表情が変化する着ぐるみ頭部システム

Cartoon-Character Costume Head with Emotional Facial Expressions

岡 芳樹[†], 正会員 山本正信^{††}Yoshiki Oka[†] and Masanobu Yamamoto^{††}

Abstract At a theme park or entertainment show, actors wearing a cartoon-character costumes entertain guests. Unfortunately, existing cartoon-character costumes have heads with a fixed facial expression. We propose a novel cartoon-character costume where the head is equipped with a web camera inside and display panel outside. When an actor wears the head, the web camera captures the face of the actor. Based on the pattern classification technique, the facial expression is classified into one of five categories of emotion: anger, joy, sadness, surprise and neutrality. For each category, a corresponding facial image is chosen from a bank of facial images of cartoon characters. The chosen image is depicted on the display panel as the face in real time. The new costume head enables the actor to communicate with audiences interactively and play the other characters immediately by changing the facial image bank.

キーワード：着ぐるみ, 表情認識, 画像処理, インタラクションシステム

1. ま え が き

テーマパークやイベントショーでは、様々な着ぐるみが使用されているが、改良によりさらなる可能性を秘めている。本研究は、着ぐるみ自身が抱く感情の表現方法に着目する。着ぐるみの多くは、自らの抱く感情の表現を身振り・手振りによる身体的動作で行わなければならない。そのため、着ぐるみによる動作を体得するには、多くの労力と負担が掛かってしまう。さらに、着ぐるみの容姿は固定されており、1体1キャラクタしか演じられない。演劇やイベントで複数のキャラクタが必要になると必要なキャラクタ分の着ぐるみを用意しなければならない。増えたキャラクタ分の演者の確保、必要な着ぐるみの用意とさらに労力が掛かってしまう。

これらの問題を解決する為に、本研究では表情豊かな着ぐるみを開発する。着ぐるみを着ている演者の表情を着ぐるみの顔の表情に変換するシステムを提案する。このシステムは、着ぐるみの顔自体を切り替え、1体の着ぐるみで

複数の種類の表情豊かな着ぐるみが演じられる。

関連研究として、石黒ら¹⁾、梶田ら²⁾や高西ら³⁾のヒューマノイドロボット研究、またはGarner Holt Productions⁴⁾やSALLY CORPORATION⁵⁾のアニメトロニクス技術がある。表情や言語能力を持つヒューマノイドロボット、映画やテーマパークアトラクションで用いられるアニメトロニクスは、容姿、能力共に人間に近い存在になっている。しかし、それらは離れた位置からの制御やプログラムによって動作する。そのため、人が媒体となって動作している着ぐるみとは異なり、人とのコミュニケーションは間接的になってしまう。

一方、串山ら⁶⁾は、着ぐるみの容姿を維持したまま、瞬きや口の開閉を行える着ぐるみを提案している。しかし、着ぐるみの容姿が固定されているので、1体で複数のキャラクタを演じることはできない。

提案する着ぐるみ頭部システムは、着ぐるみを着ている演者のみから操作され、観客との直接的なコミュニケーションを実現する。製作する着ぐるみ頭部システムの構成は、単純な構成とする。これは、演者が熟練者や初心者の誰であっても、着ぐるみ頭部システムの着用や使用に労力を掛けないようにするためである。そして、着ぐるみの表情にはキャラクタ画像を用いる。着ぐるみの表情をロボットやギミックを使用した写実的な表現より、マンガやアニメに使用されるデフォルメが含まれる表現で着ぐるみの表情を作成する。さらに、着ぐるみの表情として表示するキャラクタ顔を複数のキャラクタ分用意し、着ぐるみを着替えずとも複数のキャラクタを演じられるようにする。これに

2011年12月, SIGGRAPH ASIA 2011 Posters で発表

2012年3月, 電子情報通信学会総合大会で発表

2013年6月28日受付, 2013年9月27日再受付,

2013年10月28日採録

[†]新潟大学 大学院 自然科学研究科

〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町 8050 番地, TEL 025-262-7387)

