

ロボットにおけるアニメ顔キグルミデザインを適用した個性化の実現 Integration of anime facial (kigurumi) and robot, the realization of abiotic product characterization

吉岡 大輔[†] 地曳はるか[†] 山上 紘世[‡] 杉浦 一徳[†]
Yoshioka Taisuke Jibiki Haruka Yamagami Kousei Sugiura Kazunori

概要

本研究では、「手つなぎロボット MASIRO」 に対して、アニメ顔キグルミの技術を適用することで、工業製品であるロボットに対して、個性の付与を行いロボットの個性化に向けて取り組んだ。この研究では、ロボットを「ロボット部」と「個性表現部」の二つに分け、「ロボット部」では、主に MASIRO の動作や行動の制御を、「個性表現部」ではアニメ顔キグルミを用いて、主に外見面での表現を行った。この研究の結果、ロボットに新しいコミュニケーション(インタラクション)メディアとしてのロボットを生み出すことが可能となった。

1. 研究の背景

本研究では、豊橋技科大の「TUT ものづくりサークル」の山上紘世によって作成されている図 1 に示す「手つなぎロボット MASIRO」を例にして研究を行った。この研究の特徴は、大きく分けて 2 つに分けられる。

1 つ目に、**ロボットに特徴的な外見を付加することでそれぞれのロボットに対して個性を構築すること**。具体的には、ロボットに対して①顔 ②服装の二つを付加することによって、ロボットがその個性を表現できる仕組みを構築する。顔に関しては、アニメ顔キグルミを用いてロボット自身に個性の獲得させることで、ロボットの表現の幅を広げることが可能となる。このアニメ顔キグルミは、テレビや映画・ゲームのキャラクターなどを模したコスプレの一種である。1990 年代より、コスプレ文化の一般化と映画・特撮で使用されるキグルミの技術がインターネットの発達によって、一般にも共有されるようになったことで、キグルミを個人で楽しむという文化が発展した。キグルミプレイヤーが、キグルミコスプレを楽しむ目的は、キグルミを着用することで新しい個性を獲得すること。キグルミは、従来のコスプレと違い、顔を隠すことで「性別」「年齢」「身体的特徴」などを隠すことができる。こうした特徴から、キグルミは着用者に新しい個性を付与することができる。

2 つ目に、**MASIRO を主に「ロボット部」「個性表現部」の 2 つの部分に分けて構成する**。「ロボット部」に関してはロボットとしての機能と外面的個性を主に表現するため部分であり、「個性表現部」に関してはロボットの内面的な個性を表現するための機械で成り立っている。外面的な個性とは、体の動きなどの動作によって表現される個性で、内面的な個性とは服装や表情などで表現される、キャラクター付の個性である。

これまで、ロボットは工業製品として、その高性能・同一機能であることが重要視されてきた。インダストリアルデザインが発展する一方で、個別別の使用目的や使用環境まで考えられたインタラクションデザインの発展は、インダストリアルデザインと比べて遅れているのが現状である。



図 1 手つなぎロボット MASIRO



図 2 アニメ顔キグルミの例

[†] 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 Keio Univ. Graduate School of Media Design

[‡] 豊橋技術科学大学 Toyohashi University of Technology

2. 手繋ぎロボット「MASIRO」について

本研究で使用されるロボット MASIRO (Maid Apprentice Substantializing Ideal Robot) は、二次元の存在である美少女型メイドロボットを実現する事を目標に製作されているロボットである。その初号機としての本ロボットは、人と手を繋いだ状態で追従移動する散歩インタラクションの開発を目指して製作された。

ここではその構成と制御方法について述べる。図 3 に MASIRO の機体構成を示す。

2.1 機械構成

MASIRO の構成要素として、移動の為の対向差動二輪台車、手繋ぎ追従のためのセンシングを行う受動式の右腕、個性の表現の幅を広げる 5 軸能動式の左腕、追従対象を指向する 3 軸の頭部を持つ。台車より背骨となる角材が伸び、そこへ両腕および頭部が固定されている。

2.1.1 対向差動二輪走行台車

走行台車には中央に 12V7.2W の DC モーター 2 基と ϕ 150mm 駆動輪を備え、前後にキャスタ従輪を備える。駆動輪のトレッド幅は 450mm、従輪のホイールベースは 500mm となっている。

