

## 表情アニメーション付きプログラミング教育支援 システムの開発とアンケート調査による評価

田川 聖治†, 広永美喜也†, 阿部孝司†

### 概要

本稿では、プログラミング実習のために開発した表情アニメーション付き教育支援システム「ロボット TA」について紹介する。ロボット TA は学生が自らプログラムの合否を判定するために使用する。ロボット TA を導入することで、多数の学生を対象としたプログラミング実習が円滑に実施でき、学生も自分の理解度に応じて学習を進められる。一方、学生には自らロボット TA を操作し、自主的に学習を進めることが求められる。そこで、学生の学習意欲を高めるための工夫として、ロボット TA は合否判定の結果に応じた表情アニメーションを実行する。また、表情アニメーションには TV ゲームの技法を取り入れる。最後に、ロボット TA が提供する表情アニメーションの教育効果について、アンケート調査に基づき検証する。

## Development of Programming Education Support System with Face Animation and Evaluation by Questionnaire Survey

Kiyoharu Tagawa†, Mikiya Hironaga†, Koji Abe†

### Abstract

In this paper, a programming education support system using face animation is described. The education support system is called "robot TA". Robot TA is used by respective students to judge the pass or fails of their programs. By using robot TA, teachers can conduct programming exercises for many students smoothly. Besides, students can learn to make their programs independently according to their levels of understanding. However, each student has to manipulate robot TA voluntarily and advance learning by oneself. In order to enhance the student's motivation for learning, robot TA provides the face animation designed by using TV game techniques. Finally, the educational effect of the face animation provided by robot TA is evaluated through the questionnaire survey.

## 1 はじめに

情報系の大学生に対する教育カリキュラムにおいて、通常、プログラミング実習は必修科目に指定されている。このため、一般的にプログラミング実習では、教員や TA (Teaching Assistant) など指導者の人数に比べて学生数が圧倒的に多くなる。そこで、様々なプログラミング教育支援システムが開発されている [1]。本稿では、学生のプログラムの合否を学生自身が判定できる教育支援システムについて述べる。このような教育支援システムを使用することで、多数の学生を対象としたプログラミング実習が円滑に実施でき、学生も自分の理解度に応じて学習を進められる。一方、学生には自ら教育支援システムを操作し、自主的に学習を進めることが求められる。

したがって、教育支援システムを利用した実習では、学生の学習意欲を維持する工夫が重要となる。

顔の表情は人間の重要な非言語コミュニケーションの手段であり、認知科学の分野では古くから研究されている [2, 3]。また、情報工学の分野においても、表情を含む「顔」に関する研究は活発に行われてきた [4]。ここで、情報工学における「顔」の研究は、認識技術と合成技術に大別される。さらに、顔の合成技術の応用研究として、人と機械のコミュニケーション支援を目的としたヒューマンインタフェースの開発がある。たとえば、フェース法は多変数データの各成分を顔図形の目、口、眉などのパーツの変化に割り当てることで、多変数データを 1 つの表情として提示する [5]。近年、フェース法にはアニメーションの技術が導入され、原子力発電所など大規模で複雑なシステムの状態を瞬時に把握するために利用されている [6]。一方、擬人化エージェントでは CG で作成された「顔」がユーザに対して親しみやすさを演出する。また、オンライン交渉のための擬人化エージェントでは、キャラクターの表情がユーザの意志決定に影響を与えることが報告されている [7]。さら

† 近畿大学 理工学部 情報学科  
Department of Informatics, School of Science  
and Engineering, Kinki University

に、手話アニメーションにより文書を伝達するシステムでは、手話を演じるキャラクターの表情が感情を直感的に伝えるとともに、文章の内容に対するユーザの理解度を高める効果を発揮している [8]。これらの事例から、「顔」は教育支援システムから学生への情報伝達的手段としても有効であると思われる。