^{††}新潟大学 工学部

(〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町 8050 番地, TEL 025-262-6709)

[†]Graduate School of Science and Technology, Niigata University
(8050, Ikarashi 2-no-cho, Nishi-ku, Niigata 950-2181, Japan)^{††}Faculty of Engineering, Niigata University

(8050, Ikarashi 2-no-cho, Nishi-ku, Niigata 950-2181, Japan)

より、用意しなければならない着ぐるみの数を必要となるキャラクタ分の着ぐるみから、同時に舞台上で演技する着ぐるみの最大数分までに削減できる。また、キャラクタ顔の切り替えを舞台上で行えば一人芝居も可能となる。

本論文は、第2章で着ぐるみ頭部システムの構成について述べる。第3章では、着ぐるみの表情表示システムについて述べる。第4章では、着ぐるみ頭部システムの動作実験し、結果及び評価を示し、第5章で本論文をまとめる。

2. 着ぐるみ頭部システム

着ぐるみの容姿は、架空の人間、擬人化による生物や製品が表現されている。本研究は、表情豊かな着ぐるみの開発を目的としているので、着ぐるみの容姿の中でも着ぐるみの顔のみを開発対象にする。しかし、着ぐるみとして表現するには、頭部だけでなく外見や衣装を含めた開発が今後必要である。着ぐるみに表情を与える方法として、着ぐるみの顔部分をディスプレイに置き換え、キャラクタ画像を着ぐるみの表情としてディスプレイ上に表示する方法をとる。ディスプレイの使用は、着ぐるみとしての容姿や立体的な顔の表現を損なうが、キャラクタ画像の表示、他の機器との互換性や使用者の利便性を考慮すると、適していると考えられる。さらに、着ぐるみの表情を豊かにするためには、多様な表情のキャラクタ画像に切り替える必要がある。そこで、キャラクタの表情画像の切り替えは、着ぐるみを着ている演者の顔表情を利用する。着ぐるみを着ている演者が顔パーツを動かし、作られた様々な表情を認識し、分類して対応するキャラクタの表情画像へ切り替えるシステムを開発する。

着ぐるみの多くは、架空の人間、擬人化による生物や製品になりきるために、着ぐるみを着ている演者の容姿は隠されている。特に、演者の顔部分は着ぐるみの頭部に覆われているだけで、身体のように着ぐるみ衣装に覆われて、かつ動作を行うのではないので、他の身体部位より制約が少ない。さらに、表情は日常生活でも使用されているので、特別な訓練の必要なく使用できる。そして、演者の表情を使用するので、観客とのコミュニケーションを行う時に、演者自身の表情によって着ぐるみの表情が操作可能になり、円滑なコミュニケーションを運べるようになる。

以上の観点から、本研究は着ぐるみの表情となるキャラクタの表情画像を表示・切り替えるシステムを実現させるために必要な機器が搭載された着ぐるみ頭部を製作した⁷⁾。製作した着ぐるみ頭部を着用した様子を図1に示し、詳細は以下で述べる。

2.1 着ぐるみ頭部の製作

プラスチック製の箱を頭部の土台とし、着ぐるみの表情となるキャラクタの表情画像を表示する表示用ディスプレイを箱前面に載せる。箱内部には、確認用ディスプレイ、演者の表情を撮影する内部 Web カメラおよび演者の顔を照らす LED 照明を載せる。確認用ディスプレイと着ぐるみ

図1 着ぐるみ頭部の着用
Wearing cartoon-character costume head.

図2 着ぐるみ頭部の構成図
Structure chart of cartoon character costume head.

