

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 17 日現在

機関番号： 34405
研究種目： 挑戦的萌芽
研究期間： H23～H24
課題番号： 23650114
研究課題名（和文）
人間共存型ロボットにおける最適なモーションデザイン基本法則の抽出
研究課題名（英文）
Finding the motion planning method which communicates the robot's emotion to human
研究代表者 中川志信
（NAKAGAWA SHINOBU）
大阪芸術大学・芸術学部デザイン学科・准教授
研究者番号： 00368557

研究成果の概要（和文）：

一流の文楽人形遣いと共同研究を行い、モーションキャプチャーを装着した文楽人形の演技データから、感情ごとの特徴的なモーションパターンに加え、感情が強い時に身体の一部を瞬時伸縮する誇張した演出動作も抽出できた。これらの発見からロボット新構造を設計し、骨格伸縮などで効果的な演技ができるロボットのCGと部分試作機を製作し動作検証を行った。以上からロボットに最適なモーションデザイン基本法則を明らかにした。

研究成果の概要（英文）

This paper describes the motion planning of Robots which communicates the robot's emotion to human. By using motion capture systems for Bunraku puppet's motion, this study picked up many motion patterns and the method for Robots. New findings are the end of the Bunraku puppet's body expands and contracts, especially when a Bunraku puppet's emotion is strong. The experiment results with a CG robot and a part of real robot designed from these findings, show the method clarify.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野： ロボティクスデザイン

科研費の分科・細目： 感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード： ロボット、デザイン、モーション、感情、インタラクション、コミュニケーション、演技演出

1. 研究開始当初の背景

筆者は過去8年、様々なロボティクスデザインの研究を実践してきた。「機械にこころをデザインする」をテーマに人とロボットが感性インタラクションデザイン（感情を伝えるモーションデザイン）によって最適な関係性が実現することが理解できた。

人とロボットにおけるコミュニケーションでは、現状ロボットのモーションデザインは開発者の暗黙知（勘や経験）で実装されている。そのため、ロボットのモーションによって人が違和感や不気味さを感じるケースが多い。女性アンドロイドロボットの外観は、人工物である領域を超えるまで人に近似してきている。しかし動きが伴うと、人は違和感を覚え、不気味さを感じる傾向にある。

以上の課題から筆者は平成21年度からのモーションデザイン研究を通して、ロボットには文楽人形のモーションデザインが他分野より最適である事や、文楽人形遣い桐竹勘十郎氏（以降、勘十郎氏）との共同研究を通して文楽人形の感情表現基本モーションパターンの抽出を図ることができた。

2. 研究の目的

本研究では、これらの課題を解決すべく人間共存型ロボットにおける最適なモーションデザインの基本法則を明らかにする。これは今後のポストコンピュータ時代に自律動作する機械のモーションデザインにも応用できる。

現在世界を席卷している日本アニメ、そのルーツである伝統芸能文楽人形の芸の考察から、人を感情移入させるモーションデザインの基本法則を抽出しロボットに応用する。これを次世代の機械（ロボットも含む）に応用することで、再度世界を席卷できるインテリジェント機器の高付加価値化に貢献できる最も重要なデザイン要素と考える。

3. 研究の方法

平成23年度は、これらの精度を高めるため勘十郎氏らによる文楽人形の感情表現モーションを、モーションキャプチャーを活用して正確なデータとし、感情表現モーションの6基本パターン（喜び

・驚き・怒り・嫌悪・恐れ・悲しみ）データの精度を高める。

平成24年度は、CGロボットと実機ロボットなどを活用し、文楽人形の感情表現モーション基本パターンデータを実装し、評価実験を繰り返す。ロボットへの最適化を図り、ロボットにおけるモーションデザイン基本法則が確立できると考える。

4. 研究成果

(1) 文楽人形にモーションキャプチャーを装着し、その収集データから詳細な分析を行い、人の動きには無い文楽人形特有の誇張した動き（虚実皮膜論的な動き）を明らかにすることができた。

感情が平常時の腕や首の動作位置に比べて、感情が強いときの腕や首の動作位置が、瞬時であるが常識的な人体バランスの人形ではありえない位置（伸長収縮した位置）にくることが理解できた。

これらの動きは常に強い感情を表現する動きの中で発生していた。人形の動作域から逸脱した（誇張した）位置に、瞬時、その手先や頭部や上体が来る。つまり腕や首や胴体が人間の動作域を超えて伸縮し回転するのである（図1）。

