

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12525

研究課題名（和文）人と人形のインタラクションデザイン：序破急と文楽人形所作を用いた感情表現設計

研究課題名（英文）Interaction Design for Human and Puppet: Designing Emotional Expressions with the Use of the Introduction, Breakthrough and Bunraku Puppet Act

研究代表者

蔡 東生 (Cai, DongSheng)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：70202075

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：今後10年間で、情報家電が急速に家庭に普及し、そのインテリジェントハブとしてAI搭載ホームロボットが急速に普及すると考えられる。ホームロボットに関して、得体の知れないロボットが家にいるのはいやだという意見も多い。人間は「相手」のしぐさ、表情から感情を読み取れたときに安心と信頼を感じる（メラビアン効果）。本研究は、人がロボット（人形）からどう感情を読み取るか、それによりどう信頼を獲得するか、そのインタラクションデザインに関する研究を行った。文楽の「ホド」、「ズ」と呼ばれる人形遣い間の非言語コミュニケーションを焦点に研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人々は近年の自動運転車のようにAI駆動のデバイスやシステムにより多くの任務を課すようになるが、共存のための信頼を築く上で鍵となるのは、単なる人型に留まらないロボットを生み出すことにある。調査の結果、利用者は、ロボットにタスクを遂行してもらえると満足はするものの、利用者とのインタラクションから、目線、表情、しぐさ、動きからよりロボットのパーソナルな気持ちや感情が読み取れた時に喜び・信頼を感じる。この感情デザインを序破急と間を使った、人形遣い間の「ホド」、「ズ」と呼ばれる非言語コミュニケーションに焦点を当て解明を試みた。

研究成果の概要（英文）：In the next decade, information appliances will spread rapidly in households, and AI-equipped home robots are expected to spread rapidly as an intelligent hub of these appliances. Many people do not like the idea of having an unknown robot in their homes. Humans feel secure and trustworthy when they can read emotions from the gestures and facial expressions of their "partner" (the Melavian effect). In this study, we investigated how people read emotions from robots (puppets) and how they gain trust by doing so, and the design of interaction between puppeteers, called "hodo" and "zu" in Bunraku, in terms of non-verbal communication.

研究分野：メディア深層学習

キーワード：文楽 間 序破急 ヒルベルトファン変換 ニューロトラスト 裏拍子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

今後 10 年,自律的な知能と感情を持つ,用途に合わせた各種協働ロボットが備わったスマートホームが当たり前になり,介護の一翼をも担うことになる.しかし,協働ロボットがスマートホームの情報インテリジェントハブとして,利用者に受け入れられるようになるまでの時間と範囲を決定づける重要な要素があることが最近分かってきた(McKinsey Qtr, 2017).それは「信頼(Neurobotic Trust)」である.信頼は,第一に人と協働で行うタスクを確実に遂行できることによって確立される.しかし,人々は近年の自動運転車のように AI 駆動のデバイスやシステムにより多くの任務を課すようになるが,共存のための信頼を築く上で鍵となるのは,単なる人型に留まらないロボットを生み出すことにある.人々は,心と心の結びつきを求めているのである.調査の結果,利用者は,ロボットにタスクを遂行してもらえると満足はするものの,利用者とのインタラクションから,目線,表情,しぐさ,動きからよりロボットのパーソナルな気持ちや感情が読み取れた時に喜び・信頼を感じる.このロボットインタラクションから感じる信頼を **Neurobotic Trust** と呼ぶ.信頼を確立するためには,インタラクションを通じ人とつながり,関わりを深める必要がある.この感情デザインを文楽の匠、人形使い間の合図である「ホド」「ズ」をもとに行うことが本研究の経緯である。

## 2. 研究の目的

今後,世界では,AI, IoT, ビックデータ処理, 5Gなどをベースに情報家電が急速にスマートホームに導入されてくる.その中,日本では,超高齢化社会が急速に進む.スマートホームで暮らす,高齢者や利用者は,情報家電を使いこなす,介護などのサービスを受けるために,これらの複雑な情報家電を使いこなす必要がある.人は,インタラクションにおいて相手のしぐさ,表情,動作等から,相手の感情を読み取れたとき喜びを感じ,相手に,親しみ,信頼を感じる(メラビアン効果).すなわち,ホームロボットが今後家庭に普及する決定的な要素の一つはこの信頼である.この,信頼の獲得に,千年以上の歴史で培われた,人形浄瑠璃文楽の技と匠を生かすのが本研究の目的である.