頭部上段に搭載されている外部 Web カメラは、「目」の役割を果たし、これを利用して演者は外の様子を確認できるようになる。着ぐるみ頭部システムの視野は、確認用ディスプレイの大きさと外部 Web カメラの解像度に依存するが、覗き穴のみでしか外の様子を確認できない従来の着ぐるみよりは、広域で詳細な視野が手に入る。これらの機器は、USB ケーブルを介して処理用パソコン (Intel core i7 870, RAM 3.2GB, WindowsXP) に接続されている。この処理用パソコンは、演者の表情を撮影、表情認識を行い、対応するキャラクタの表情画像を表示する処理を繰り返す。確認用ディスプレイと外部 Web カメラは、計算負荷を分散するために処理用パソコンとは別の確認用パソコンに接続されている。

現在、製作された着ぐるみ頭部は 4kg と非常に重いため、登山用キャリアを使用して重量による演者への負担を分散、着ぐるみ頭部のバランス調節を行っている。これにより、従来の演者の頭首のみで頭部支える着ぐるみより、製作した着ぐるみ頭部の方が身体バランスを安全に保てるようになる。最後に、搭載した機器と着ぐるみ頭部の構成を図2に示す。

2.2 着ぐるみ頭部の外・内装

演者の表情を認識し、分類して対応するキャラクタの表

図 3 製作した着ぐるみ頭部の外観
Appearance of cartoon-character costume head.

情画像を着ぐるみの表情として表示するが、表情認識において照明条件により認識率が左右されてしまう。着ぐるみの活動場所は、屋外、照明機器が多数有るステージ上と周囲の明るさが変動しやすい環境である。

製作した着ぐるみ頭部の全体を自動車用の遮光フィルムで覆う。600lxの室内で箱内部の明るさを測定したところ、遮光フィルムなしの箱内部の明るさは35lx、遮光フィルム有りの箱内部の明るさは5lx以下であった。さらに、1,000lxの照明を箱へ当てたところ、遮光フィルムなしの箱内部の明るさは45lx、遮光フィルム有りの箱内部の明るさは5lx以下に留まった。これにより、遮光フィルムを用いることで照明の影響が軽減可能と判断される。

さらに、箱の内側には緑色の模造紙を貼り付け、グリーンバックとし、演者の表情をWebカメラで撮影する時に、カラーバランスの問題が発生しないようにした。完成した着ぐるみ頭部の外観を図3に、内部を図4に示す。図4内の中央に設置してあるのが内部Webカメラ、内部カメラの後方には確認用ディスプレイがあり、前方の映像が表示されている。上方には、演者の顔を一定の明るさで照らすLED照明が設置されている。

3. 着ぐるみの表情表示システム

第2章で製作した着ぐるみ頭部の前面にある表示用ディスプレイに、着ぐるみを着ている演者の表情を認識し、対応するキャラクタの表情画像を着ぐるみの表情として表示する手法を開発した。手法の流れは以下の(1)-(6)になる。

- (1) 内部Webカメラから演者の表情を撮影
- (2) faceAPI⁹⁾による特徴点検出
- (3) 特徴点の位置、変化量を測定
- (4) 測定されたデータから閾値処理により表情の分類

図 4 製作した着ぐるみ頭部の内部
The inside of the cartoon-character costume head.

図 5 faceAPI で検出した特徴点
Feature points detected by faceAPI.

- (5) 分類結果より対応するキャラクタの表情画像を表示
- (6) (1)の処理へ戻り、処理の繰り返しへ

処理(1)-(2)では、内部Webカメラで撮影された演者の顔画像から、Seeing Machines社のfaceAPIを用いて演者の目、眉、口、鼻を特徴点で検出する。faceAPIを使用して検出した特徴点を図5に示す。図5内の点は検出された特徴点を示し、眉上の線分は眉の形状を、口上の線分は、唇の領域を示している。処理(3)-(5)では、検出した特徴点の位置や変化を測定し、あらかじめ設定しておいた閾値と比較して表情の分類を行う。閾値は、演者の表情から検出した特徴点のデータによって設定でき、表示したいキャラクタ画像と対応付けさせたい演者の表情も自由に設定できる。今回は、Ekman⁹⁾のFACS (Facial Action Coding System) から、分類する表情を、喜び、怒り、悲しみ、驚きおよび無表情の5つとし、演者は以下に示す判定基準を満たすように顔の動作を行うと、その表情が5つのいずれかに分類される。図6に判定基準を満たす演者の表情と対応したキャラクタの表情画像の例を示す。

