

柔らかいぬいぐるみロボットの動作制御

石川 達也^{†1} 長谷川 晶一^{†2}

本研究では柔らかいぬいぐるみロボットを提案する。ぬいぐるみは親和的で多くの人に愛され、癒しを与える。既存のぬいぐるみ型をしたロボットは機械に毛皮を被せたような構造のため、実際の触り心地は硬く、柔らかいぬいぐるみのイメージ崩している。本研究では中身の柔らかさも重要になると考え、柔らかいぬいぐるみロボットを開発していく。触感の柔らかさを実現するため腕は、スポンジ・綿・布・糸といった柔らかい材料のみで構成し、糸駆動を用いて動かす。本研究ではぬいぐるみロボットの動作制御を行い、魅力的な動作で人を楽しませることを目的としている。応用例としてはセラピーロボットやエンタテインメントロボットなどが考えられる。

The Motion Control of Soft Feeling Stuffed Animal Robot

TATSUYA ISHIKAWA^{†1} and SHOICHI HASEGAWA^{†2}

We propose a stuffed animal robot, which have soft feeling. Stuffed animals are quite familiar to many people and make them comfortable. Current moving stuffed animals have a hard structure with actuators under the fur. It makes them hard to the touch and spoils comfortableness of stuffed animals. Our stuffed animal robot has moving arms only composed of soft stuff such as cloth, cotton and strings. We drive them by pulling the string with actuators, which are deep inside the center of stuffed animal's body. Our purpose is to control the movement with this robot and amuse people by attractive motion. This stuffed animal robot will become one of entertainment robot and mental commit robot.

^{†1} 電気通信大学
The University of Electro-Communications

^{†2} 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

1. はじめに

現在日本では、医療の進歩による平均寿命の伸びや出生率の低下により少子高齢化が急速に加速している。平成 22 年度版高齢社会白書¹⁾によると、2055 年には高齢者の総人口に占める割合が 40.5% に達し、国民の 2.5 人に 1 人が 65 歳以上の高齢者になると予想されている。このような状況になると、産業労働力の不足に加えて、家庭での家事や介護等の労働力の不足が懸念される。そこで家庭内や公共的な場の生活環境において、人間と同居し、人間とコミュニケーションを行いながら、様々な場面で支援を行う「人間共存型ロボット」の研究や開発が盛んに行われている。こうしたロボットは、人が接触可能な環境で長時間働くため安全性と共に、親しみやすく、癒しを与え、愛着を与えるとといった「情緒的親和性の確保」が重要になると考えられる。本研究では、触感のよい物を触ることによって安心や愛着を感じるという知見²⁾を鑑み、生活空間で存在に違和感がなく、触りたくなるという特徴を持つ「ぬいぐるみ」に着目した。ぬいぐるみのような外見をしたロボットとして、関口らによって開発された RobotPHONE³⁾ や、柴田らによって開発された PARO⁴⁾ などが挙げられる。しかしこれらのロボットは柔らかいぬいぐるみの外見をしているが、ぬいぐるみのような柔らかい触感ではない。椎名らは中身が柔らかいぬいぐるみロボット⁵⁾を提案した。このロボットは外見は縫合した布に綿を詰めた一般的なぬいぐるみの形をしており、手・脚、首等を動かすことができる柔らかい動くぬいぐるみである。ここで示す「柔らかい」とは、ぬいぐるみを触ったときに感じる骨のない柔らかさを指す。

2. 目 的

本研究では、柔らかいぬいぐるみロボットの全身動作を生成し、魅力的な動作で人を楽しませることで情緒的親和性を高めることを目的とする。そのために、

- (1) 運動性能を向上させるために、柔らかく制御しやすい機構の開発を行う。
- (2) ロボットにセンサを搭載し、人との関係や周囲の状態を認識できるシステムを構築する。

という方針で研究を行う。本研究の応用例としては、医療・福祉分野で活躍するセラピーロボットや、家庭用ロボット、子供が触っても安全なホビーロボットなどがある。

3. ぬいぐるみロボットの実現

3.1 システム構成

ぬいぐるみロボットに必要なシステムの要素としては、動作を行うための動作部の機構、動作部を制御するためのアクチュエータやセンサ、アクチュエータの駆動やセンサの処理を行うための制御基板が挙げられる。図1に、製作した提案システムの実装例を示す。