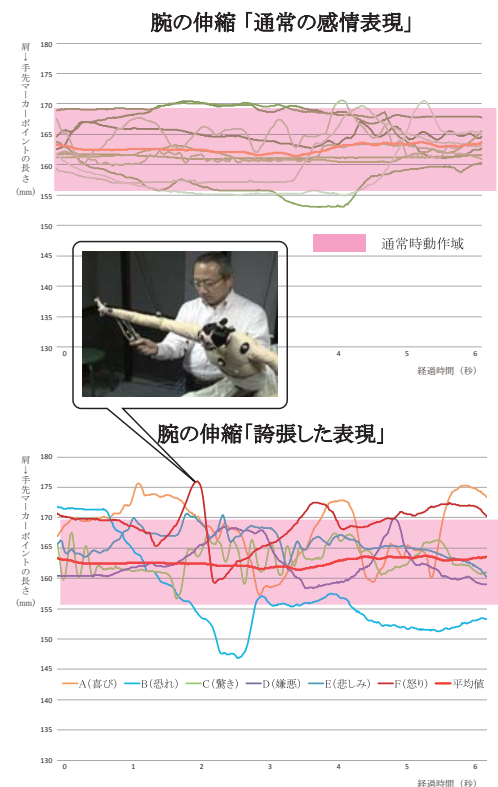


図1 平常時の動作位置から腕が伸縮する瞬間をとらえたデータグラフ
縦軸：腕の変位量 横軸：経過時間

(2) これらの虚の動きをロボットに取入れ、人への感情伝達を向上する伸縮骨格構造のロボットを、実機製作可能な条件でデザイン設計した。従来型ロボットにない新たな特徴は、「首・腕・胴体の伸縮機能」と、怒りや悲しみの感情を誇張する「震えの動作機能」である。特に勘十郎氏が重視する「肩で演技できる」新構造も考慮した(図2)。

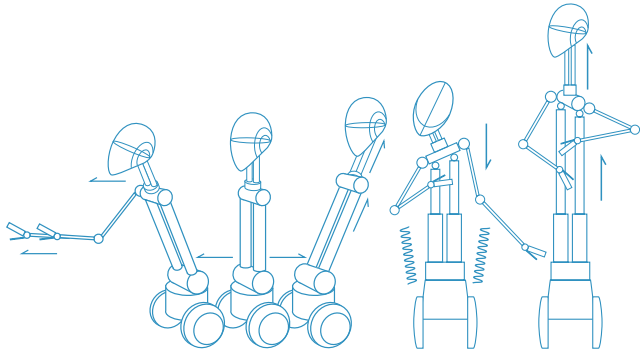


図2 虚実皮膜論的な動き(骨格伸縮)を表現する新構造ロボット

(3) 勘十郎氏演じる文楽人形のモーションキャプチャーデータから6感情ごとの特徴的な動きの傾向が明らかになった。以下の内容が、各感情ごとの基本動作となり、感情強弱によって動く部位の変位量や速度の増減が見受けられた。

これらのパターンを、先の骨格が伸縮する新構造ロボットに反映させ、各感情ごとの特徴的なステージングシルエット(象徴的な型)を抽出した。感情ごとの背の高さの明確な差が特徴的である。

P. エクマンの顔による6感情ごとの表情と相対する、ロボットの身体動作による6感情ごとの表現を明らかにすることができた。特に首と胴体の伸縮構造や、肩の動く構造が、各感情ごとの動きの微差に貢献していることが理解できる。



喜び



悲しみ



怒り



嫌悪



恐れ



驚き

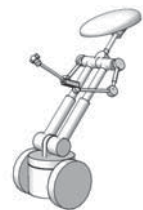


図3 6感情の顔の表情とロボットによる身体表情
(女性の顔は著P. エクマンの表情分析入門 誠信書房より引用)

(4) 収集データの分析結果から6感情ごとに動きの変位量と経過時間をグラフ化し、6感情ごとの動きのリズムパターンの傾向を分析した。

さらに、各感情ごとのロボットの一連の動きの流れをイラスト化して、グラフの下に図解している。あわせて見ていただくとわかりやすく、特にイラストの胴体の上下動がグラフの上下動(動作の変位量)に同調している傾向にある。