- 喜び→口の両端を持ち上げ、上唇を平行にする
唇両端と上唇中心の高さの差の合計 $\leq$ 喜びの閾値
- 怒り→眉間にしわを寄せ、外側の眉両方を上げる

図 6 演者の表情と対応するキャラクターの表情画像の例 (上から喜び、怒り、悲しみ、驚き、無表情)

Example : Actors facial expression and corresponding character image. (From above: Joy, Anger, Sadness, Surprise, Neutral faces)

各眉の眉間側と外側の高さの差の合計 $\geq$ 怒りの閾値

- 悲しみ→眉間にしわを寄せ、眉間側の眉両方を上げる

各眉の外側と眉間側の高さの差の合計 $\geq$ 悲しみの閾値

- 驚き→眉全体を持ち上げ、目を見開く

各眉の中心と各目の上端の幅の合計 $\geq$ 驚きの閾値

- 無表情→顔パーツを動かさず、しわも作らない

他の表情の判定基準にすべて当てはまらない

表情認識手法として、主成分分析¹⁰⁾やニューラルネットワーク¹¹⁾など様々な手法があるが、今回我々は特徴点の座標値を設定した閾値で表情の分類を行う手法を選択した。これは、処理時間を短縮するとともに、図5に示したように、顔画像上に検出した特徴点が表示でき、演者を変更しても、直感で閾値の確認と修正ができる利点があるからである。

表示するキャラクターの表情画像を多様にするために、演者の瞬きと口の開閉も認識、分類に含め 表情 5 種類 × 瞬き 4 種類 × 口の開閉 2 種類の全 40 種類に分類する。分類

図 7 キャラクター画像 (左上：かかし、右上：ドロシー、左下：ブリキの木こり、右下：臆病なライオン)

The character image. (Upper left: Scarecrow, Upper right: Dorothy, Lower left: Tin Woodman, Lower right: Cowardly Lion)

された表情に対応するキャラクターの表情画像は、あらかじめ用意されており、演者の表情を認識後、即座にキャラクターの表情画像をディスプレイへ表示する。図9にキャラクターの表情画像一覧を示す。

処理(6)で、処理の繰り返しに入り、演者の表情の撮影、特徴点検出、表情の分類、対応するキャラクターの表情画像の表示の処理を続け、途中で演者が表情を変化させると着ぐるみの表情であるキャラクターの表情画像が変化して表示されるシステムとなる。

付加機能として、複数の種類のキャラクター用意しておき、入力デバイスで表示したいキャラクターを選択すれば、1体の着ぐるみで複数の種類のキャラクターを演じられるシステムとなる。今回の実験用に用意したキャラクター画像の一部を図7に示す。図7のキャラクターは、ライアン・フランク・ボーム著の「オズの魔法使い」に登場する、かかし、ドロシー、ブリキの木こりおよび臆病なライオンを表現している。入力デバイスはテンキーを用い、演者は片手でキャラクターの切り替えを行う。

4. 実験・評価

製作した着ぐるみ頭部を着てシステムの稼動実験を行った。稼動実験中の演者の表情とキャラクターの表情画像の1コマを図8に示す。図8の右側は、今回製作した着ぐるみを着ている演者であり、左側に演者の表情が表示されている。着ぐるみの演技をビデオ撮影し、着ぐるみ頭部システムの動作や処理速度、認識率の評価を行った。ビデオ映像は付録を参照(ファイル名: Y_001.mp4)。

着ぐるみの表情表示システムの評価は、演者の表情と認識により表示されたキャラクターの表情との整合性を複数回の試行により判断する。試行結果と認識率を表1に示す。表1の行は演者の表情で、列は実際に表示されたキャラクター画像の表情である。表情の分類に使用している要素数から考慮すると高い認識率を示していると言える。

図 8 稼動実験
Operation experiment.

表 1 試行結果と認識率
Trial result and recognition rate.