文楽人形は据え置かれていると,単にかわいらしい人形である.しかし,3 人の人形遣いが手をいれて動かし始めると,たちまち,見る人に強い感情移入が起こり始める.このしくみ,匠の技ははまだ良く解明されていない.桐竹勘十郎(紫綬褒章,研究協力)一座の協力のもと,これを解明し,「ホド」と「ズ」という人形遣いの合図を中心に,文楽人形と人とのインタラクションを解明し,ロボットと人とのインタラクションデザインに取り組んでいくのが本研究の目的である.

## 3. 研究の方法

千年以上前の庶民の木偶から始まる日本最古の機械的からくり構造をもつ人形・浄瑠璃人形文楽の感情動作表現・インタラクションを解析し,その動き・インタラクションを,固有モード分解(Huang, 2009)し,三味線のビートから基本動作をセグメント化する.その分解・セグメント化された,基本感情動作表現の部品化を科学的に行う.部品化された,文楽の感情動作表現を AI 搭載ホームロボットの感情表現動作に再利用し,人とロボットのインタラクションデザインを行うことを目的とする.そのため,文楽桐竹勘十郎(紫綬褒章,研究協力者)一座の協力と教えを得,文楽人形の動きを,高精度に,モーションキャプチャし,非線形信号として固有モード分解し(Huang, 2009),分解信号を三味線のビートからセグメント化し,伝統芸能**文楽人形の感情動作の部品化・再利用**を行う.主遣いは首と右手を,左遣いは左手を,足遣いは両足を操作し,3 人で一つの文楽人形を操る.人形カラクリとその感情表現メ

カニズムを解明するため、モーションと音楽データ（三味線）を桐竹勘十郎一座の協力のもと文楽劇場で同時に採集し、人形遣いが合図として使う、「ホド」と「ズ」を抽出・部品化する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 結果

##### 三味線、義太夫語りのスペクトログラム

本研究では、キャプチャした文楽の演目である妹背山婦女庭訓の杉坂屋の段での、主人公、おみわが手を合わせる場面の、三味線、義太夫、人形遣いの関係を、時間周波数スペクトル（スペクトログラム）ヒルベルトファン変換を用いたヒルベルトスペクトラム、ヒルベルト位相を用いて分析する。

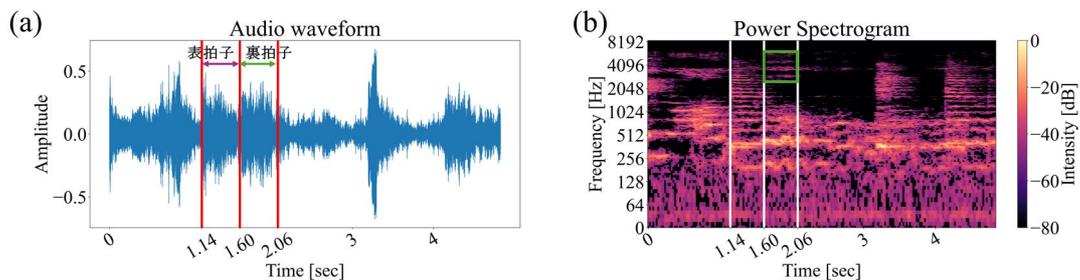


図1 (a) 「杉坂屋の段」の一部のオーディオ波形グラフ (b) 「杉坂屋の段」の音楽のスペクトログラム

図1(a)は、横軸を時間、縦軸を音の振幅（V）とした音声波形グラフである。図1(b)において、横軸は時間を、縦軸は周波数を、色の濃淡はスペクトラム強度（dB）を示す。図1より、約1.14秒に三味線の打音が発生し、その半拍子後、約1.6秒から2.06秒に、緑の四角で示した、「うなり」と呼ばれる義太夫が音を上げた高音部が發せられ、「裏拍子」であることが確認できる。

