

人と違う自由度のロボットと人はどう対話するか： 人-ロボット間のインタラクションデザイン再考

大澤 博隆[†] 今井 倫太[†]

本研究では Wizard of Oz 手法とテレオペレーション技術を組み合わせ、人間がロボットの入出力を借りてユーザとインタラクションを行い、人間以外のロボットの対話戦略における最適解を見つけ出すという手法を提案する。本研究では、身体部品が再構成可能なロボットを用い、人間と類似の自由度を持つロボットと、首が固定され人間と違う自由度を持つロボットを介した、積み木組み立て課題における対話戦略の変化を比較した。その結果、首が固定されたロボットの場合には、ユーザが確認動作を期待しなくなるため、ターンテイキングを必要としなくなることで、インタラクションが人間主導からロボット主導に移り変わるという知見が得られた。

How Humans Interact with A Robot with Different DOF: Rethinking Interaction Design between Human and Robot

HIROTAKA OSAWA[†] MICHITA IMAI[†]

We propose an alternative approach to find each robot's unique communication strategies. In this approach, the human manipulator behaves as if she/he becomes the robot and finds the optimal communication strategies based on each robot's shape and modalities. We implement the system including a reconfigurable body robot, an easier manipulation system, and a recording system to evaluate the validity of our method. We evaluate a block-assembling task by the system by turning on and off the modality of the robot's head. Subsequently, the robot's motion during player's motion significantly increases whereas the ratio of confirmatory behavior significantly decreases in the head-fixed design. In this case, the robot leads the users and the user follows the robot as in the turn-taking communication style of the Head-free condition.

1. はじめに

我々の世界は様々な形態と機能を持ったロボットに支えられるようになりつつある。このような社会において、人間から円滑な指示を受け取り、人間に情報を伝えるために、ロボットが人間に対しどのように振る舞えば良いのか、課題になっている。

インタラクションを円滑に行うため、従来では人間同士のインタラクションを規範として、ロボットのデザインが検討されて来た。二足歩行などの動作や感情表現など、ロボットの外観にかかわる研究 [1][2]、ジェスチャー、マナー、タイミングなど会話手段にかかわる研究[3][4][5]などが各個行われている。これらの研究では、図1左のように、人間同士のインタラクションでの様子を理想とし、これを再現するようなモデルをロボットに実装し、人間同士のインタラクションで得られる効果が、人間-ロボット間で同じように得られることを検証するという形で進められてきた。これは、人間の行なっているインタラクションが、人間

とロボット間においても最適な手法である、という前提に基づいたやり方である。

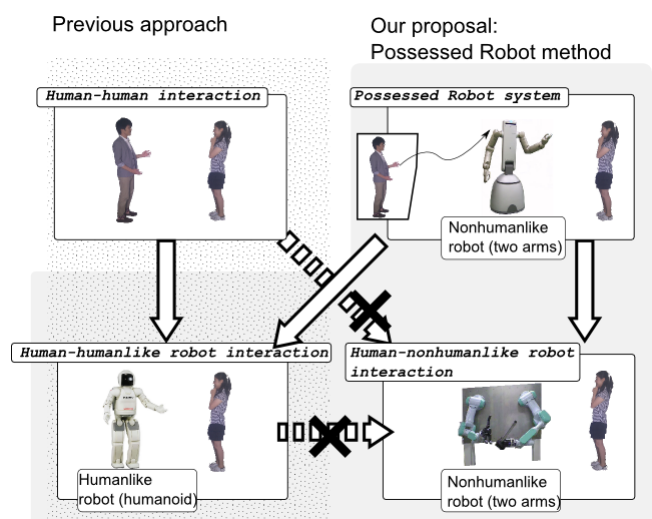


図1 ロボットのインタラクションの設計手法

しかしこのやり方は、人間形状以外のロボットにおいて、どのような振る舞いが対話に最適であるか、解答を与えない。ロボットのデザインはタスクに密接に依存しており、人間-人間間のインタラクションと同

[†] 慶応義塾大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University

程度の対話を達成する擬人化条件を揃えられない場合もある。人間－人間間のインタラクションの知見を目標にするというやり方は、図1左下のように、人間とヒューマノイドの対話は設計できても、その結果を図1右下のような、人間と異なる形状を持たざるを得ないロボットへ適用するのが難しかった。