2.1.2 受動式右腕

右腕は人と手を繋ぐことで、追従対象との距離と方向をセンシングするのが主な役割である。関節として、肩のヨー軸、肩のピッチ角、肘のピッチ角の 3 つを持っており、各関節にはそれぞれ角度を計測するポテンシオメータを備える。腕先端には、追従対象の手を握り返すことのできる五指ハンドを備える。これは Gael らによって公開され

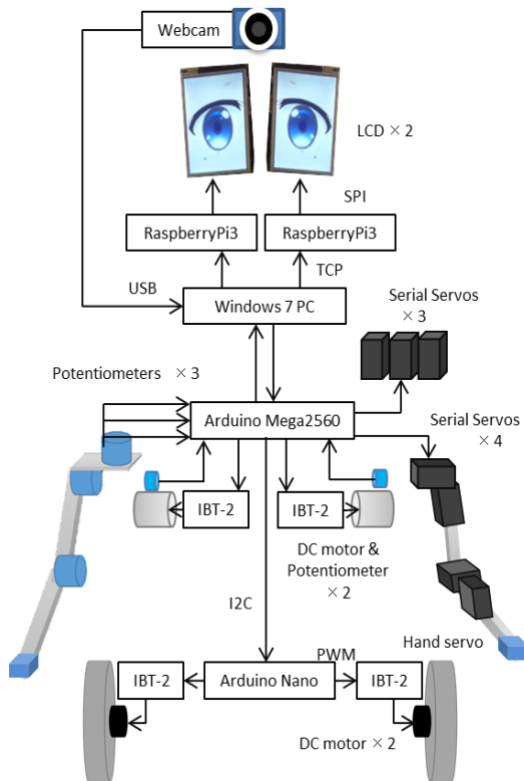


図 3 MASIRO の機体構成

ている 3D プリント可能な人型ロボット Inmoov の腕部 STL を利用し製作した。5 本の指先に繋がるワイヤーを 1 基のサーボモーターによって牽引し、手を握る、開くという動作が可能となっている。また右肩に 1 基の DC モーターを備えており、これによって腕の前方への振り上げが可能となり、追従対象に手を握ってもらえるよう、自ら手を差し出すような動作を実現する。

2.1.3 能動式左腕

左腕は 5 軸の駆動関節を持ち、主に動きによる表現を行うのが主な役割である。右腕と同様の前方への振り上げを行う肩の DC モーターに加え、さらに肩の横への展開、肘の回転、肘、手首の回転を行うシリアルサーボモーター LX-16A を 4 基備え、合計 5 軸の動きが可能となっている。右腕と同様に把持機能を持つ五指ハンドを搭載している。この多自由度を活かし、走行中に腕を揺らしたり、追従対象が手を離れた際に手を振るなどといったジェスチャーが可能となる。

2.1.4 頭部

頭部は、追従対象への指向を行う。構造は図 4 のようになっている。頭部側にヨー軸、胴体側にピッチ軸とロール軸を担うシリアルサーボモーター LX-16A を 3 基備え、3 軸の動作が可能である。なお頭部には眼表示 LCD や、重量物であるキグルミを取り付けるため、首のヨー軸及びロール軸には、サーボモーター 2 基による差動リンク機構を組み、モーター 1 つあたりの負荷を低減している。

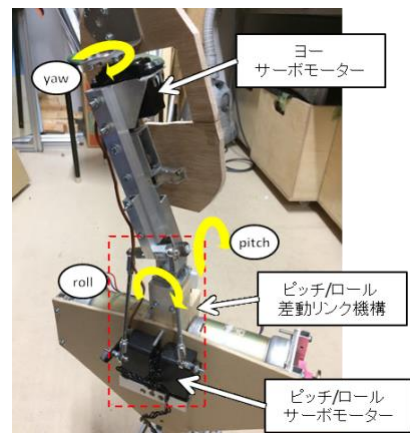


図 4 頭部構造

2.2 電気構成

MASIRO は各機能毎に専用の制御機器を備える。腕部ポテンシオメータの読取りと、頭部と腕部のサーボモーターの操作、肩 DC モーターの位置制御等の制御の中核を担う Arduino Mega2560。移動台車の制御を担う Arduino nano と DC モータードライバの IBT-2。頭部に設置したカメラでの顔認識を行う Windows7 ノート PC。瞳の LCD 表示処理を行う 2 台の RaspberryPi3 を備える。それぞれは、TCP、I2C などで有線接続されている。電源は 12V 鉛蓄電池 1 基を走行台車内部に搭載している。