例えば恐れでは震えが発生し、動きの変位量の上下(山谷)が一定で継続し、心ここにあらずの状態が続く。感情の強弱は、山と谷の高さや多さに比例している。驚きは最初は反射の動きのため、動きの変位量が急上昇する(山)。その後は一気に下がり(谷)、次の山谷が継続され経過時間も徐々に長くなり意識的な動きへ移行する。感情の強弱は、山の大きさに比例する(図4)。

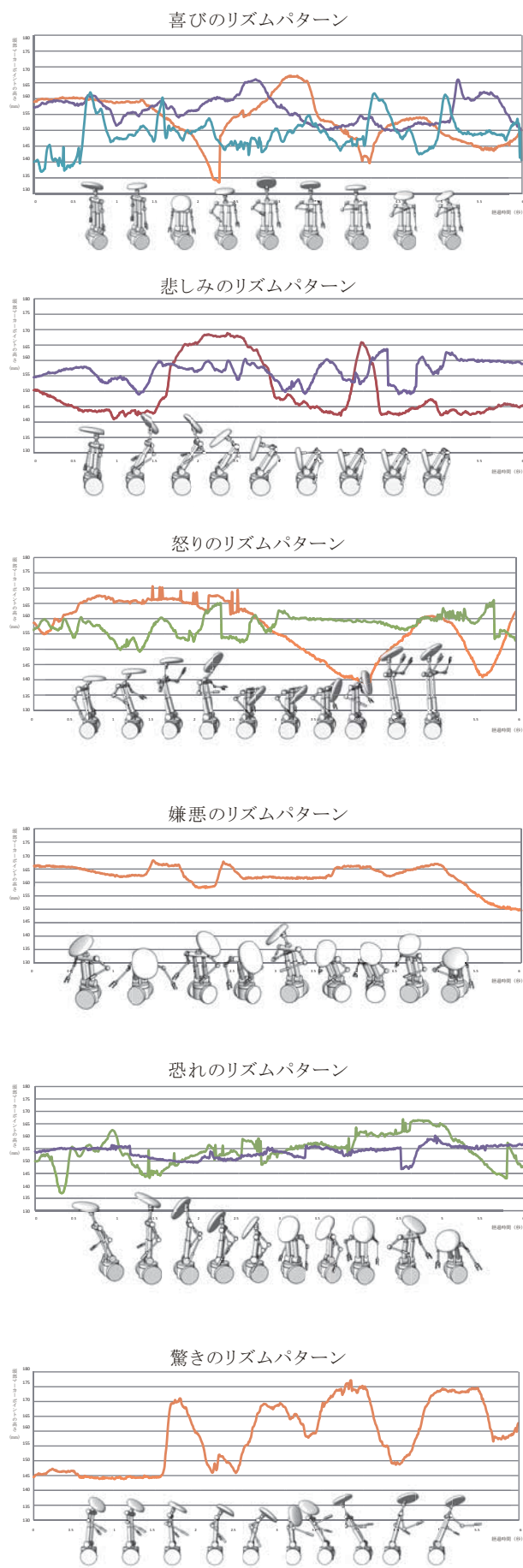


図4 6感情ごとの文楽人形動きのリズムパターンとロボットの動き

(5) CGで検証を重ねた6感情のモーションデザイン基本法則を、実機ロボット「バリボ ND-01」(以降、バリボ)に適用して検証実験を行った。高性能でないロボット(バリボ)でも、いかにすれば6感情をわかりやすく伝えられるかを命題として実験を繰り返した結果、以下の法則が有効であった。

①感情ごとの一連の動作の後に、その感情を象徴する特徴的な姿形・ステージングシルエットをもってすることでバリボの感情が理解できた。特に、驚き、悲しみ、怒りは特徴的でわかりやすい。

②モーターの性能条件を超える数値をプログラムしたり、引力を利用して本体の重量をも動作の加速に活かす上から下への動きを多用することが効果的であると理解できた。

③身体の末端部を極力大きく動かす誇張した表現が適していた。具体的には、手先足先を大きく動かし体全体で感情を表現することが有効であった。例えば、喜びでは手先を大きく下から上に伸ばし、体全体が上方を向く姿形がよい。悲しみでは、体全体を小さくし手先も内に小さく抱え込む姿形が理解しやすい。