ロボット独特のインタラクションを設計するため、本研究では Kelley らが UI 設計に用いた Wizard of Oz 法 (WoZ 法) [6]の考え方を採用し、人間がロボットを操って人間と直接インタラクションを行い、そこでロボットの入出力に合わせた独自の対話戦略を考える。

本研究では対話戦略のモデルケース探索例として、首が動く人型ロボットと動かない人型ロボットにおいて、ジェスチャでなしえる対話戦略がどう変わるかを評価した。首が動く人型ロボットは従来の HRI で使われてきた人型ロボットを模している。これに対し、首が固定されたロボットでは、本来人間が行える首の動作範囲を削っているため、独自の対話戦略が生まれえると考えられる。BIRON や SmartPal など、首のような可動部分を持たないロボットは実際に世の中で使われ始めており [7][8]、この種のロボットが、動作のみで人間に対しどのようなインタラクションを達成しうるか考えることは有用である。

本論文の構成は以下のとおりである。第2章では人間がロボットに成り変わってインタラクションデザインを考察する手法のどこに有用性があるか、既存研究の問題点とともにまとめた。第3章は関連研究である WoZ 法及びテレオペレーションについて述べ、拡張 WoZ 法に必要な要素をまとめ、4章で本手法を実行するためのシステムを説明する。5章では作成したシステムを使い、手と首が稼働するヒューマノイド型ロボットと、手のみが稼働する Head-fixed 型のロボットのそれぞれのインタラクションデザインを、ジェスチャのみを用いて積み木組み立て方法を伝達する課題を用いて評価した。評価結果を6章で示し、7章で結果について議論を行う。最後に8章で結論を述べる。

2. 人間がロボットに成り代わってインタラクションデザインを考察する利点

人間が理解しやすい動作は、かならずしも人間の動作を真似たものとは限らない。身近な動物であるペットを考える。我々はペットとインタラクションを取って情報をやりとりすることが可能だが、そのやり方は人間同士の場合とは全く異なる。また、ペットとの関係性は、道具に対する UI とも異なる。

ロボットはペットと同じく、人間界で活躍する第三者といえる。Paro や AIBO のような動物型のロボットは、動物に付随する要素と、ロボットにしかなしえない動作を用いてユーザを惹きつけ、ユーザの精神状態に有効な効果をもたらす [9][10]。またロボットは、ペットと異なる社会的な立場を取ることも可能である。Mu や Social Trash Box のように、人間の持つ要素の一部を誇張して、ユーザをインタラクションに誘導する戦略を持ったロボットも提案されている [11][12]。筆者らは家電製品の擬人化を行う対話戦略を研究しているが、これらのロボットも家電製品独自の身体性を生かした対話戦略を可能とし、擬人性を付与することで文化や年齢に依存しない情報提示が行える [13][14]。

しかしながら、これら人間形状を離れたロボットの対話戦略は、人間－人間間のインタラクションをベースにロボットのデザインを考える、という従来の HRI 研究の思考法では発想しづらく、人間型を離れて形状や入出力のモダリティをどう設計するかは、個々の研究者のアイディアに依存する所が大きかった。人間を規範とする手法は、人間同士に見られる知見をロボットで再現するため目標が明確で、研究を積み重ねやすく、貢献が生まれやすい。しかしながら、人間にできることを基準に置くため、ロボットならではの良さを突き詰めた対話戦略は生まれにくくなってしまう。del Pobil らは、現状のロボットの形状について、人間類似、動物類似、簡素化、道具の4点に分類したが、これらはあくまで人間・動物・道具からの類推にとどまっている [15]。ロボットはロボット独自の機能・入出力を持っており、独自の社会的地位を生かしたインタラクションが可能になると思われるが、現状の検討手法では、この特徴を生かしたインタラクションデザインを満足に探ることができていない。

従来行われてきたインタラクションデザインの特徴は、人間基準の手法にせよ、それ以外からの類推にせよ、人間が既存の知見をもとにして、システムの外部から必要になる動作をモデル化し、これを実装してモデルを検証するというやり方であった。これに対して本研究では、人間自身がロボットの入出力を借り、システムの内部から最適なインタラクションを探る、という手法を提案する。同様の手法は高齢者の立場になる「高齢者疑似体験セット」を用いたデザイン手法として、有効であることが示されている [16]。本研究では設計者が高齢者の代わりにロボットとして振る舞い、インタラクションデザインを考える。