本稿では、学生が作成した画像処理プログラムの可否を判定するために開発した教育支援システム「ロボット TA」について紹介する [9]。ロボット TA は CG で作成された「顔」を持ち、その振る舞いに同期した表情アニメーションをリアルタイムで実行する。ロボット TA の表情アニメーションには、親しみやすさを演出するだけでなく、人間の表情が持つ感情の同調性の効果も期待している。すなわち、ロボット TA の可否判定の結果に応じた喜怒哀楽の表情を学生に見せることで、人間の意欲の根源である感情を刺激できれば、学生のやる気が喚起される可能性がある。さらに、学生を飽きさせない工夫として、表情アニメーションには TV ゲームの技法 [10] を取り入れ、キャラクターの種類や表情を学生の到達レベルにより段階的に変化させている。最後に、上記のロボット TA の表情アニメーションに期待される教育効果について、受講生 97 名（内女子 16 名）を対象としたアンケート調査に基づき検証する。

## 2 教育支援システム

### 2.1 画像処理プログラミング実習

「画像処理プログラミング実習（仮称）」は学部 3 年前期に開講される必修の実習科目であり、毎年 100 名程度の学生が受講する。実習内容は Java 言語による画像処理プログラムの作成である。本科目とは別に画像処理の理論とアルゴリズムを教える講義科目が開講され、大半の学生が同時期に受講している。また、両科目は同じ教員が担当している。

画像処理プログラミング実習は週 180 分で 15 週実施される。期間の前半では、実習の冒頭に教員が 30 分程度の解説を行った後、小規模なプログラム課題を幾つか学生に与えて、画像処理に関する基礎的なプログラミング技術を得得させる。また、期間の後半では、前半で習得した技術を応用して、比較的に規模の大きな画像識別システムを開発させる。プログラム課題の出題範囲は下記の通りである。

- 水平・垂直線と斜め線の描画
- 画像の座標系の変換
- ヒストグラムによる画像の濃度変換
- 濃淡画像の 2 値化と基本的な特徴抽出
- フィルタによる雑音除去
- フィルタによるエッジ抽出
- 近傍処理と孤立点消去

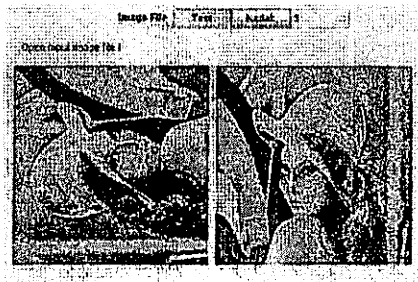


図 1: ロボット TA の外観

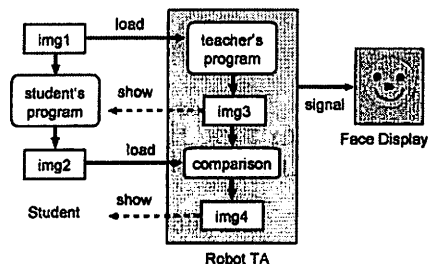


図 2: ロボット TA によるテストの流れ

プログラム課題の出題数は毎週 6 問程度である。学生は各人で持参した学科指定のノートパソコンを使用して、与えられたプログラム課題に取り組む。学生からの質問には教員 3 名と大学院生の TA4 名が個別に対応している。しかし、学生数に比べて指導者が少なく、個別な対応は十分に行えていない。

### 2.2 ロボット TA の概要

著者らが開発したロボット TA は教育支援システムであり、画像処理プログラミング実習の全受講生が使用する。ロボット TA はスタンドアロンのソフトウェアである。このため、学生は本科目の Web ページからロボット TA を各人のノートパソコンにダウンロードした後、ネットワークに接続することなく、自分のノートパソコン上で繰り返し使用できる。

ロボット TA の外観を図 1 に示す。最上部に 3 つのボタンがあり、左から画像ファイルの選択、後述するテストの実行、プログラム課題の選択に使用する。中央のボタンを「テスト・ボタン」と呼ぶ。その下には、ロボット TA の状態やテストの結果に関する情報が簡単な英文で表示される。また、図 1 のように左右 2 枚の画像を表示する領域がある。ゲームニクス [10] の考え方に基づき、ロボット TA のユーザインタフェースは、図 1 に示した 3 つのボタンをマウスでクリックするだけの簡単なものとした。