このように高性能でないロボットでも、モーションデザイン法則を基本とした動きを採用する事で、効果的に感情の伝わる事が理解できた(図5)。

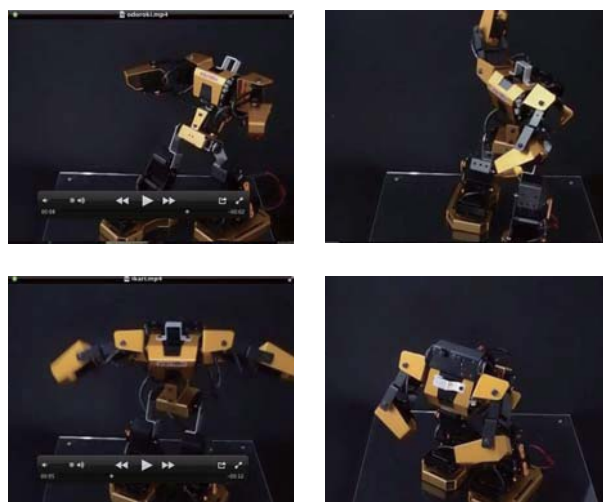


図5 バリボで感情表集するステージングシルエット
左上：驚き 左下：怒り 右上：喜び 右下：悲しみ

(6) 骨格が伸縮する部分試作ロボットで、6感情の動きを検証した。まずは首と胴体が伸縮する機構を有する部分試作ロボットを制作した。具体的には、

首の上下伸縮と前後回転の2自由度、胴体の上下伸縮と前後回転の2自由度と、本体全体としては4自由度（可動部）の主な構成である。

伸縮以外で新規性のある機構として、肩の動きが特徴的である。胴体の両サイドに設けた上下に伸縮する2つのリンク機構で肩を構成し、その2本が別々に上下に伸縮したり前後に移動する事で、表情豊かな肩の動きが再現できる。文楽人形遣いの勘十郎氏も感情表現には肩の動きが重要と強調されていることから、この部分試作ロボットの肩の動きが、どれくらい6感情の表現に有効であるかも試行した。

CGで検証を重ねたモーションデザイン基本法則を部分試作ロボットに適用した結果が図6である。6感情のうち驚き、悲しみ、怒りは問題なく理解できた。首と胴体の上下への伸縮が、感情の差を明確に表現している。特に驚きでは、身体全体を後方へ反射的に突出（伸縮）させる動きは驚きの感情をわかりやすく表現していた。

しかし、恐れ、喜び、嫌悪については課題が明らかになった。これらの3感情は首と胴体の伸縮に加え、肩の傾斜する動きではわかりにくく、違う感情の動きと認識する被験者も多くいた。恐れは、震えを表現する機構が無いと悲しみとの差がわからない。喜びも、手や腕の動きと首の傾げの必要性が理解できた。嫌悪においては、胴体の回転（ひねり）がないと理解できない事もわかった。これらは、虚実皮膜論的な動きを再現する新構造に含まれている。

以上の実験を通して、骨格が伸縮す新構造や肩の動きなどは、ロボットの感情表現に有効である事が明らかになった。今後は課題となった機構を盛込み、肩の動きを効果的に活用した全体試作に挑戦し、豊かな感情表現ができるロボットの完成形での評価実験を目指す（図6）。



悲しみ



驚き



図6 部分試作実機（CG）による6感情ごとの感情を伝える動き

(7) 動きの研究成果をCGアニメーションの短編映画にまとめ、ロボットの身体動作の視覚的な検証を先ず行った。骨格伸縮構造のロボットと老人と犬の登場する簡単なシナリオをつくり、その中に6感情の動きを散りばめ、動きの研究成果（モーションデザイン基本法則）を検証した。勘十郎氏も含めて多くの方々に検証したが、一切問題や違和感もない最高の評価が得られた。

(8) 次に、音響デザイナーの伊豆田千加氏（以降、伊豆田氏）らに、先述した短編映画（無声）に総合的な音のデザイン制作を依頼し、聴覚要素の検証を行った。「画竜点睛は音だった」が、音をデザインされた短編映画を観ての感想である。

① 先ず、ロボットからの感情情報の強調。擬音化されたロボットの心の中の架空の音声（オフの音）や、擬態語のようなロボットの架空の動作音を可聴化させ、感情ごとに音量や音階を変え誇張（デフォルメ）して伝える。また、これらの音にも序列があり必要な箇所のみ必要な音が付加される。
② 次は情感の醸成。効果音や音楽はロボットの情感を人に伝えやすくする。ロボットの動きにあわ