3. デザイン考察手法の検討

3.1 Wizard of Oz 法

人間-計算機間のインタフェースを内部から改良する手法として、Kelly らが提案してきた Wizard of Oz 手法が挙げられる[7]。Kelley らは対話 UI を直接設計・実装して結果を評価するのではなく、まずキーボード等の入力装置を用いて人間が返答するシステムを作り、このプロセスを繰り返し改良することで UI の改良を行うことを提案した。WoZ 法は HRI のインタラクションモデルを被験者実験で評価する際、実験阻害要因となる雑音や認識ミスなどを排除し理想的なシステム動作を達成するためにもつかわれる。

Kelley らの提案した WoZ 法自身は、潜在的にあらゆるインタフェース改善に適応可能である。しかし Kelley らの想定している WoZ 法の適用では、人間の入力に対し応答を返すという、明確な状態遷移のある、どちらかという静的な計算機インタフェースのデザインを中心としているため、ロボットが行うような、実環境上で同時並行的に多数の情報がやりとりされる動的なインタラクションの場合、操作者の入力が間に合わなくなってしまう。本研究ではこのため、後述するテレオペレーション技術を用いて操作者の情報をモニタリングし、これを直接ロボットの動きに当てはめるという WoZ 法の拡張を行う。

3.2 遠隔操作技術

ロボットのテレオペレーションでは、人間が遠隔地のロボットを操作する。これらの技術は間接的に、ロボットのインタラクションデザインの知見を蓄積していると考えられる。たとえば葛岡らは GestureMan と呼ばれるロボットアバタの操作を研究し、テレオペレーションにとってよりよいインタフェースを提案している[17]。また、Glas らは、人間の操作者をロボットのバックアップして使い、複数台のロボットと人間の動作をマージすることで、効率の良い操作を行うことを提案している[18]。また、特に人間以外の形状のロボットやエージェントを人間が適切に操るシステムとして、マリオネットのシステムに近いものが存在する[19]。これらの中には、TurtleTalk のように商用で活躍するエージェントシステムもある[20]。

本研究ではこれらのテレオペレーション技術を WoZ 法に適用し、WoZ 法をより動的な評価に対応させる。Glas らの研究における操作者は、あくまで実地での HRI が円滑に行われることを目指して補助的に取り入れられたものであり、人間を通した対話をロボットの自律的な対話戦略にフィードバックする用途

を考えていない。そのため、動作時のユーザの行動をモニタリングし、分析する手段に欠けている。また、操作するロボットの形状や入出力のモダリティは固定されており、ロボットの形状を自由に試すことができない。

3.3 人間-ロボット間のインタラクションデザインに必要な要件

前章の内容をもとに、ロボットのインタラクションデザイン評価を行う手法に必要な要素について述べると、操作者の動作を動的にロボットに反映するための、モニタリングシステムと、様々なロボットの形状・入出力を試すためのロボットの可用性の2点となる。

4. インタラクションデザイン考察のためのシステム

4.1 モダリティ選択可能なロボット

人間型に近いものから遠いものまで、ロボットのインタラクションデザインを比較しながら評価するためには、複数の形状や入出力のモダリティをインタラクションデザイン評価者が自由に選択可能で、容易に比べられるようにしておく必要がある。複数の形状や入出力のモダリティを自由に評価するため、本研究では、パーツの分解や再構成が可能で、自由度を変更できるロボットを作成した（図2）。

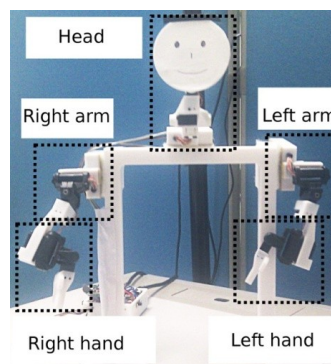


図2 モダリティ選択可能なロボット

本研究ではまず、人間型と非人間型の間のロボット形状を探ることを対象とし、人型ロボットのコミュニケーションによく使われる、頭、両手のパーツを別個作成した。頭は3軸のモータを持っており、傾きや首振り、首傾けなど、人間のコミュニケーションに必要な動作を再現可能である。腕は、根元に pitch 軸と yaw 軸の2つのモータを保持している。このモータを使って腕の指す方向を決めることができる。手は手先に rotate 軸のためのモータを1つ、pitch のための軸を1つ持っている。各モジュールは取り外し可能であ

