

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2013～2016

課題番号：25330239

研究課題名（和文）人間とロボットとの身体的インタラクションを生成する動作モデルの開発

研究課題名（英文）Development of Motion Model for Generation of Embodied Interaction Between Human and Robot

研究代表者

神代 充（Jindai, Mitsuru）

富山大学・大学院理工学研究部（工学）・教授

研究者番号：30314967

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人間に好まれる身体的インタラクションをロボットに生成するための動作モデルを提案している。身体的インタラクションとしては接触を伴う挨拶である握手とハグを、接触を伴わない挨拶である挙手を対象としている。そして、これらの動作モデルを適用したロボットシステムを構築し、官能評価実験から音声挨拶の有無や接触の有無による人間に好まれるロボットの動作特性の違いについて示す。さらに、握手の動作モデルを応用することで、人間に好まれる動作により物品など差し出す、手渡し動作を生成する。

研究成果の概要（英文）：In this research, we proposed motion models for embodied interactions to be generated by robot. We focused on contact based embodied interaction such as handshake and hug, as well as non-contact based embodied interaction such as hand-up greeting. Furthermore, by implementing the proposed motion models, a robot system was developed. Then, the differences of robot's motion characteristics preferred by human with the presence/absence of voice greeting and the presence/absence of contact were evaluated through sensory evaluation experiments. Moreover, with the application of the handshake motion model, a handing-over motion which is preferred by human was developed.

研究分野：制御工学

キーワード：身体的インタラクション ロボットシステム 握手動作 ハグ動作

1. 研究開始当初の背景

高齢社会となり生活支援や医療・福祉を目的とした人間と日常空間を共有して活躍するロボットの開発が急務となっている。これらのロボットには、人間に身構えられたり、拒絶感を抱かれたりすることなく、共存をスムーズにスタートさせ、人間との円滑なコミュニケーションや協調作業を実現することが求められている。そのためには、人間とロボットとの間に信頼関係を築くことが重要である。

人間同士の場合では、信頼関係を築くための足がかりの1つとして、握手などの身体を用いた挨拶である身体的インタラクションを行っている。そして、この身体的インタラクションを通して身体的リズムを同調させ、コミュニケーションや場の共有を円滑にしている。人間とロボットの場合においてもロボットが人間と自然な身体的インタラクションを交わすことで同様の効果が得られると期待される。そのため、人間同士の身体的インタラクションを解析し、その解析結果に基づいてロボットに人間に好まれる身体的インタラクションを生成するための動作モデルが求められている。

2. 研究の目的

本研究課題では、人間との身体的インタラクションをロボットに生成させるための動作モデルを提案する。身体的インタラクションには身体の接触を伴うものと伴わないものがある。そこで、接触を伴う身体的インタラクションとして握手とハグを、接触を伴わない身体的インタラクションとして挙手を対象に、それらの身体的インタラクションを生成するための動作モデルを提案する。さらに、それらを適用したロボットシステムを構築し、官能評価実験から人間に好まれる身体的インタラクションをロボットに生成することで、提案する動作モデルの有効性を示す。また、この官能評価実験では音声挨拶を伴う場合と伴わない場合について評価することで、音声挨拶の有無による人間に好まれるロボットの動作特性の違いを示す。さらに、握手と挙手における人間に好まれたロボットの動作特性を比較することで、接触の有無による人間に好まれる動作特性の違いについて検討する。また、提案する握手の動作モデルを応用することで、人間に受け入れられる動作で物品などを差し出すことを可能にする動作モデルを提案する。

3. 研究の方法

本研究課題では、まず、接触を伴う身体的インタラクションである握手とハグを生成するための握手動作モデル、およびハグ動作モデルを提案する。次に、接触を伴わない身体的インタラクションである挙手を生成するための挙手動作モデルを提案する。さらに、握手動作モデルの応用として、手渡し動作を

生成するため手渡し動作モデルを提案する。

(1) 握手動作モデル

人間と接触を伴った身体的インタラクションとして握手動作に着目して、人間に好まれる握手動作をロボットに生成するための握手動作モデルを提案した。この握手動作モデルは人間に握手を求めるように手部を差し出す握手要求動作モデル、および人間に握手を求められた時にそれに応じる動作を生成する握手応答動作モデルの2つから構成される。

① 握手動作の解析および動作モデルの提案

人間同士の握手を解析するために動作解析を行った。動作解析では人間同士の握手動作を3次元モーションキャプチャにより計測した。また、マイクにより被験者の音声を入力することで、音声挨拶の発声タイミングを計測した。動作解析は図1に示すように2人1組となり、握手を求める側とそれに応じる側を予め定めて行った。