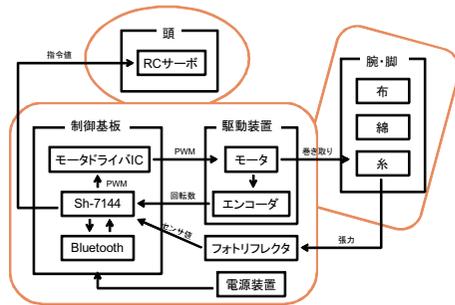


図1 システム構成
 Fig.1 Composition of System

電源 (Li-po バッテリ) を内蔵させることで、ロボット単体での完全自立動作を実現させる。

3.2 動作部の機構

腕、脚は人との積極的なインタラクションを誘発しやすい部位であり、触った時に機械的な硬さを感じさせてしまうと、愛着・安心感といったものが大いに損なわれてしまうと考えられる。そこで腕、脚は機械的な硬さを感じさせない機構を実現する。駆動方法には糸駆動を用いる。糸を用いた駆動方法の利点として、

- 他の機械要素に比べ軽量である。
- 外力に対し柔軟であり、安全である。
- 動作部と駆動部を離れた位置に配置できる。

といった点が挙げられる。腕、脚の動作部の構造には布・綿・糸で構成される「綿袋」というものを使用する。綿袋は、内側に綿を詰め、外側を筒状の布袋で囲い、外周に糸を通したものであり、この綿袋が糸駆動によって変形せられることによって、柔らかさを維持したまま動かすことが可能になる。1つの腕に3本の糸を通すことによって、張力の合力を使用し

て2自由度動かすことができる(図2)。

頭部は動作部を触るようなコミュニケーションが少ないため、RCサーボを配置して駆動する。

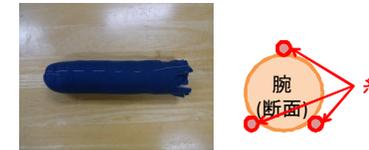


図2 腕の構造(左)と糸の配置(右)
 Fig.2 Mechanism of Arm(left) and Arrangement of String(right)

3.3 カセンサ

本研究のぬいぐるみロボットは、触ったときの柔らかさを維持するために動作部を柔らかい材料で構成している。そのため、外力が加わるとロボットの腕は容易に変形してしまう。つまり同じ糸の長さでも、外力の加わり方によってロボットの腕、脚の位置が変化してしまうことになる。そこで本研究ではカセンサを用いてロボットに加わる外力を検出し動作の補正を行う。このカセンサの仕組みを図3に示す。モータで糸を巻いた時、モータマウントに力が加わる。モータマウントには溝を設け、そこにフォトリフレクタを取り付ける。力が加わるとモータマウントが変形して溝の距離が変化する。この距離の変化をフォトリフレクタで測定することで力の計測が可能となる。このようにモータマウント自体がカセンサとして働くようにした。これにより動作部にセンサを入れずにぬいぐるみロボットに加わる外力が計測でき、動作部の柔らかさを維持したまま力を計測することができる。

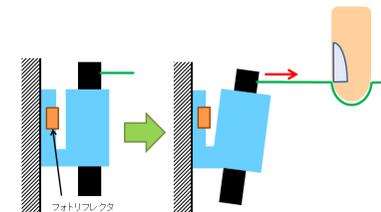


図3 センサの構成
 Fig.3 Composition of Sensor

3.4 制御回路

回路の構成を図 4 に示す。

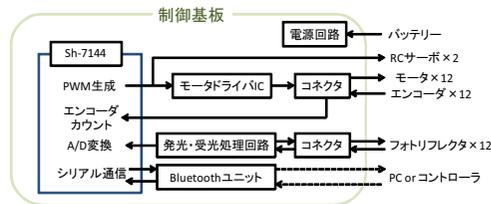


図 4 回路の構成
Fig. 4 Composition of Circuit

回路全体を 1 枚の基板に収めると基板が大きくなりすぎてしまうことから、2 枚の基板に分割して分散配置することで体幹部に収まりやすいようにした。2 つの回路はシリアル通信を用いて連動させた。製作した基板を図 5 に示す。

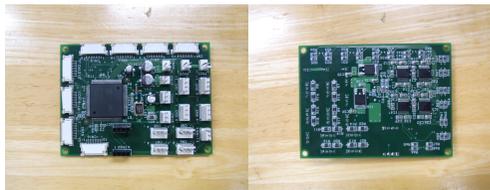


図 5 製作した回路基板
Fig. 5 Produced Circuit Board

制御処理を行うための CPU として、ルネサスエレクトロニクス社製小型マイコン「SH-7144」を使用した。このマイコンは 256k バイトのフラッシュROMを内蔵し、タイマやシリアルインタフェース、A/D 変換器など豊富な周辺機能を持つことが特長である。このマイコンを用い、16 本の PWM 信号を生成することで最大 8 個のモータの駆動を行う。SH-7144 マイコンには、エンコーダのパルス計測を行うために位相計数機能が用意されているが、2ch しかないためこの機能では 2 個のエンコーダしかカウントすることができない。そこで AB2 相のエンコーダパルスのうち、A 相を IRQ 割り込み端子につなぎ、B 相を IO 端子につなぐことでエンコーダパルスを計測する方法を用いた。以下この手法を説明する。まず、図 6