ロボット TA を用いたテストの流れを図 2 に示す。図 2 にはロボット TA の他、学生による操作とフェー

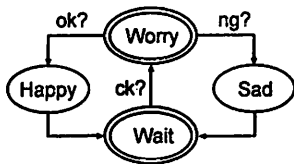


図 3: フェースディスプレイの状態遷移図



図 4: 無表情のループ型ショット「Wait」

スディスプレイを描いている。フェースディスプレイとは、ロボット TA が発信するシグナルを受信して表情アニメーションを実行するソフトウェアである [12]。ロボット TA とフェースディスプレイは独立のスレッドとして並行に実行され、「顔」は図 1 のロボット TA とは別のウィンドウに表示される。

はじめに、図 2 において、学生は課題の画像処理プログラムを作成した後、適当なサンプル画像を入力画像「img1」とし、自らの画像処理プログラムを用いて出力画像「img2」を生成する。次に、学生はロボット TA を起動し、入力画像と出力画像を読み込ませる。ここで、「img1」と「img2」は図 1 の左右の領域に表示される。さらに、ロボット TA で課題の番号を選択した後、テスト・ボタンをクリックする。ロボット TA は課題ごと正解の画像処理プログラムを内蔵しており、入力画像「img1」から選択された課題の正解画像「img3」を生成し、「img1」に代えて表示する。また、正解画像「img3」と出力画像「img2」をピクセル単位で比較し、両者に差異がない場合は「合格」と判定する。一方、両者が異なる場合は「不合格」と判定して、出力画像の誤り箇所を示した添削画像「img4」を生成し、「img2」に代えて表示する。合否判定の結果はテスト・ボタンの色で示され、黄色のテスト・ボタンが「合格」の場合は緑色、「不合格」の場合は赤色に変化する。

### 3 表情アニメーション

#### 3.1 顔画像の作成

ロボット TA の表情アニメーションで使用する顔画像は、市販の CG ソフトウェア (Poser8) [11] を使用し、学部 4 年生が卒業研究の一環として制作した。はじめに、オリジナルのキャラクタを作成した後、その 6 基本表情 [2] (驚き、恐怖、嫌悪、怒り、喜び、悲しみ) と無表情、および、それらの顔画像を補間する数十枚の顔画像を準備した。また、6 基本表情の顔画像の作成では、怒っている顔は「目尻



図 5: 不安のループ型ショット「Worry」



図 6: 喜びのフロー型ショット「Happy」



図 7: 悲しみのフロー型ショット「Sad」

が上がる」など、AU (Action Unit) [2] を用いて規定された感情表現の特徴を反映させた。ただし、ロボット TA の表情アニメーションは写実的である必要はないため、表情の判別が容易となるように顔画像にはデフォルメを加えた。さらに、喜びの表情の背景は暖色系とするなど、顔画像の背景色も感情に合わせてツールのカラーパレットから選択した。

#### 3.2 シナリオの設計

著者らは、時間オートマトンを用いたフェースディスプレイの設計手法 [12] を提案しており、ロボット TA の表情アニメーションの開発においても、その設計手法を採用した。通常のオートマトンは外部からシグナルを受信することで状態が遷移する。一方、時間オートマトン [13] ではシグナルに加えて時間の経過によっても状態が遷移する。ただし、本稿では時間オートマトンの詳細は割愛し、図 3 の状態遷移図に基づき、フェースディスプレイが実行する表情アニメーションと、そのシナリオを説明する。