義太夫は主遣いよりわずかに早く主導的に裏拍子を使い、音高を上げ、「うなり」により、次の語りの、リズム速度を教える。義太夫は裏拍子、つまり一拍の後半で語尾を上げている。義太夫は「月のえがおお〜」のフレーズにおいて、その前の「えがお」が表拍子で、「お〜」の後半の「お」を裏声で半音上げ、伸ばすか、縮める。半拍の裏拍子を使って「序破急」と呼ばれる合図を出している。能、文楽では、リズムを変える時、能では掛け声、文楽では語りにおいて、通常表拍子と裏拍子は同じ長さであるが、發した裏拍子の長さを変えることにより、次のリズムの長さを変える。すなわち、変化させた裏拍子の倍の長さが、次のリズムの長さとなる。ここで、「お〜」という「お」音を重ね伸ばす發声は、浄瑠璃では「うなり」と呼ばれる。さらに、「ズ」の一所作（手を合わせる所作）のリズム時間長さを決定する。

##### 瞬時位相と瞬時周波数を用いた解析

次に、人形胴体の背中に付けたマーカの軌跡のTRC(Trace)データに対して、HHTをかけたヒルベルトスペクトラムを図2(a)に示す。x軸は時間、y軸は周波数、右側のカラーバーは振動振幅を示す。図2(b)は、人形背中(Spine)のヒルベルト位相角 $\theta(t)$ を示す。x軸は時間、y軸はヒルベルト位相角 $\theta(t)$ を表す。図中 $\theta(t)$ の範囲は、 $-\pi \leq \theta(t) \leq \pi$ となる。

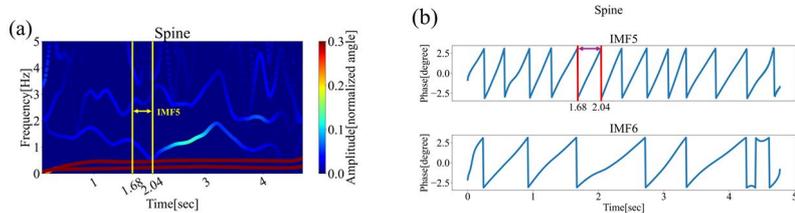


図2 (a)背中のヒルベルトスペクトル(b) 背中のヒルベルト瞬時位相

「ホド」は、義太夫の裏拍子より約 0.08 秒遅れて発生しており、義太夫が人形の動きをリードしていることがわかる。

図2では、1.6秒から義太夫は半音上げて裏拍子を使い始める。0.08秒遅れて、主遣いは人形を右にシフトし、「ホド」の合図を発する。これは図2(b)のIMF5で確認できる。赤い線で囲まれたのが、「ホド」のヒルベルト位相である。図に示すように、IMF5の約1.68秒から2.04秒までの約0.4秒間が「ホド」であり、ヒルベルト位相により「ホド」の合図が検出されている。

図3は、首、左腕の関節角周波数のヒルベルトスペクトラムを示す。 $x$ 軸は時間、 $y$ 軸は角周波数、右側のカラーバーは振動振幅を示す。

図3(a)、(b)はそれぞれ、首、左腕関節オイラー角周波数のヒルベルトスペクトラムである。図3(a)において、黄色の縦線(「ズ」の開始時間)は約1.95秒、次の縦線(「ズ」の終了時間)は約2.75秒であり、図3(a)のIMF6が首の「ズ」の動きを示している。最初の黄色の縦線は約2.14秒、次の黄色の縦線は約3.0秒を表し、IMF6は左前腕の主遣いの「ズ」に従って左遣いが左手を、前で手を合わせるように動かしている所作のヒルベルトスペクトラムである。