図1 人間同士の動作解析

動作解析の結果から、握手を求める側とそれに応じる側の手部動作は極めて類似しているが、応じる側は求める側に比べ、遅れを伴って動作していた。さらに、それらの動作は肩、肘、および手首などの関節を釣り鐘型速度パターンにより回転させることで滑らかな動作となっている。そこで、握手要求動作モデルでは、左右対称の釣り鐘型速度パターンとなる躍動最小モデルを2つ組み合わせることで、任意の位置に速度ピークを調整することが可能な釣り鐘型速度パターンを用いて握手動作を生成する。この動作モデルでは肩、肘、および手首の関節を人間同士の握手動作と一致する釣り鐘型速度パターンにより回転させることで、人間の握手動作と類似した動作を生成している。また、握手応答動作モデルでは、求める側と応じる側の手部動作が類似していることから、人間の握手を求める動作を模倣することで握手に応じる動作を生成する。この動作モデルでは人間の握手を求める動作に2次遅れ要素とむだ時間要素を付加することで、遅れを伴った模倣動作を生成することで、握手に応じる動作を生成するものである。

さらに、これらの動作モデルを成人男性の大きさに基づいて設計・製作したロボットア

ームに適用した握手ロボットシステムを構築した。構築した握手ロボットシステムによる人間との握手動作を図2に示す。この握手ロボットシステムを用いて人間に好まれる握手動作について官能評価実験を行った。官能評価実験では音声挨拶を伴う場合と伴わない場合について評価した。



図2 握手ロボットによる握手動作

②握手要求動作モデルの官能評価実験

握手要求動作モデルを適用したロボットシステムを用いた官能評価実験から、音声挨拶を伴う握手要求動作では、音声挨拶の発声後に手部動作を開始する動作が人間に好まれた。また、提案モデルにより人間に好まれる握手要求動作が生成されており、その有効性が示された。

③握手応答動作モデルの官能評価実験

握手応答動作モデルの官能評価実験から、提案モデルにより人間に好まれる握手応答動作が生成されており、その有効性が示された。また、音声挨拶を伴う場合には音声挨拶を伴わない場合に比べ、遅れ時間を長くすることで人間に好まれた。このことから音声挨拶の有無によって人間に好まれるロボットの動作特性に違いがあることが示された。

さらに、握手要求動作モデルと同様に、音声挨拶を伴う場合には、音声挨拶の発声後に手部動作を開始する動作が人間に好まれた。このことから、接触を伴う身体的インタラクションである握手動作では、音声挨拶先行が人間に好まれることが示された。

(2) ハグ動作モデル

人間と接触を伴った身体的インタラクションであるハグ動作をロボットに生成するためのハグ動作モデルを提案した。

①ハグ動作の解析および動作モデルの提案

ロボットに人間のようなハグ動作を生成するために、人間同士のハグについて動作解析を行った。その結果、人間は1つの速度ピークを有する釣鐘型速度パターン、および正と負の2つの速度ピークを有する波形速度パターンにより関節を回転させることでハグ動作を生成していることが示された。そこで、これらの速度パターンを躍動最小モデルや5次曲線に基づいて作成し、それらを用いてハグ動作を生成するハグ動作モデルを提案し

た。この動作モデルでは肩、肘、手首の関節を釣鐘型速度パターンにより、上腕の内転、外転を波型速度パターンにより回転させている。また、この釣鐘型速度パターンや波型速度パターンの形状を人間同士の場合と一致させることで、人間のハグ動作に類似した動作を生成している。

そして、成人男性の大きさに基づいた7自由度を有するロボットアームを双腕で備えたロボットに提案したハグ動作モデルを適用したハグロボットシステムを構築した。構築したハグロボットシステムによる人間とのハグ動作を図3に示す。



図3 ハグロボットによるハグ動作

②ハグ動作モデルの官能評価実験

構築したハグロボットシステムを用いて官能評価実験を行った結果、提案したハグ動作モデルにより人間に好まれるハグ動作が生成された。これにより、提案モデルの有効性が示された。また、人間とのハグ動作を生成する際には、ロボットは人間の音声挨拶に基づいて、手部動作を開始するタイミングを決定することが重要であることが示された。この結果は握手動作とも一致するものである。