図 3 の状態遷移図はフェースディスプレイの基本的な振る舞いを示している。表情アニメーションのシナリオは図 3 の状態遷移図によって決められる。まず、図 3 の各状態 (一重丸と二重丸) は、表情アニメーションのシナリオを設計する際の基本単位となる「ショット」である。ショットとは複数の顔画像の全順序集合である。フェースディスプレイが各ショットに含まれる顔画像を順番に表示することで、表情アニメーションが実行される。ショットの内容はシナリオの設計者に委ねられるが、フロー型とループ型に大別される。図 3 の状態遷移図では一重丸がフロー型ショット、二重丸がループ型ショットである。フロー型ショットの場合、フェースディスプレイが

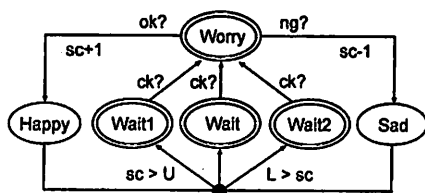


図 8: 拡張した状態遷移図



図 9: 上機嫌のループ型ショット「Wait1」



図 10: 不機嫌のループ型ショット「Wait2」

一連の顔画像を表示すると、そのショットの処理は終了する。一方、ループ型ショットの場合、フェースディスプレイはロボット TA からシグナルを受信するまで、一連の顔画像を繰り返し表示する。

ロボット TA が起動したとき、図 3 のフェースディスプレイは状態「Wait」にある。図 4 はロボット TA が学生の操作待ちのときに実行されるループ型ショット「Wait」の一部である。「Wait」は無表情であるが、目を閉じた顔画像と開いた顔画像を交互に表示して瞬きさせている。これにより、無表情の不気味さが解消され、ロボット TA が正常に動作していることも確認できる。ここで、入出力画像を読み込んだロボット TA のテスト・ボタンが押されると、ロボット TA はシグナル「ck」を発信する。フェースディスプレイはそのシグナル「ck」を受信し、図 3 の状態遷移図において、状態が「Wait」から不安な表情のループ型ショットである「Worry」に遷移する。図 5 にループ型ショット「Worry」の一部を示す。次に、ロボット TA が合格と判定してシグナル「ok」を発信すると、図 3 の状態は「Worry」から「Happy」に遷移し、喜びのフロー型ショット「Happy」を実行した後、初期状態の「Wait」に戻る。図 6 にフロー型ショット「Happy」の一部を示す。一方、ロボット TA が不合格と判定してシグナル「ng」を発信すると、図 3 の状態は「Worry」から「Sad」に遷移し、悲しみのフロー型ショット「Sad」を実行した後、初期状態の「Wait」に戻る。図 7 にフロー型ショット「Sad」の一部を示す。後述するようにロボット TA は複数存在し、不合格の場合、悲しみに代えて怒りの表情のフロー型ショットとするものもある。



ステージ A      ステージ B      ステージ C

図 11: 各ステージのキャラクタ



図 12: 各ステージの合格証

### 3.3 シナリオの拡張

前節で述べた基本的な振る舞いに加えて、学生をロボット TA に飽きさせないための工夫として、表情アニメーションには TV ゲームの技法 [10] を導入した。すなわち、TV ゲームで使用されている「はまる演出」の 1 つの段階的な目標設定である。

まず、学生にとっての大目標は各ロボット TA が判定する全プログラム課題に合格することである。また、学生にとっての小目標は各プログラム課題に合格することである。ここで、学生を飽きさせないための工夫として、新たに中目標を導入し、TV ゲームで広く使われているスコアとレベルを中目標として採用した。すなわち、学生が 1 問合格するごとにスコア 1 点を加算し、スコアが所定の上限 U に達すると上位のレベルに昇格する。逆に、1 問不合格となるごとにスコア 1 点を減算し、スコアが所定の下限 L に達すると下位のレベルに降格する。ただし、表情アニメーションによる情報伝達に主眼を置くため、学生に対してはスコアの値を明示せず、現在のレベルのみを表情の違いとして学生に示した。