り、ベルクロテープによって自由な場所に取り付け可能である。また、アクチュエータの稼働を制御して、自由度を変更したテストが可能となる。

4.2 操作者のモニタリングシステム

本手法では、人間の動きを直接モニタリングしてロボットの動きにフィードバックする。これによって、より動的な状況に対応したインタラクションの評価を達成する。本評価では、フィードバック手法としてモーションキャプチャシステム s250e を使用した[21]。このシステムでは、7つのカメラを使って人間の頭と手の動きをトレースする。各マーカは図3のように操作者に取り付けられた。



図3 モーションキャプチャによる操作者のモニタリング

本システムでは、操作者からモニタリングした情報をロボットに以下のように割り当てた。まず、頭に取り付けたマーカースの座標から頭の上の座標を求め、そこから首の根元である人体の中心座標を求める。垂直に下ろした座標として近似する。次に、人体の中心座標から、左右の腕の原点座標を求める。この際、測定される人間の体の向きは変わらないと仮定し、腕の原点座標を求める。最後に、腕の原点座標から手までのベクトルを求め、ここから yaw と pitch を腕の根元のモータに割り当てる。手のひらの向きを、ロボットの手の pitch と roll に割り当てる。

4.3 システムの接続

各モジュールは図4のように接続されている。操作者に対する入力にはビデオ画像で行われ、操作者からの出力には、モーションキャプチャーデータを元にした各アクチュエータへの出力データが使われる。ユーザーからロボットへの送信の際の送信遅延は 150ms 以下であり、通信遅延に伴う両者間のコミュニケーションの問題は発生しなかった。

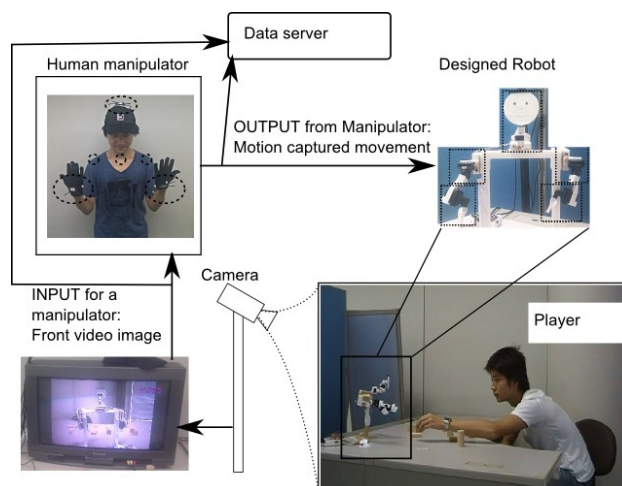


図4 各システムの接続図

5. 評価手法

5.1 評価項目選定のための予備実験

我々ははじめに学生 6 人（操作者・ユーザー×3組）のインタラクションを観察した。世の中で使用されているロボットのインタフェースには言語を介するもの、介さないものの両者が存在するが、今回は言語を介さない条件を設定した。

操作者の学生は首と手の動く Head-free 条件のロボット(図 2)を用いて、ユーザーである学生に図 5 のような 3 点の積み木を組み立てさせた。図の積み木はどれも、5 種類のブロックを組み立てる課題であり、指示回数はどれも同じく 5 から 8 回、30 秒から 1 分の間で組み立てが可能であった。指示者はまず組み立て後の図を確認し、積み木を動かすこと無く、ユーザーに対して積み木を動かす指示を行った。このようにして、人間同士の積み木構築の対話戦略を調べた。

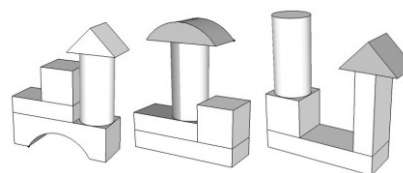


図5 積み木課題

その結果、情報伝達の対話戦略としてターンテイキング動作が基本となっていることを発見した。観察された手順を示す。まずユーザーが積み木を指し、指示者がうなずくか首を振って指示した物体が正しいかどうか確認した。次に指示者が積み木を持ち上げ、ユーザーがそれに対し手を使って回転方向を指示した。そして、ユーザーが積み木を置いた。置き方が正しい場合には、指示者は頷いた。これに対し、置き方が間違っている場合には、指示者は首を振った。

以上のように、会話の際にうなずきと首振りの両方の動作を使用して、ターンを回しながら会話が行われたことが分かった。人間は相手とコミュニケーションをする際に、頷き動作を使って確認を行う[22][23]。人型ロボットに対する場合も、同じ手順が用いられたと推測される。これより、人間同士の組み立て指示の場合にはターンテイキング動作が重要となること、そして、Head-free 条件では首を動かす動作がターンテイキングの制御に役割を果たしていることを確認した。

