気卒. 昭 51 同大大学院博士課程了. 同年日本電信電話公社 (現 NTT) 電気通信研究所入所. 昭 63 より ATR 視聴覚機構研究所に出向. 以来, 図形・文字・顔・表情の認知並びにヒューマンインタフェースの研究に従事. 平 9 より, 立命館大学文学部教授. 工博.



加藤 隆

米国 UCLA 心理学科博士課程了. Ph.D. 日本 IBM 研究員, シドニー大学助教授を経て, 平 8 より関西大学総合情報学部教授. 平 6 ~ 13 ATR 人間情報通信研究所客員研究員. 認知科学, ヒューマンインタフェースの研究に従事.



吉川左紀子

昭 52 京大・教育卒. 昭 57 同大大学院博士課程認定退学. 同年追手門学院大学文学部助手. 平 1 ~ 2 英国ノッティンガム大客員研究員. 平 2 追手門学院大学文学部助教授. 平 9 京大教育学部助教授. 平 14 より同大大学院教育学研究科教授. 顔・表情の認知に関する心理学研究に従事. 博士 (教育学).



赤松 茂 （正員）

昭 50 東大・工・計数卒。昭 52 同大大学院修士課程了。同年電電公社電気通信研究所入所。以来、パターン認識システムの研究に従事。平 4～12 ATR 人間情報通信研究所第二研究室長。平 13 より法政大学教授。工博。



千原 國宏 （正員）

昭 43 阪大・基礎工・制御卒。昭 48 同大大学院博士課程了。同年同大基礎工学部制御助手。昭 58 同助教授。現在、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。工博。医用超音波計測、デジタル図書館、マルチメディアの研究に従事。システム制

御情報学会，日本エム・イー学会，日本超音波医学会，IEEE 等各会員。