拡張した表情アニメーションのシナリオを図 8 に示す。図 8 の状態遷移図では、図 5 における学生の操作待ちの状態「Wait」が 3 つの状態「Wait1」、「Wait」、「Wait2」に分けられており、それぞれ上位、中位、下位のレベルに対応している。上位レベルの「Wait1」は図 9 のような機嫌の良い表情のループ型ショットであり、下位レベルの「Wait2」は図 10 のような不機嫌な表情のループ型ショットである。図 8 の状態遷移図の初期状態は図 5 と同じ「Wait」であり、ロボット TA の判定結果によりスコア (sc) が増減し、状態「Happy」や「Sad」からの遷移先が無表情の「Wait」から「Wait1」や「Wait2」に変わる。

次に、TV ゲームの段階的な目標設定を更に追求し、新たにステージという概念を導入する。今期のプログラム課題は全部で 44 問であるが、最初から 29 問のプログラム課題を表情アニメーション付きロボット TA により合否判定した。また、29 問のプログラム課題は出題順に 3 つのグループに分け、各グループごとにロボット TA を準備した。ここで、3 つ

のプログラム課題のグループをステージと考え、各ステージのプログラム課題を判定するロボットTA毎に異なるキャラクタを採用した。各ロボットTAのキャラクタを図11に示す。学生が取り組むステージはA、B、Cの順に進み、課題の内容はより高度なものとなる。このため、キャラクタAは軽い学生、Bは賢い留学生、Cは教員風とした。キャラクタの違いは表情の違いよりも印象が強いため、学生は自らの学習の進捗状況をより強く認識できる。

学生がステージのプログラム課題に全問正解すると、ロボットTAは図12のような合格証を発行する。合格証は画像ファイルとして学生に与えられ、学生ごとに異なる番号が記載されている。合格証を受け取ることで、学生はステージを終了することに達成感を味わうことができる。また、学生が合格証を本科目のサーバにアップロードすることで、教員はそれぞれのステージを終了した学生を把握できる。

## 4 アンケート調査

### 4.1 アンケートの実施方法

前述の3種類の表情アニメーション付きロボットTAを使用した実習は5週で終了した。表情アニメーションの教育効果を検証するため、本科目の全受講者97名(内女子16名)を対象にアンケート調査を実施した。調査の時期は6週目の授業開始時であり、ロボットTAの改良が調査の目的であることを受講者に伝えた後に、アンケート用紙を配布して記入を求めた。おもな質問項目は以下の通りである。

- (a) 表情アニメーションがあることで、ロボットTAによる可否判定の結果がよく分かった。
- (b) 表情アニメーションがあることで、プログラム課題に取り組む意欲が向上した。
- (c) 表情アニメーションがあることで、プログラム課題に楽しく取り組むことができた。
- (d) キャラクタに親近感を持てた。
- (e) ロボットTAは操作しやすかった。
- (f) プログラム課題の内容に興味を持てた。

上記の質問項目に対しては、5つの選択肢(1. 非常にそう思う, 2. そう思う, 3. どちらでもない, 4. そう思わない, 5. 全くそう思わない)の中から1つだけ選んで答える単数回答とした。また、調査票にはロボットTAに関する自由記述欄も用意した。

### 4.2 アンケート結果と解析

質問項目(a)~(f)に対するアンケート結果を表1に示す。表1の数値は学生数で括弧内は内女子数である。全般的に女子の評価が高い。表1の項目(a)~(c)

表 1: 質問項目 (a)~(f) に対する集計結果

| 選択肢 | 1    | 2      | 3     | 4     | 5     |
|-----|------|--------|-------|-------|-------|
| (a) | 2(1) | 15(6)  | 30(2) | 30(5) | 20(2) |
| (b) | 2(0) | 8(5)   | 19(2) | 38(7) | 30(2) |
| (c) | 3(1) | 10(4)  | 25(4) | 30(5) | 29(2) |
| (d) | 2(1) | 7(3)   | 21(4) | 35(4) | 32(4) |
| (e) | 7(2) | 40(10) | 25(4) | 23(0) | 2(0)  |
| (f) | 1(0) | 32(8)  | 34(4) | 20(0) | 10(2) |