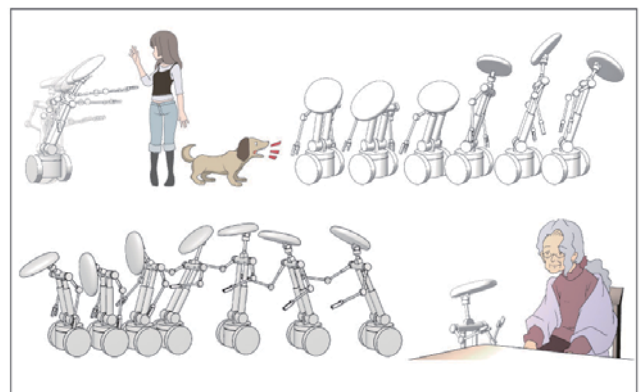


図7 短編映画のシーン

せたメロディラインやリズムパターンの音は、その動きを一層滑らかにしたりアクセントを沿えるなど感情伝達に加え人を魅了し引きつける(図8)。

③ 3つ目は情報の連結。音による耳の知覚速度は視覚より速く、人は一瞬で音の大きさ、響き、音色、長さ、高さの変化を突き止め分析できる。そのため、ロボットが感情表出する前の予備動作に、その感情の音を前もって人に聞かせる事で、予感をもって感情をわかりやすくする。

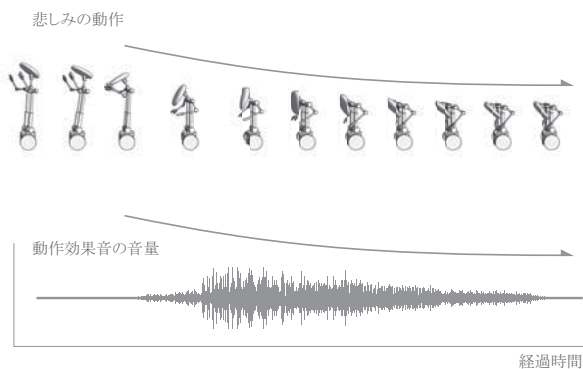


図8 ロボットの動作にあわせた効果音

(9)「デザインとはバランス」という言葉が再確認できた。音も動きも演技でデザインする基本要素は同じで大きさ、高さ(速さ)、音色(情緒)を、役の感情にあわせ組合せてつくる。これらを合成する時は、誇張や序列などシナリオに沿って重ねたり分けたりして、音が動きと一体となり視覚化されるようデザインする。同じ感情の動きでも動作音と音声の位置を少しずらすことで認知しやすくする。これらが効果的に感情を伝える動きと音の総合芸術的なデザイン法則である。

「ロボットに心をデザインする」ロボティクスデザイン法則を約10年追求してきて、やっと入り口に辿り着いた感がある。今後も研究を深め、総合芸術としてのデザイン法則を高精度で確立していきたい。

表情分析入門 表情に隠された意味をさぐる
著: パウル・エクマン ウォーレス・V・フリーゼン
誠信書房

【ロボットデザイン開発の共同研究者】

桐竹勘十郎 松原正幸 北川学志 神尾直樹
伊豆田千加 田口祥平 株式会社マッスル

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計3件)

文楽人形の動きから最適なロボットモーションデザイン
～文楽人形遣いと共同研究を通して～

第29回日本ロボット学会学術講演会2011予稿集
3H2-1 P.225 2011. 9. 7 査読無

文楽人形の動きから理想的なモーションデザイン
HAI2011シンポジウム 2011. 12. 4 査読無

虚実皮膜論的動きで人との親和性を向上させるロボットの新構造
～伝統芸能“文楽人形”の動きをロボットに最適化する研究を通して～

第30回日本ロボット学会学術講演会2012予稿集
2N2-1 P.125 2012. 9. 18 査読無

[図書] (計1件)

ロボティクスデザイン 美術出版 2012 単著

[産業財産権]

○出願状況(計1件)

名称: ロボット構造体(伸縮骨格)
発明者: 中川志信
権利者: 中川志信
種類: 意匠登録
番号: 240401
出願年月日: 2012.3.27
国内外の別: 国内

○取得状況(計1件)

名称: ロボット構造体(伸縮骨格)
発明者: 中川志信
権利者: 中川志信
種類: 意匠登録
番号: 第1452476号
取得年月日: 2012.9.7
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://shinobu-nakagawa.com>

6. 研究組織

(1)研究代表者 中川志信(NAKAGAWA SHINOBU)
(大阪芸術大学芸術学部 准教授)

研究者番号: 00368557