本予備実験を元に、本研究では人間類似の首のあるロボット(Head-free 条件)と首の固定されたロボット(Head-fixed 条件)の両者を作って、発話を用いず、積み木の組み立て方を教えるという課題を設定した。両条件はそれぞれ、ユーザの確認動作がやりやすい場合とやりづらい場合に当たる。この違いでインタラクションがどう変化するかを検討した。首が固定されたロボットのように、頷きといった手段が無い場合に、別の手段で確認動作を行うのか、それともインタラクション手法自体が変化するかを検討する。

5.2 インタラクションデザイン評価方法の選定

予備実験より、ターンテイキングや確認動作を定量的に測定できると望ましい事が分かった。ターンテイキングは発話による会話だけでなく、ジェスチャによる会話である手語においても観察される[24]。我々はターンテイキング動作の定量的な検出のため、操作者と使用者の行動の重複時間を利用した。既存の HRI 研究では、二人の話者の会話時の仕草の重複が多くなると、ターンテイキングが失敗することが示唆されている[25]。上記の結果を元にして、ターンテイキングの変化を評価項目として選定した。もしターンテイキングが人間同士の発話・手話と同じように行われる場合、ロボットの動作期間と人間の動作期間は重ならないと考えられる。これに対し、ターンテイキング以外の手法が行われていると、ロボットの動作と人間の動作期間が重なってしまうことが考えられる。ターンテイキング動作が行われていないからと言って、インタラクションが失敗していることにはならないが、人間の対話戦略と違う手法が行われていることはわかる。

本研究では定量的な動作評価として、動作時間の重複を計測する。重複時間として、人間の動作には厳密な測定が難しいので、物を持ち上げた時間を操作時間とし、ビデオから測定した。一方、ロボットの動作時間の測定としては、各モータがそれぞれ 1 秒間に 5 度以上動いた時を動作時間とした。本研究で測定する結果は厳密な動作の重複時間ではないが、ターンテイキ

ングを行っているかどうかを判定するためには、十分であると考えられる。

また、補助的な評価として、確認動作の数を評価した。予備実験より、Head-free 条件では、確認動作が頷きで行われることを確認した。また、首が固定されるようなロボット(Head-fixed 条件)の場合には、頷きが行えない。そのため、確認動作をどのように行ったか、実験後にアンケートで確認した。

5.3 評価環境

評価環境は図 6 の通りである。ロボットは机の上に設置されており、ユーザーの前にある。机の上には 8 個の積み木が置いてある。カメラの視点は、ロボットからの視点と同じ位置に合わせた。このため、操作者は相手の視点を確認することが可能である。

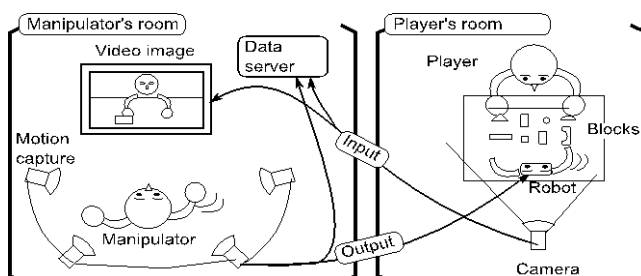


図6 評価環境

操作の様子を図 7 に示す。図の左側に操作者が立っており、その周りをモーションキャプチャカメラが囲んでいる。操作者の前に画面が置いてあり、その中にロボット、積み木、ユーザーがそれぞれ写っている。画面の右側に目標となる積み木組み立て図が置いてあり、操作者は画面と組み立て図を見ながら、画面の向こうのロボットの動かし、画面に映されたユーザーに対し 同じ積み木形状を組み立てさせる。

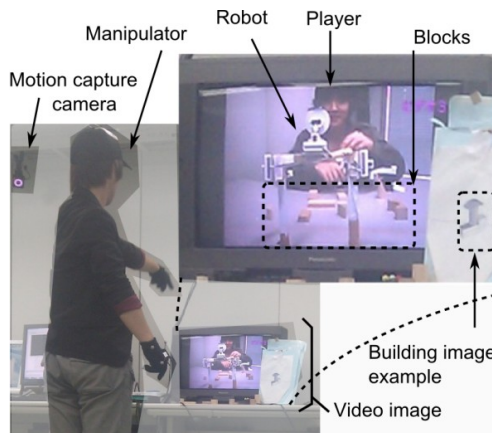


図7 実験風景

5.4 参加者および評価手順

36 人の被験者 (20 代学生。男性 34 人、女性 2 人)