2.3 制御

MASIRO の主たる制御は、車輪の手繋ぎ追従のための走行制御と両腕の制御、頭部の顔追尾制御である。ここではこの制御法について述べる。なお開発に利用した言語は C/C++ とその派生である Arduino 言語を利用している。

2.3.1 手繋ぎ追従走行制御

MASIRO の手繋ぎ追従制御は、Arduino Mega によって腕の 3 つのポテンシオメータのみを使って行われる。追従対象が MASIRO の腕を掴んだ時、腕の伸び長と肩の方向を一定に保つように車輪速度を比例制御することで人物追従を安価に実現する。以下にソースコードの一部を抜粋する。

```
//腕位置計算
L = l1 sin(theta1 + theta2) + l2 sin(theta2);
Z = l1 cos(theta1 + theta2) + l2 cos(theta2);
if(Z > Z_threshold){ //腕の高さが一定以上ならば速度を比例制御
    V = constrain(kv(Ltar - L), -Vmax, Vmax);
    W = constrain(kw(theta_tar - theta3), -Wmax, Wmax);
}else{ //腕が上がってなければ速度 0
    V = 0; W = 0;
}
//動いていれば動きやすく、止まっていれば動きにくくする
if(abs(V)+abs(W) > 15){ //速度が一定以上なら i を加算
    i += k * (abs(V/Vmax) + abs(W/Wmax));
    i = constrain(i, 0.1, 1.0);
}else{ //速度が一定以下なら i を減算
    i -= 0.03;
    i = constrain(i, 0.1, 1.0);
}
V = V * i;
W = W * i;
//左右の車輪に速度を出力
vL = V + W; vR = V - W;
Output_wheel_L(vL);
Output_wheel_R(vR);
```

ここでは、図 5 における腕の伸び長 L と腕の高さ Z は各関節角度から

$$L = l_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_2 \sin \theta_2$$

$$Z = l_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_2 \cos \theta_2$$

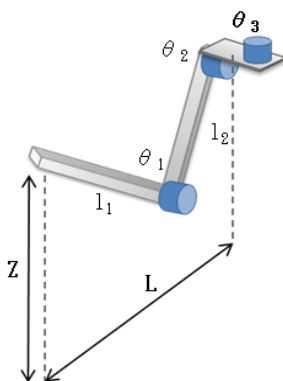


図 5 MASIRO 腕部

腕の高さ Z が一定の高さ以上になったとき、腕を掴まれたと判断し車輪に駆動指令を与える。追従対象との目標距離、目標角度を L_{tar} , θ_{tar} とすると、移動台車の並進速度を V 、旋回速度を W は以下のように求まる。なお k_v , k_w は比例定数である。

$$V = k_v(L_{tar} - L)$$

$$W = k_w(\theta_{tar} - \theta_3)$$

ただし、 V, W の上限は設定された最大速度 V_{max}, W_{max} である。しかしこの制御では、腕を掴まれた直後と腕を離す際には、 L は L_{tar} , 以下となるため台車は後進してしまう。そのため、移動時には速度に応じて加算され、停止時には減算される変数 i を設定した。 i は $0.1 \sim 1.0$ の範囲で増減し、これを速度値 V, W にかけることによって、動いていれば動きやすく、止まっていれば動きにくくすることによって、腕を掴まれた直後と腕を離す際に後進する挙動を抑制する。

最後に、以下の式で求められる左右の車輪速度 v_L, v_R を台車制御用 Arduino nano へ送信して手繋ぎ追従制御を行う。

$$v_L = V + W$$

$$v_R = V - W$$

2.3.2 右腕制御

自然な手繋ぎ走行のためには、対象が MASIRO の手を掴んだ時、MASIRO はそれを判断して手を握り返し、また一定の条件のとき、自律的に握った手を開放する必要がある。今回は以下のプロセスによってこれを実現する。