さらに、人間との身体的インタラクションを促進するために、人間に能動的に接近し、ハグを求める動作を生成した。そして、実験を行った結果、接近動作から連続してハグ動作を行うハグと接近からハグまでの動作を1つ1つゆっくりと行うハグの2つが人間に好まれた。これらのことから、ロボットに一連の流れによりハグを求められることを好むグループと接近からハグまでを段階的に求められることを好むグループの2つに分類されることが示された。これらのことから、人間に好まれるハグ動作には、個人差があり、大きく2つに分類されることが示された。

(3) 挙手動作モデル

握手と同様に上肢を用いた身体的インタラクションであり、接触を伴わないものとして、手部を高く持ち上げて挨拶を行う挙手挨拶に着目した。そして、人間同士の挙手挨拶を解析し、人間に好まれる挙手挨拶を生成する挙手動作モデルを提案した。この挙手動作モデルは求める側と応じる側の両方の動作を生成するものである。

①挙手動作の解析および動作モデルの提案

人間同士の動作解析から、挙手動作も握手動作と同様に肩、肘、および手首などの関節を釣り鐘型速度パターンにより回転させていることが示された。また、求める側とそれに応じる側の手部動作は類似しており、応じる側は求める側に比べ、遅れを伴って動作していることが示された。このことから、握手要求動作と同様に釣り鐘型速度パターンを用いてロボットに挙手動作を生成するための挙手動作モデルを提案した。また、この挙手動作モデルに用いる釣り鐘型速度パターンの形状を人間同士の場合と一致させることで人間と類似した動作を生成している。さらに、その動作モデルを適用した挙手ロボットシステムを構築した。

②挙手動作モデルの官能評価実験

構築した挙手ロボットシステムを用いて官能評価実験を行った。挙手ロボットシステムによる挙手動作を図4に示す。



図4 挙手ロボットシステムによる挙手動作

官能評価実験の結果より、提案モデルにより人間に好まれる挙手動作が生成されており、提案モデルの有効性が示された。また、応答側の動作において、音声挨拶を伴う場合は伴わない場合に比べ、手部動作を開始するまでの遅れ時間を長くすることで人間に好まれることが示された。この結果は握手動作の結果と一致するものである。しかしながら、音声挨拶を伴う挙手動作では、手部動作の開始後に音声挨拶を発生する動作が人間に好まれた。このことから、接触を伴わない身体的インタラクションである挙手動作では、手部動作先行が人間に好まれることが示され、握手動作とは異なる結果となった。

以上の結果より、接触の有無に拘わらず、音声挨拶を伴う場合には伴わない場合に比べ、手部動作を開始するまでの遅れ時間を長くすることで人間に好まれることが示された。また、接触を伴う場合には音声挨拶の発生後に手部動作を開始する音声挨拶先行が人間に好まれるが、接触を伴わない場合には手部動作の開始後に音声挨拶を発生する手部動作先行が人好まれることが示された。

(4) 手渡しロボットシステム

握手動作の応用として手渡し動作に着目し、ロボットから人間に物品を手渡すための

手渡し動作モデルを提案した。この手渡し動作モデルでは、差し出し側と受け取り側の両方が掛け声となる音声を発生する手渡し動作を対象とし、ロボットから人間に対象物を手渡す動作を生成するものである。さらに、手渡し動作モデルを適用した手渡しロボットシステムを構築した。手渡しロボットシステムには成人男性の大きさに基づいた人型手渡しロボットシステムと工場内での利用を考慮した直交型手渡しロボットシステムの2種類を構築した。

①手渡し動作の解析

人間同士の手渡し動作解析から、人間の差し出す動作は肩、肘、および手首などの関節を釣り鐘型速度パターンにより回転させており、握手動作と極めて類似した動作となっている。このことから手渡し動作モデルでは握手要求動作モデルを基に手渡し動作を生成する。また、差し出し側の人間は受け取り側の人間が発声した音声を聞いて、受け取り側とのタイミングを合わせることで、手放し動作を行っていることが示された。

②人型手渡しロボットによる実験

人間同士の手渡し動作解析に基づいて、人間に好まれるロボットの手渡し動作について人型手渡しロボットシステムを用いて官能評価実験を行った。人型手渡しロボットシステムによる手渡し動作を図5に示す。



図5 人型手渡しロボットによる手渡し

官能評価実験の結果より、提案した手渡し動作モデルにより人間に好まれる手渡し動作を生成することが可能であり、提案モデルの有効性が示された。さらに、受け取り側の人間が音声を発生してから0.3秒後に物品を手放す動作を開始する手渡し動作が受け取りやすく、人間に好まれた。また、人間とロボットが同時に対象物を把持している時間を長くすることで、確実さや丁寧さなどが増すことが示された。