	総数	喜び	怒り	悲しみ	驚き	無表情	認識率
喜び	35	31	0	3	0	1	88.6
怒り	22	0	22	0	0	0	100
悲しみ	27	2	0	23	1	1	85.2
驚き	21	0	1	0	19	1	90.5
無表情	17	0	1	0	1	15	88.2

図 9 には、キャラクタの表情画像一覧を示し、図 10 に一覧表と対応させて表示したキャラクタの表情画像の遷移図を示す．なお、図 9 のキャラクタの表情画像は左から喜び、怒り、悲しみ、驚き、無表情の順で並べてある．図 10 は、表 1 で取得された試行結果とは異なる結果から作成されており、演者は意図的に喜びの表情を作っていない．

演者の表情を認識してから対応するキャラクタの表情画像が表示されるまで平均 67ms 要した．この程度の遅れであれば、着ぐるみが観客との対話内容に違和感なく表情変化行われると考えられる．

さらに、製作した着ぐるみを使用して、表情の有無による印象を比較、評価した．着ぐるみに 1 枚のキャラクタ画像を表示しながら芝居を行うビデオと、演者の表情認識を行いキャラクタの表情画像が変化しながら表示される芝居を行うビデオを大学生 256 名に見せ、どちらの着ぐるみに好感を持てるか回答してもらった．なお、演者は同一人物、セリフは同一にし、BGM 等の音響効果はビデオ内に含めていない．ビデオ映像は付録を参照 (ファイル名：Y_002.mp4 Y_003.mp4)．

その結果、表情が変化する着ぐるみが良いと回答した者が 167 名、表情が変化しない着ぐるみが良いと回答した者が 89 名であった．これから、「着ぐるみの表情の有無は与える印象へ影響がない」という仮説を有意差検定で棄却する¹²⁾．仮説より、着ぐるみに表情が有る方が好感を持たれる割合を $p_0 = 0.5$ とする．母集団の総数は $n = 256$ ，そのうち、着ぐるみに表情が有る方に好感を持った学生の割合は、 $p = 0.65$ である．有意水準を 5 % とすると、

図 9 キャラクタの表情画像一覧
List of facial expressions image of the character.

図 10 表示されたキャラクタの表情画像の遷移図
Transition diagram of represented facial expression image of the character.

$$\frac{np - np_0}{\sqrt{np_0(1 - p_0)}} = 5.74 > 1.96$$

となるので、仮説は棄却される．よって、観客の半数以上は着ぐるみに表情が有る方が好感を持つと考えられる．

さらに、製作した着ぐるみでコミュニケーション実験を行った．着ぐるみと観客が 1 対 1 のじゃんけんを行い、着ぐるみを着ている演者がじゃんけんの勝ち負けに反応できるかを実験した．観客とのじゃんけん勝負を図 11 に示す．図 11 内の手前側にある手は着ぐるみの対戦相手の手である．ビデオ映像は付録を参照 (ファイル名：Y_004.mp4)．

図 11 観客とのじゃんけん勝負
Rock-paper-scissors game with guest.

図 12 キャラクター切り替え実験
Character switching experiment.

着ぐるみ側は勝った時は喜び、負けた時は悲しみ、あいこの時は驚きの表情を瞬時に示し、じゃんけんは成立したと言える。

最後に、表示するキャラクターの表情画像を複数の種類のキャラクター用意し、キャラクターの切り替え実験を行った。キャラクター切り替え実験の様子を図 12 に示す。演者は入力デバイスとなるテンキーを右手に持ち、表情を維持したままキー入力を行った。すると、図 12 内の左から右へのように表示されているキャラクターの表情画像が種類の異なるキャラクターの表情画像へ切り替わった、しかし、演者の表情は変化していないので、分類されている表情は保持されている。ビデオ映像は付録を参照（ファイル名：Y_005.mp4）。