表 2: 質問項目 (c) と (f) のクロス集計表

| (c)/(d) | (d)-1 | (d)-2 | (d)-3 | (d)-4 | (d)-5 | 総計 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| (c)-1   | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 3  |
| (c)-2   | 0     | 4     | 3     | 1     | 2     | 10 |
| (c)-3   | 0     | 1     | 18    | 16    | 0     | 25 |
| (c)-4   | 0     | 0     | 0     | 24    | 6     | 30 |
| (c)-5   | 1     | 1     | 0     | 3     | 24    | 29 |
| 総計      | 2     | 7     | 21    | 35    | 32    | 97 |

表 3: 質問項目 (a)~(c) と (d)(f) の相関係数

| $\gamma$ | (a)    | (b)   | (c)   |
|----------|--------|-------|-------|
| (d)      | 0.594  | 0.622 | 0.657 |
| (f)      | -0.041 | 0.151 | 0.119 |

から、表情アニメーションに期待したような教育効果を感じた学生は少ない。また、項目(d)から、ロボットTAのキャラクタは不評であった。一方、項目(e)から、ゲームニクスを意識してシンプルに設計したロボットTAの操作性は概ね好評であった。

表1のアンケート結果から、表情アニメーションに教育効果が認められなかった要因の1つとして、ロボットTAのキャラクタの悪さが考えられる。そこで、項目(a)~(c)と項目(d)の関係を調べた。

まず、項目(c)と(d)のクロス集計表を表2に示す。表2から、キャラクタに親近感を持っていない人は、表情アニメーションを楽しく感じないように見える。紙面の制約から、項目(a)(b)と(d)のクロス集計表は省略するが、同様の傾向が見られた。そこで、項目(a)~(c)と項目(d)の相関係数 $\gamma$ を表3の上段に示す。相関係数のt検定において有意水準 $\alpha = 0.01$ の相関係数は $\gamma_\alpha = 0.260$ であり、表3のすべての相関係数が $\gamma > \gamma_\alpha$ であるため、表情アニメーションの教育効果に対する評価の低さは、キャラクタに対する親近感の低さと危険率1%で相関がある。

表1の項目(f)から、プログラム課題の内容に興味を持った学生と、そうでない学生数はほぼ等しい。ここで、項目(a)~(c)と(f)の相関係数 $\gamma$ を表3の下段に示す。すべての相関係数が $\gamma < \gamma_\alpha$ であり、表情アニメーションの教育効果は確認できない。

### 4.3 自由記述と考察

自由記述欄に書かれた表情アニメーションに関する代表的な意見を以下に示す。表1のアンケート結果を裏付けるように、表情アニメーションに否定的な意見が散見されるが、幾つかの要望もあった。

- 顔が怖い、不気味である。(15名)

- 合格か不合格か顔から分からない。(11名)
- 顔が好きでない。(3名)
- 顔がリアルすぎる。(3名)
- アニメの顔にして欲しい。(3名)
- 可愛くして欲しい。(2名)
- 表情アニメーションは不要である。(3名)
- 笑顔になる時間が短かすぎる。(1名)

今回の調査では、表情アニメーションの教育効果は認められなかった。集計データと自由記述から、その1つの要因はキャラクタにある。顔が怖いという意見については、専用のソフトウェア [11] を使用して3Dのキャラクタを作成したため、人間に近づきすぎて「不気味の谷」<sup>1</sup>に落ちた可能性もある。今後、2Dのアニメ・キャラクタなども試してみる必要がある。その他、以下のような理由も推測できる。

1) ロボットTAを利用する上で、キャラクタの顔を注視する必要がない。2) ロボットTAによる各プログラムの合否判定に要する時間が1分程度と短い。3) 微妙な表情の判読が難しい。4) 不合格の学生を厳しい顔で叱ることが、逆に学生の学習意欲を減退させた。5) スコアやレベルを表情のみで示したため、それらが学生に理解されなかった。6) スコアの上昇による学生の利益が不気味な笑顔だけで、学習意欲の向上に繋がらなかった。7) 学習の進捗状況を自覚させる上で、表情という間接的な表現は曖昧で適切でなかった。8) ショットの種類が少なく、シナリオも単純であったため、学生が飽きてしまった。