③直交型手渡しロボットによる実験

人型手渡しロボットシステムと同様に直交型手渡しロボットシステムを用いて官能評価実験を行った。直交型手渡しロボットシステムによる手渡し動作を図6に示す。

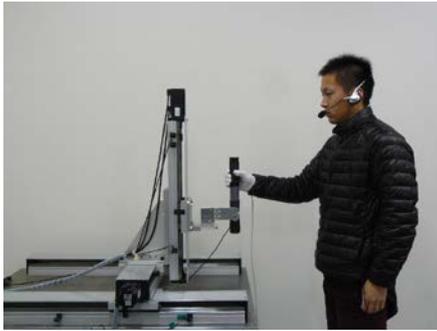


図6 直交型手渡しロボットによる手渡し

官能評価実験の結果より、提案した手渡し動作モデルにより、直交型手渡しロボットシステムにおいても人間に好まれる手渡し動作を生成することが可能であった。さらに、受け側の人間が音声を発声してから0.3秒後に物品を手放す動作を開始する手渡し動作が好まれた。この結果は人型手渡しロボットシステムの結果と一致するものであった。このことから、ロボットの形状や機構に拘わらず、人間に好まれる音声と手放し動作のタイミングは同じであることが示された。さらに、直交型ロボットを用いて人間に好まれる手渡し動作を生成するために必要となるロボットの軸数について検討した。その結果、2自由度以上により、人間に好まれる手渡し動作が生成されることが示された。

以上のことから、握手動作と手渡し動作では上肢の動作は極めて類似していることや、人間の発声に基づいて動作を開始することで人間に好まれる動作となることが示された。このことから、身体的インタラクションにおける人間に好まれるロボットの動作特性を支援動作の生成に応用できることが示された。

4. 研究成果

本研究課題では接触を伴う身体的インタラクションである握手とハグによる挨拶と接触を伴わない挙手による挨拶に着目し、人間同士の動作解析に基づいてそれらの動作を生成するための動作モデルを提案した。これらの動作モデルは人間にそれらの身体的インタラクションを求める動作と人間に求められた場合にそれに応じる動作を生成するものである。そして、提案した動作モデルをロボットに適用し、人間に好まれる身体的インタラクションを実現することで、それらの動作モデルの有効性を示した。さらに、官能評価実験により人間に好まれる身体的インタラクションを生成するためのロボットの動作特性について検討した。その結果、音声挨拶の有無によって人間に好まれるロボットの動作特性に違いがあることや、音声挨拶を伴う場合には人間の発声タイミングに基づいて、ロボットの動作を開始することが重要であることが示された。また、接触を伴う場合には手部動作より先に音声挨拶を発声することが好まれ、接触を伴わない場合に

は手部動作を音声挨拶より先に開始することが好まれることが示された。このことから、身体的インタラクションにおいては、接触の有無によって人間に好まれるロボットの動作特性に違いがあることが示された。

次に、支援動作の1つである物品を手渡す動作について人間同士の動作解析を行い、人間に物品を手渡すための動作モデルの提案を行った。さらに、その動作モデルを適用した手渡しロボットシステムを構築した。そして、官能評価実験から手渡し動作における人間に好まれるロボットの動作特性は、握手におけるロボットの動作特性と類似しており、握手の動作特性を手渡し動作に適用できることが示された。このことから、人間に好まれるロボットの身体的インタラクション特性を人間への支援動作に適用できることが明らかとなった。また、人間に好まれる手渡し動作をロボットに生成するためには2自由度以上が必要であることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- 1)太田俊介, 神代充, 山内仁, 渡辺富夫, 柴田論, 山本智規, 人間との握手接近動作を行う小型握手ロボットシステム, 日本機械学会論文集(C編), Vol.79(C), No.803, pp.2383-2393, 2013.
- 2)神代充, 太田俊介, 池本有助, 笹木亮, 人の手部動作および発声解析に基づく手渡し動作モデル, 日本機械学会論文集, Vol.80, No.817, pp.1-13, 2014.
- 3)Hidehisa IWAMOTO, Yoshiomi MUNESAWA, Mitsuru JINDAI, Yasuhiro KAJIHARA, Victor Fumiaki HIRAKAMI and Syo UEMURA, A Study on Prick-Motion Analysis for Suturing in Surgery, Asia-Pacific Journal of Industrial Management, Vol.5, Issue 1, pp.80-86, 2014.
- 4)太田俊介, 神代充, 山内仁, 渡辺富夫, 接近を伴う握手要求動作を生成する握手ロボットシステム, 日本機械学会論文集, Vol.81, No.825, pp.1-13, 2015.
- 5)Mitsuru JINDAI, Kazuaki NAKAMURA and Tomio WATANABE, A nodding detection system based on the active appearance model, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.10, No.2, pp.1-9, 2016.
- 6)Yoshihiro SEJIMA, Yoichiro SATO, Tomio WATANABE and Mitsuru JINDAI, Speech-driven embodied entrainment character system with pupillary response, Bulletin of the JSME Mechanical Engineering Journal, Vol.3, No.4, pp.1-11,