5. むすび

本論文では、着ぐるみ頭部に機器を搭載し、演者自身が自由に着ぐるみの表情を変化させるシステムを提案した。着ぐるみの表情表示システムの動作速度の計測、認識率の算出、製作した着ぐるみ頭部システムの印象を評価し、有効性を示した。また、観客とのじゃんけん勝負を行い、着ぐるみ頭部システムを通してのコミュニケーションが成立した。さらに、今まで 1 体 1 キャラクターであった着ぐるみを 1 体で複数の種類のキャラクターを扱えるようにした。

今後は、着ぐるみ頭部の開発のみではなく、着ぐるみ全体を含めた開発・改良を行いたい。着ぐるみのキャラクターや表情の切り替えだけでなく、衣装を含めた切り替えシステ

ムについても考えていく。さらに、実地に赴き、実際に人と触れ合い、評価を受けてみたい。そして、今回は取り入れていなかったキャラクターの表情画像のスムーズな切り替え¹³⁾を取り入れ、さらなる着ぐるみの可能性を見出したい。

〔文 献〕

- 1) 塩見昌裕, 坂本大介, 神田崇行, 石井カルロス寿憲, 石黒浩, 萩田紀博: “半自律型コミュニケーションロボットの開発”, 信学論, **J92-A**, 11, pp. 773-783 (2009)
- 2) 梶田秀司, 中野倫靖, 後藤真孝, 松坂要佐, 中岡慎一郎, 横井一仁: “ヒューマノイドロボットの自然な歌唱動作生成”, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2011AC1J3-2 (2011)
- 3) 三輪洋靖, 高信英明, 高西淳夫: “人間との情緒的コミュニケーションを目的とした人間形頭部ロボットの開発 (第 1 報, 表情表出機構と視覚系を構築)”, 日本機械学論, C 編 68(675), 3355-3360 (2002)
- 4) Garner Holt Productions: <http://www.garnerholt.com/ghp-inc/products-services/animatronics.aspx>
- 5) SALLY CORPORATION: <http://sallycorp.com/animatronics/life-like/>
- 6) Rika Shoji, Toshiki Yoshiike, Yuka Kikukawa, Tadahiro Nishikawa, Taigetsu Saori, Suketomo Ayaka, Tetsuaki Baba, Kumiko Kushiya: “mimicat: Face input interface supporting animatronics costume performer's facial expression”, SIGGRAPH 2012 Posters(2012)
- 7) Yoshiki Oka, Tomoaki Kida, Masanobu Yamamoto: “A Cartoon-Character Costume with Facial Expression”, SIGGRAPH ASIA 2011 Posters(2011)
- 8) Seeing Machines: “faceAPI”, <http://www.seeingmachines.com/product/faceapi/>
- 9) Paul Ekman: “The facial action coding system”, Consultation Psychologists Press (1978)
- 10) 赤松茂: “人による認知特性と整合した顔表情認識のための特徴表現法”, 信学技報, PRMU2002-205 pp. 25-32 (2003)
- 11) 渡部徹, 石原由一郎, 岸田悟, 徳高平蔵: “顔画像の表情認識問題における階層型ニューラルネットワークの適用”, 信学技報, NC97-8 pp. 57-62 (1997)
- 12) 和達三樹, 十河清: “キーポイント確率・統計”, 岩波書店 (2000)
- 13) 岡芳樹, 山本正信: “スムーズに表情が変化する着ぐるみシステムの開発”, 信学総大, Mar.21,2012 D-12-68 (2012)

〈付 録〉

A. 実験時の動画について

今回行われた実験の様子を以下のアドレスで示す。
<http://www.vision.ie.niigata-u.ac.jp/oka-yoshiki/>

おか よしき
岡 芳樹 2011 年, 近畿大学大学院システム工学研究科修士課程修了。現在, 新潟大学大学院自然科学研究科博士課程に在学中。バーチャルリアリティに関する研究に従事。

やまもと まさのぶ
山本 正信 1973 年, 九州工業大学工学部制御工学科卒業。1975 年, 東京工業大学大学院修士課程修了。同年, 電子技術総合研究所入所。現在, 新潟大学工学部情報工学科教授。コンピュータビジョン, コンピュータグラフィックス等の研究に従事。工学博士。正会員。