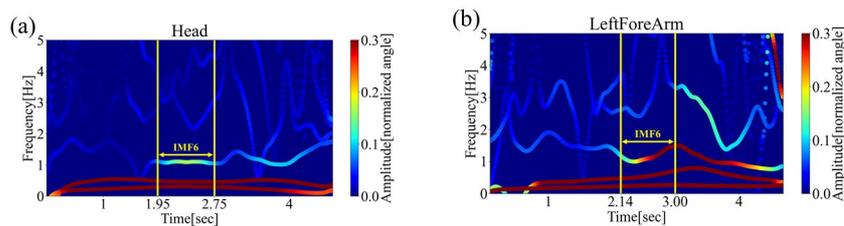


図3 各関節角度のヒルベルトスペクトラム (a) (b)それぞれ首、左前腕のヒルベルトスペクトラム

図4は、各関節角度ヒルベルト位相を示す。 $x$ 軸は時間、 $y$ 軸はヒルベルト位相角 $\theta(t)$ を表す。図4(a)は、赤線で囲まれる約1.95秒から2.75秒までのIMF6スペクトラムが、主遣いが出す「ズ」に対応している。図4(b)は、左前腕のIMF6のヒルベルト位相角を示す。約2.14秒から3.0秒の間が、左遣いが「ズ」に従って動かしている手を合わせる左手の所作を示している。左前腕は主遣いの「ズ」の合図に約0.2秒遅れて反応し、約0.2秒長く動かしている。

「ホド」は「ズ」の始まりの合図である。同時に、義太夫の出す裏拍子と同様、主遣いは「ホド」を所作の裏拍子として用いている。即ち、主遣いは「ホド」の動かす速度と動作の大きさを裏拍子のように利用して、左遣いに合図を送っている。その意味で、義太夫の出す裏拍子と、主遣いが出す「ホド」は対応している。義太夫は次のリズムを、主遣いは次の所作の速度、方向等を、それぞれ、裏拍子と「ホド」という合図として出している。

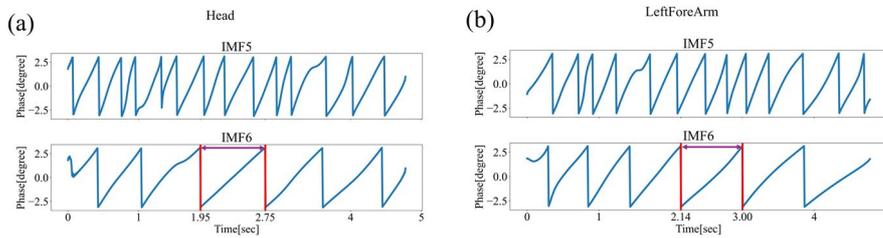


図4 (a),(b)首、左前腕の「ホド」に対応する IMF5 のヒルベルト位相

「ホド」の役割は重要で、人形が胸の前で「手を合わせる」ためには、左右の手の動きの速さ、大きさ、方向を合わせ、その動作ごとに、同期させる必要がある。このように、人形遣いは、義太夫の語り中さりげなく出される裏拍子に合わせ、「ホド」と「ズ」を用いて協調的な人形の操作を実現している。裏拍子、「ホド」、「ズ」は人形劇に埋め込まれており、観客にはその合図の意味がわからないようになっている。

#### 首と左腕の軌跡

図5は、「ズ」における、首と左前腕の運動軌跡をXY平面に投影したものである。軌跡の傾き、スケールは異なるが、(a)(b)の軌跡はほぼ一致する。さらに(b)の軌跡を4~5°右に回転させると、軌跡はほぼ完全に一致する。これは、左遣いが4~5°左斜めから見ているため、主遣いが、左手位置を補正しているためと考えられる。匠の技である。