に正転時と逆転時のそれぞれのエンコーダパルスを示す。

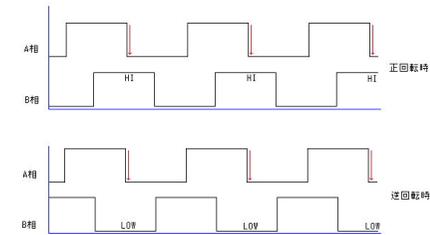


図 6 エンコーダのパルス
Fig. 6 Pulse of Encoder

IRQ 端子は、入力されたパルスの立ち上がりや立ち下りのタイミングで割りこみを処理を行うための端子である。そこで、A 相の立ち下りタイミングで割りこみ処理が行われるときに、B 相の出力を見ることでエンコーダの正逆転がわかる。具体的には、

- A 相立ち下りのときに B 相が Hi だったら正転。
- A 相立ち下りのときに B 相が Low だったら逆転。

と判断し、それぞれ 1 カウント増、減する。SH-7144 マイコンには IRQ 端子が 8ch、IO 端子が 45ch あるので最大で 8 個のエンコーダをカウントすることが可能となる。

3.5 むいぐるみロボットの設計

むいぐるみロボットの動作生成・制御を行うために、目標とする動作決め、その動作を行うことができるようにロボットの設計を行う。目標とする動作は、

- 座った状態での「あいさつ」、「握手」、「おじぎ」等のコミュニケーション動作。
- 四足で立った状態での歩行動作。

とした。座った状態は、手足を自由に動かすことができるので、人とのインタラクションに有利であり、四足で立った状態は、環境への適応に必要な移動能力を持たせるために必要である。これら 2 つの体制を両方実現するために体幹部に収めるモータの配置、綿袋の位置等を考え、三次元 CAD「SolidWorks」(Dassault Systemes SolidWorks 社製)を用いて設計した。この CAD データを使い、モータマウント、体幹部のケースといったパーツの切り出しを行った。加工には Commax 社製のレーザー加工機「AD-VD60100-60W」を使用した。加工する材料としては MDF を用いた。設計した CAD データと製作したハードウェアの外観を図 7 に示す。



図 7 CAD データ (左) とハードウェアの外観 (右)
Fig. 7 Cad Data(left) and Externals of Hardware

3.6 めいぐるみの布生地

めいぐるみの外見は、熊の形とした。熊の形をしためいぐるみは、ティディベアに代表されるように、老若男女問わず認知され、愛されている。めいぐるみロボットの布生地に要求されることは、

- 腕や脚の綿袋の動きを障害しない。
- 触り心地がよい。

といった点が挙げられる。この条件を満たすために、薄くて伸縮性のある長毛の布生地を使用した。生地から縫いあげためいぐるみを製作したハードウェアに装着したものを図 8 に示す。胴体を触ったときに体幹部のケースの硬さを感じさせないために、布生地と駆動部分の間には綿を詰めてある。



図 8 めいぐるみロボット
Fig. 8 Stuffed Animal Robot

3.7 動作生成

動作の生成手法としては、キーフレームを利用したモーション補間を使用する。この方法は、動作中、特徴的な姿勢をとる時刻とその時の姿勢（キーフレーム）を複数用意し、このキーフレームを補間して再生することで一連の動作を生成する手法である。

本研究のロボットは、多数のアクチュエータを搭載している。また張力の合力を利用した複雑な動作が要求されるので、キーフレームの作成には、実機を観察したうえでの試行錯誤が必要である。そのため、ロボットがどのような姿勢を取っているのかその場で確認しながら、キーフレームを定義できるようなシステムが必要になる。そこで次のようなキーフレーム編集ソフトウェアを作成した (図 9)。