追従対象との MASIRO は右腕を腕の高さ Z が一定の高さ以上になったとき、サーボモーターによって右手を閉じて追従対象者の手を把持し追従状態となる。一定時間経過後、車速 V, W がほぼ 0 で停止状態となったとき、追従終了と判断し、右手を僅かに開放し、追従解除準備状態になる。この時追従対象が動いて、 V, W に変化があると再度右手を把持して、追従状態へと戻る。追従解除準備状態で追従対象が腕を下げ、 Z が一定値を下回ると、車輪を完全停止させ右手を完全に開放し、対象から離れる。

なお最初の追従状態になった時から、対象が手を離すまでの時間を計測しており、一定以上の長時間手を握った対象には離れた後に、左腕を利用して手を振るといった好意的アクションが可能である。

2.3.3 左腕制御

左腕は 5 軸のモーターを位置制御し、多彩なポージングを実現する必要がある。シリアルサーボモーターには位置指令を送るだけであるが、DC モーターには接続されたポテンシオメータの値を利用し、Arduino Mega によって一般的な PI 制御を行っている。ポーズの指定に関しては、肩の DC モーターとシリアルサーボは電源が入ったままでも脱力状態にすることが可能なので、手でロボットをポージングさせて、その状態の各関節角度をロボットが保存することで、直感的にロボットに動きをティーチングできる。また左腕は追従走行中に歩様にあわせて、肩の DC モーターと肘関節のサーボモーターを駆動し、前後に腕を振る。それぞれの振幅は走行速度に比例して増加し、腕振りの周期は比例して短くなるように制御される。

2.3.4 顔指向制御

MASIRO は頭部に USB カメラを備えており、これによって人の顔を認識し、そちらへ頭部及び LCD に表示された瞳を指向することができる。顔認識は Windows7 ノート PC によって実行される。ここでは顔認識ライブラリである OpenFace を利用し、対象の顔の二次元上の座標およびロール方向の傾きを取得する。得られた対象の顔座標は眼の表示を行う RaspberryPi3 2 台と、首のシリアルサーボを動かす Arduino Mega に送信される。RaspberryPi3 は対象の顔座標から、SPI 接続された LCD に、瞳を比例した座標に描画する。Arduino Mega は対象の顔座標に比例した値を、シリアルサーボの位置指令に加減算することで、対象をカメラの視野の中央に捉えるとともに、対象とロール軸方向の顔の傾きを合わせるように制御される。

ただし手繋ぎ追従時には構造上、MASIRO からは対象の横顔しか見えず、顔を認識出来ない場合がある。そこで、走行中にカメラによる顔認識結果が得られない場合、腕のポテンショメータの値を利用して首を動作させる。追従対象は腕の先端から一定角手前に存在するものとして、首のヨー角を、腕の方向 θ_3 に一定角を加えた方向に制御する。また、追従対象は、腕の伸び長が短い程、より高い角度で見上げる必要があるとして、首のピッチ角を腕の伸び長 L に比例した角度に制御する。これら制御によって、MASIRO は対象の頭の位置を認識、推定して指向することが可能となる。

3. ロボットにおける個性表現部

MASIRO におけるアニメ顔キグルミの制作工程を紹介する。また、ロボットの個性は、個性表現部における外見的個性を読み込み、それに合わせたロボット部の動きを変化させることで、外見と動きが対応した内面的個性の表現が可能となる。個性表現部であるキグルミ面と服には、それぞれに個性の内容を記録された ID タグを貼り付けてある。ロボット部に備える読取り器によってこれを読み込むことで、対応する個性的な動きを実現する。個性表現部を交換することによって、同じロボット部で別々の個性を表現が可能となる。読み込んだ情報を元にロボット部は、台車の走行パターン、首の動き、腕の動き、眼の表示方法の変化させることによって、個性を表現する。

3.1 アニメ顔キグルミ背景

アニメ顔キグルミを適用する前の MASIRO の顔はライオンボードと紙細工を使用した簡素なものであった。特に、顔に目などのパーツはなく、表情も全く表現されていない「のっぺらぼう」の状態であったため、MASIRO を見る人に異物感を与えることが多かった。

この MASIRO に対して、アニメ顔キグルミを適用することで、表情を持たせ、同時に個性を付与する。

3.2 キグルミの作成

使用する「手つなぎロボット MASIRO」のサイズは、身長が 146cm 幅が 45cm であり、一般成人と比べると小学生程度の大きさである。そのため、一般成人のキグルミプレ