また、表情アニメーションに関するアンケート調査の不備もある。今回のアンケートでは、TVゲームの技法を導入した効果を調べる質問が欠けていた。また、日程等の制約から、ロボットTAに表情アニメーションがない場合との比較もできなかった。

## 5 おわりに

学生の学習意欲の向上を目的として、教育支援システム(ロボットTA)に表情アニメーションを付けた。しかし、アンケート調査から、表情アニメーションに期待した教育効果は確認できなかった。

今回の表情アニメーションは、ロボットTAで合格した学生を笑顔で褒め、不合格の学生を厳しい顔で叱るだけであった。しかし、合格した学生はそのことで十分に報われ、不合格であった学生はそのことで十分に責められている。したがって、表情アニメーションは冗長であり、学生にとって意味がなかったのかもしれない。今後の表情アニメーションの改善点としては、不合格となった学生を慰め、励まし、やる気を起こさせる仕組みを取り入れることである。

<sup>1</sup> ロボットの外観や動作がより人間らしくなるにつれ、人間はロボットにより好感を持つが、ある時点で突然強い嫌悪感に変わること。不気味の谷の概念はCGキャラクタにも適用される。

ただし、その様なメッセージを伝えようとすると、表情のみでは表現力が不足する。表情に手振りなども加えたキャラクタの仕草について検討したい。

謝辞：表情アニメーションの顔画像を制作した近畿大学理工学部情報学科4年生の吉川侑里、梶山徹、谷口博紀の諸氏に感謝します。また、貴重な助言を賜りました査読者の皆様に深謝いたします。

## 参考文献

- [1] 馬場章太, 長尾憲暁, 中西透, 船曳信生: WEBによる教育支援システム"NOBASU"での課題プログラムの評価. 情報処理学会研究報告, DSP-127, No. 5, pp. 25-30 (2006).
- [2] P. エクマン, W. V. フリーセン (工藤力 訳編): 表情分析入門. 誠信書房 (1987).
- [3] 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).
- [4] 長谷川修, 森島繁生, 金子 正秀: 「顔」の情報処理. 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J80-D-II, No. 8, pp. 2047-2065 (1997).
- [5] H. Chernoff: The use of faces to represent points in  $k$ -dimensional space graphically. Journal of the American Statistical Association, Vol. 68, No. 342, pp. 361-368 (1973).
- [6] 野口典正, 安居院猛, 中島 正之: 表情アニメーションによる多変量データ表示システム. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J70-D, No. 11, pp. 2177-2181 (1987).
- [7] 湯浅将英, 安村禎明, 新田克己: 交渉における擬人化エージェントの表情戦略. 情報処理学会研究報告, ICS-134, No. 8, pp. 55-60 (2003).
- [8] 児玉哲彦, 安村通晃: 表情の表現を含む手話アニメーションの試作. 情報処理学会研究報告, HI-103, No. 4, pp. 23-29 (2003).
- [9] 田川聖治: 画像処理プログラミング教育のためのロボットTAの開発. 情報処理学会第74回全国大会, 2G-3 (2012).
- [10] サイトウアキヒロ: ゲームニクスとは何か. 幻冬舎新書 (2007).
- [11] <http://poser.smithmicro.com/>
- [12] 田川聖治, 高橋佑輔, 加藤暢: 時間オートマトンによるフェースディスプレイの上位設計と形式的検証. 情報処理学会論文誌, 数理モデル化と応用, Vol. 3, No. 3, pp. 44-53 (2010).
- [13] R. Alur and D. L. Dill: A theory of timed automata. Journal of Theoretical Computer Science, Vol. 126, No. 2, pp. 183-235 (1994).