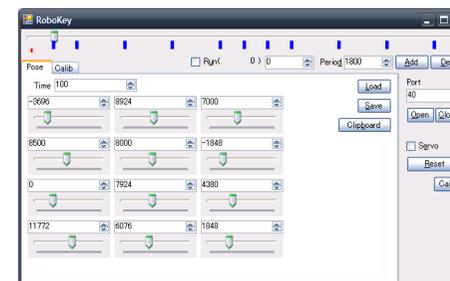


図 9 ソフトウェア
Fig. 9 Software

このソフトウェアでは、それぞれの糸の長さに対応するスライダーを動かすことにより、Bluetooth ユニートを介した無線のシリアル通信を使ってロボットの制御マイコンに指令が届くようになっている。また、このソフトウェアは作成したキーフレームを上部のタイムライン上に配置して再生することで、ロボットの動作を即時実行し、すぐに動作を確認することが可能となっている。作成したモーションデータはテキストファイルとして保存・読み込みを行うことができる。

4. 評価

提案するめいぐるみロボットの有効性を評価する。

4.1 センサを使った動作補正

力センサを使い外力が加わった状態で、動作の補正が可能であるか検証する。実験は図

10 に示す 1 自由度の簡易腕モデルを用いて行った。ロボットの腕の先端におもりをつけて手先位置を計測する。位置の計測には「OPTOTRAK Certus」を使用する。

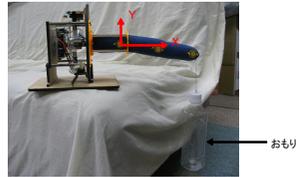


図 10 腕モデル機体
Fig. 10 Arm Model Robot

無負荷の状態と 60g のおもりを付けた状態について計測し、おもりを付けた状態は力センサを用いて動作補正を行う場合と行わない場合についてそれぞれ実験を行った。動作の補正は、

- 補正値 = 基本入力 + $k \cdot (\text{センサ値})$

とした。k は動作補正のためのゲインである。手先の軌道を計測した実験結果を図 11 に示す。

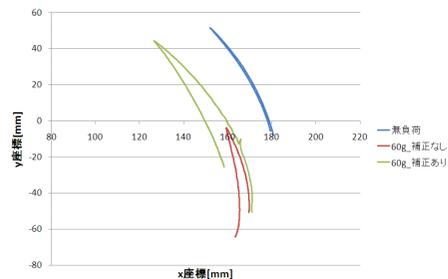


図 11 評価 1: 手先の軌跡
Fig. 11 ex.1: Trajectory of Arm

図 11 より、センサを用いた動作の補正を行った場合、y 軸方向の腕上げ高さは無負荷の位置付近まで到達していることがわかる。この結果から、力センサを用いて動作の補正を行うことは、位置の制御に有効であると考えられる。しかし、無負荷の場合とおもりをつけて動作の補正をした場合では、x 軸の値が異なっており、手先の軌道は等しくない。これは、

おもりを付けた場合、ロボットの腕が変形してしまい、腕が縮んでしまっていることが原因だと考えられる。この対策としては、変形が起こった場合でもその変形を考慮して新しい動作軌道を生成することが挙げられる。

4.2 センサを使った接触検出

力センサを使い人が接触したことを認識可能であるか検証する。図 10 の実験機体を使い、糸を張った無負荷状態で人が「叩く」「押さえる」という 2 種類の触り方をした場合についてのセンサ値を記録した。センサの出力電圧と時間の関係を図 12 に示す。「叩く」ときに山が 2 つあるのは 2 回連続して叩いたためである。この結果より、「叩く」動作は出力電圧の変化が小さく、接触時間が短い。「押さえる」動作は出力電圧の変化が大きく、接触時間が長いという傾向があることがわかる。今回は「叩く」「押さえる」という 2 種類の接触についてのみ実験を行ったが、「なでる」や「握る」といった接触もセンサ出力と時間の関係を解析することで認識可能であると考えられる。

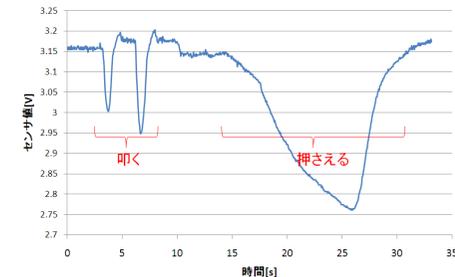


図 12 評価 2: センサ値と時間の関係
Fig. 12 ex.2: Relation between Sensor Value and Time

4.3 複数の糸を用いた動作の評価

複数の糸の合力を用いることで、ロボットの腕を自在に動かすことが可能かどうか検証する。製作したぬいぐるみロボットの左腕の動作部にマーカーを取り付け、ロボットの動作時のマーカー位置を計測する。マーカーはロボットの腕先と、腕の根本に取り付けた。位置の計測には「OPTOTRAK Certus」を使用した。ロボットの腕には図 2 のように 3 本の糸を配置しており、張力の合力を使うことで複数方向への動作を実現している。計測する動作としては、1「水平方向への動作」、2「垂直方向への動作」、3「円を描く動作」の 3 種類とした。各動作とも、動作の開始点からそれぞれの目標とする動作を 10 セット繰り返し行い、