2016.

- 7) Yoshihiro SEJIMA, Tomio WATANABE and Mitsuru JINDAI, Estimation model of interaction-activated communication based on the heat conduction equation, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.10, No.9, pp.1-11, 2016.

[学会発表] (計 11 件)

- 1) Mitsuru JINDAI, Shunsuke OTA, Yusuke IKEMOTO and Tohru SASAKI, Hand-over Motion Model Based on Timing between Voice Utterances and Release Motions of Humans, Proceedings of the Recent Advances in Robotics and Mechatronics 2013, pp.107-112, 2013.
- 2) Yoshihiro SEJIMA, Tomio WATANABE, Mitsuru JINDAI, Atsushi OSA and Yukari ZUSHI, An Embodied Group Entrainment Characters System Based on the Model of Lecturer's Eyeball Movement in Voice Communication, Proceedings of the Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, pp.351-358, 2014.
- 3) Yoshihiro SEJIMA, Tomio WATANABE and Mitsuru JINDAI, Development of an Interaction-activated Communication Model Based on a Heat Conduction Equation in Voice Communication, Proceedings of the 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp.832-837, 2014.
- 4) Hidehisa IWAMOTO, Yoshiomi MUNESAWA, Mitsuru JINDAI, Yasuhiro KAJIHARA, Victor Fumiaki HIRAKAMI and Syo UEMURA, Analysis on Prick-Motion of Suture Needle by a Surgeon, Proceedings of The Twelfth International Conference on Industrial Management, pp.520-524, 2014.
- 5) Shunsuke OTA, Mitsuru JINDAI, Tadao FUKUTA and Tomio WATANABE, A Handshake Response Motion Model during Active Approach to a Human, Proceedings of the 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp.310-315, 2014.
- 6) Mitsuru JINDAI, Shunsuke OTA, Yusuke IKEMOTO and Tohru SASAKI, Handshake Request Motion Model with an Approaching Human for a Handshake Robot System, Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent

Systems and Robotics, Automation and Mechatronics, pp.265-270, 2015.

- 7) Shunsuke OTA, Mitsuru JINDAI, Tohru SASAKI and Yusuke IKEMOTO, Handshake Response Motion Model with Approaching of Human based on an Analysis of Human Handshake Motions, Proceedings of the 7th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems, pp.8-13, 2015.
- 8) Mitsuru JINDAI, Shunsuke OTA and Tohru SASAKI, A Hug Behavior Generation Model Based on Analyses of Human Behaviors for Hug Robot System, Proceedings of the 2016 International Conference on Design, Mechanical and Material Engineering, pp.1-7, 2015.
- 9) Takumi SHIMA, Mitsuru JINDAI, Tohru SASAKI and Shunsuke OTA, Development of a Small Size Handshake Robot System for Generation of Handshake Response Motion Using Non-Contact Measurements, Proceedings of The Thirteenth International Conference on Industrial Management, pp.485-492, 2016.
- 10) Shunsuke OTA, Yoshihiro SEJIMA and Mitsuru JINDAI, Development of a Virtual Window Communication System for Remote Communication, Proceedings of The Thirteenth International Conference on Industrial Management, pp.493-501, 2016.
- 11) Mitsuru JINDAI, Shunsuke OTA, Toshiyuki YASUDA, Tohru SASAKI and Yoshihiro SEJIMA, Development of a Hug Request Motion Model during Active Approach to Human, Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2017 (In Press).

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: ロボットシステム及びロボットシステムの制御方法

発明者: 小野 修司, 神代 充

権利者: 富士フイルム株式会社, 富山大学

種類: 特許

番号: 特願 2017-031337

出願年月日: 2017年2月22日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神代 充 (JINDAI MITSURU)

富山大学大学院理工学研究部・教授

研究者番号: 30314967