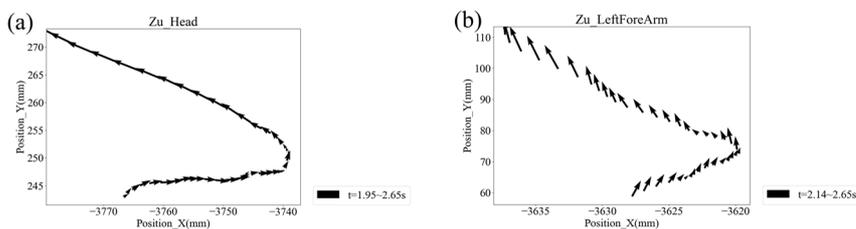


図5 「ズ」を使った、(a)首と(b)左前腕部分の軌跡の比較図

#### 序破急を使った文楽に於ける即興的非言語コミュニケーション

図2(b)「ホド」を示す IMF5 と図3(a,b)「ズ」を示す IMF6 のそれぞれの位相周期を比較すると、図2(b)「ホド」の位相周期は約0.4秒、「ズ」の位相周期は約0.8秒である。「ズ」の位相周期は、「ホド」の位相周期の倍になっており、義太夫が裏拍子で出す合図と一致している。これは、「ホド」が「ズ」における所作のリズムを規定していると考えられる。同時に、「ホド」により左遣いが操作する左手の動きの速さや大きさなどが規定されている。この協調動作は事前に決まっているわけではなく、義太夫と主遣いがその場その場で、即興的に、他の演者である左遣いや足遣いなどに合図を出し実現している。

文楽では、義太夫は物語の展開に合わせて、その場で即興的にリズムの緩急を変化させ、感情を作り出す。能も同様に、リズムの緩急を再帰的に変化させ物語を展開していく。主にリズムの緩急の変化を使った感情表現、演技方法を「序破急」と呼ぶ。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ekawati S., Cai D.	4. 巻 128
2. 論文標題 In Situ Observation of Magnetic Null on 19 September 2015 Event Using Magnetospheric Multiscale Mission	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 10-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JA029571	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Lembege B., Cai D. S., Ekawati Sri	4. 巻 937
2. 論文標題 Evidence of the Alfvén Transition Layer and Particle Precipitation in the Cusp Region: 3D Global PIC Simulation of the Solar Wind Earth Magnetosphere Interaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 127-137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac7e52	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Dong Ran, Cai Dongsheng, Hayano Shingo, Nakagawa Shinobu, Ikuno Soichiro	4. 巻 55
2. 論文標題 Investigating the Effect of Jo-Ha-Kyu on Music Tempos and Kinematics across Cultures: Animation Design for 3D Characters Using Japanese Bunraku Theater	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Leonardo	6. 最初と最後の頁 468-474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/leon_a_02250	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Lee Xinwei, Saito Yoshiyuki, Cai Dongsheng, Asai Nobuyoshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Parameters Fixing Strategy for Quantum Approximate Optimization Algorithm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering	6. 最初と最後の頁 10-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/QCE52317.2021.00016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山岡久俊, 蔡東生	4. 巻 35
2. 論文標題 非一様な計算周期を持つ非同期分散シミュレータが生成する時空間パターン	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 形の科学会誌	6. 最初と最後の頁 89-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山岡久俊, 蔡東生	4. 巻 62
2. 論文標題 大規模なインタラクティブシミュレーションのためのデータの階層化と拡散を特徴とする分散システム	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 548-559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山岡久俊, 蔡東生	4. 巻 35
2. 論文標題 非一様な計算周期を持つ非同期分散シミュレータが生成する時空間パターン	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 形の科学会誌	6. 最初と最後の頁 89-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Dong Ran, Cai Dongsheng, Ikuno Soichiro	4. 巻 20
2. 論文標題 Motion Capture Data Analysis in the Instantaneous Frequency-Domain Using Hilbert-Huang Transform	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 6534 ~ 6534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20226534	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Peikun Xiong, Shigeru Fujita, Masakazu Watanabe, Takashi Tanaka, and Dongsheng Cai
2. 発表標題 3D Topology of the Transient Bifurcation on the Verge of Substorm Onset
3. 学会等名 URSI GASS 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 D. Cai, Sri Ekawati, and B. Lembège
2. 発表標題 Evidence of the Alfvén Transition Layer in the cusp region: Global 3D PIC simulation of the solar wind - Earth magnetosphere interaction
3. 学会等名 URSI GASS 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Ekawati, and D. Cai
2. 発表標題 Identification of “ Trans-critical Bifurcation ” Magnetic Nulls in the Dayside Reconnection 19 September 2015 Event
3. 学会等名 URSI GASS 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	浅井 信吉  (Asai Nobuyoshi)  (80325969)	会津大学・コンピュータ理工学部・上級准教授    (21602)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------