最後に開始位置まで戻すという動作とした．腕の根本を原点として，ロボットを正対させたときの右方向を x 軸，上方向を y 軸とり，この座標系での手先位置を計測した．それぞれの動作に対し，計測した手先の軌道を図 13 に示す．図 13 より，3 つの糸の合力を用いることで腕を自由な方向に動かすことが可能であると考えられる．繰り返し動作の再現性が高いことから，同じ糸の長さの場合，腕先位置はほぼ同じになると考えられる．これより，糸の長さや腕先位置の関係の対応表を作成することで，腕先位置の制御が可能になると考えられる．

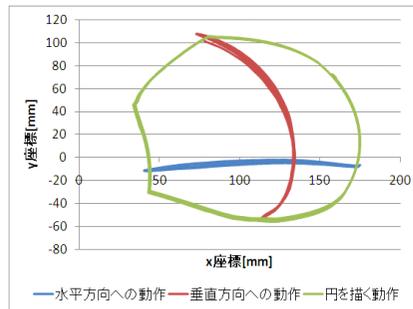


図 13 評価 3:手先の軌跡
Fig.13 ex.3:Trajectory of Arm

4.4 歩行動作の生成

ぬいぐるみロボットの歩行動作を生成し，全身運動が可能かどうか検証する．ぬいぐるみロボットの四肢を使い，歩行動作を生成する．力センサによるフィードバックは行わず，オフラインで生成したキーフレームモーションを再生することで動作を生成した．歩行パターンには間欠クローラ歩容を用いた．間欠クローラ歩容は歩行中，重心を安定余裕の最も大きくなる位置に静止させ，3 脚支持・1 脚遊脚を行う歩行パターンである．カーペットの床の上でこの動作を行い，実際に前進歩行が行えているか調べた．実験の結果，図 14 に示すように，脚の動作により重心移動を発生させ，遊脚と立脚を切り替えをしながら約 2cm/s での前進歩行が行えることを確認した．動作の調整中，重心移動がうまくいかないと脚が上がらず遊脚に失敗し，脚間の距離が小さくなり転倒することが見られた．

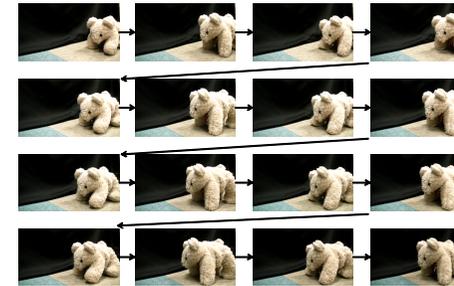


図 14 評価 4:歩行動作の様子
Fig.14 ex.4:Appearance of Walk Activity

5. おわりに

本研究は，柔らかいぬいぐるみロボットが人間共存型ロボットとして発展していくために，ロボットの全身動作を生成し，魅力的な動作で人を楽しませることを目的として，

- (1) 運動性能を向上させるために，柔らかく制御しやすい機構の開発を行う．
- (2) ロボットにセンサを搭載し，人との関係や周囲の状態を認識できるシステムを構築する．

という方針で研究を行った．評価実験を通して，力センサの有効性，動作の安定した再現性を示し，全身運動の一つである歩行動作を実現した．今後の課題としては，全身運動に対し力センサによるフィードバックを行うことや，データベースを利用して腕先位置の制御を行うこと，セラピー分野などでの評価を行うことなどが挙げられる．

参考文献

- 1) 高齢社会白書 (平成 22 年度):
<http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/index-w.html>
- 2) Harlow,H.F.: The Nature of Love; American Psychologist, Vol.13, pp. 673-685, 1958
- 3) Dairoku Sekiguchi, Masahiko Inami, Susumu Tachi; Robot-PHONE: RUI for Interpersonal Communication; CHI 2001, Extended Abstracts, pp. 277-278, 2001
- 4) Takanori Shibata: An Overview of Human Interactive Robots for Psychological Enrichment; PROCEEDINGS OF THE IEEE, Vol.92, No.11, pp1749-1758, 2004
- 5) 椎名美奈: 柔らかいぬいぐるみロボットの開発; 平成 21 年度電気通信大学大学院電気通信学研究科知能機械工学専攻修士論文, 2009