図 6 使用するキグルミのベース型の改良



図 7 表情を作成中の MASIRO



図 8 キグルミを装着し表情が付いた MASIRO

イヤーが使用しているキグルミをそのまま適用するにはキグルミが大きすぎる。また、MASIRO の首の動作に使用しているモーターの性能上、キグルミの重量に耐えられなかったため、キグルミの軽量化も必要だった。

通常、人間へ使用しているキグルミの顔のベース(素体)となる型に対して、横方向に 4cm 縦方向に 3cm の縮小を行った。このキグルミの顔の素体の主原料は FRP である、成型の容易さや軽量で丈夫なこともあり、アニメ顔キグルミの使用素材の多数派を占めている。この縮小をさせたキグルミをベースとして、目と鼻、口を成形し、肌の色を塗装することで MASIRO に表情を持たせるようにした。

作成されたキグルミに肌の色を塗り、目と眉などを付け、アニメ顔キグルミで表情を MASIRO に付与した。前回までの「のっぺらぼう」の状態と比べて、表情が付いたことで、MASIRO に対して人形やフィギュアのような雰囲気表現することができた。

3.3 MASIRO の横顔の作成

MASIRO はアニメ顔キグルミを装着しても横から見ると、後頭部の部分が垂直に落ち込んでいた。この部分は、ウィッグをかぶせても、隠すことができず個性を与える中で強い違和感を与えるため、後頭部に丸みを持たせるようにした。



図 9 横から見た MASIRO(修正前)

修正にあたって、軽量で加工しやすい素材であったウレタンボード(薄いウレタンの板)を使用し、真白の後頭部を覆い隠すようにドーム状のパーツを作成した。この後頭部パーツは、MASIRO の後頭部の機械部品に触るときは外せるように作成を行った。



図 10 MASIRO の後頭部パーツ



図 11 横から見た MASIRO(修正後)



図 12 化粧を施した MASIRO

この後頭部のパーツを組み合わせることで、横から見た MASIRO の形をより人間やフィギュアのように表現することができた。

3.4 ロボット部での個性の表現

3.4.1 台車走行パターン

台車部での個性の表現方法として、走行パラメーターを調整することによる走行パターンの変化が挙げられる。例として、2.3.1 節における k_v, k_w と V_{max}, W_{max} を変化させると以下のような個性を獲得することができる。

V_{max}, W_{max} を増加させると、最大速度が向上し、運動性能が向上し、元気らしさを表現可能となる。

V_{max}, W_{max} を減少させると最大速度が低下し、おっとりさの表現を可能とする。

k_v, k_w を増加させると、反応が向上する代わりに、オーバーシュートが発生しやすくなり、落ち着きのなさが表現可能となる。

k_v, k_w を減少させると反応が悪くなり、反抗的な感情の表現が可能である。

3.4.2 腕の動きでの個性の表現

腕は個性を表現する非常に重要なツールである。例としては元気なキャラを表現するとき 2.3.3 節における走行中の腕の振幅を増加させることで表現する。

3.4.3 頭の動きでの個性の表現

例としては常に頭を下向きにする事で、陰気さを表現し、追従走行中の歩様に合わせて、首を左右に振るような動きを加えることで元気さや喜びを表現することができる。

具体的にはにしとやかさを表現することにおいて、顔認識に成功しているときは MASIRO を注視していると考えられるため、MASIRO が頭をそむけることで見つめられて恥ずかしがっていることを表現できる。

3.4.4 眼の表示方法によって個性の表現

キグルミ面でタレ目、ツリ目などの眼の輪郭を表現し、内部の LCD により瞳、および表情を表現する。

例えば 3.6 節でのしとやかさの表現において、見つめられて恥ずかしがる表現では、顔とともに瞳もそむけさせることでより強く恥ずかしさを表現できる。

4. 今後の課題とまとめ

今回の研究で、ロボットに対して「顔」と「服装」を構成要素として追加することによってロボットの動作体系に個性を表現させるシステムの構築が可能となった。これによって、利用者に対してよりインタラクティブなロボットの提供が可能となり、より新しいコミュニケーション(インタラクション)メディアとしてのロボットを生み出すことが可能となった。

参考文献

- [1]アズールレーン 航空母艦'加賀'
<http://www.azurlane.jp/>
- [2]InMoov <http://inmoov.fr/>
- [3]熊谷正朗, “車輪移動ロボット”
<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/contents/course/robotics/wheelrobot.html>