が実験に参加した。18 人が Head-free 条件、残り 18 人が Head-fixed 条件に割り振られた。各 18 人はそれぞれ操作者とユーザーの 2 人組に分かれ、1 グループごとに 9 組のセットを作った。

評価はモーションキャプチャシステムの仕組みを学ぶ授業課題の一環として行われた。被験者はそれぞれ自分の身体スケールに合わせてモーションキャプチャのパラメータを調整し、自分の動作をロボットにマッピングした。そして、2 時間までの持ち時間を使用して、対話戦略を考えた。その後、各組 3 分の持ち時間を使って、相手に積み木の組み立てを伝達した。

6. 評価結果

Head-free 条件で 9 組中 1 組の男性組、Head-fixed 条件で 9 組中 2 組の男性組が、3 分の時間内に積み木の組み立てを終えることが出来なかった。残りの組は組み立てを時間内に達成できた。

Head-free 条件の、操作者とユーザーの操作重複時間を図 8 に示す。平均重複割合は.608 (SD = .062)である。一方、Head-fixed 条件の平均重複割合は.761 (SD = .125)であった。Welch の t 検定を適用したところ、 $p=.0043 < .01$ となり、両群の重複割合に有意差が発見された。また、時間内に終わらなかった組を除くと、Head-free 条件の平均重複割合は.615 (SD = .061)、Head-fixed 条件の平均重複割合は.792 (SD = .132)であり、Welch の t 検定の結果は $p=.01 < .05$ となり、やはり有意差が発見された。本結果より、ターンテイキングの割合が、Head-free 条件に比べ Head-fixed 条件で減少するということが示唆された。

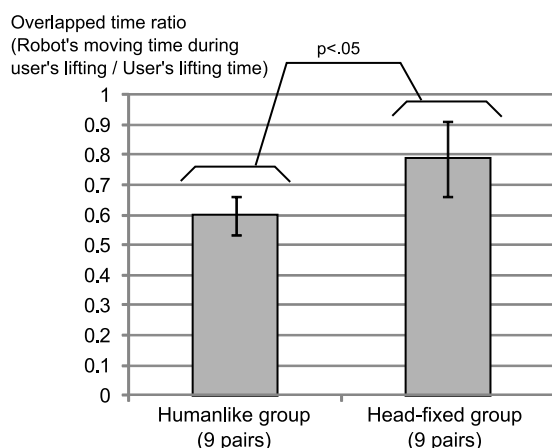


図8 Head-free 条件と Head-fixed 条件における、操作の重複時間の差

また、積み木を動かす前後の対話をチャンクという

名称で区切り、動かす前と後で確認動作が行われたかどうか比較した。実験後のインタビューにより、首を持った実験群では、9 組中全員が首のうなずきと首振りにより確認動作を送ったことが確認できた。これに対し、Head-fixed ロボットでは、9 組中 7 組が「手を挙げて承認、手を振って否定という確認をとった」と答えた (2 組は、確認動作を行っていないと答えた)。このため、首のないロボット組では、手を挙げる動作を確認動作として数え、それぞれ確認数を比較した。

人間が積み木を持ち上げる前にロボットが確認動作を実行した割合は、Head-free 条件で.63 (SD = .22)、Head-fixed 条件で.09 (SD = .19)であった。Welch の t 検定を適用したところ、 $p<.0001$ で有意差が示された。また、時間内に終わらなかった組を除くと、Head-free 条件で.62 (SD = .22)、Head-fixed 条件で.11 (SD = .20)、Welch の t 検定結果は $p<.001$ となり、有意差が示された。

また、人間が積み木を持ち上げた後にロボットが確認動作を実行した割合は、Head-free 条件で.78 (SD = .21)、Head-fixed 条件で.30 (SD = .24)、Welch の t 検定結果は $p<.001$ で有意差が示された。また、時間内に終わらなかった組を除くと、Head-free 条件で.62 (SD = .22)、Head-fixed 条件で.11 (SD = .20)、Welch の t 検定結果は $p<.001$ となり、有意差が示された。

以上より、確認動作の数は、Head-free 条件に比べ Head-fixed 条件で有意に減っていることがわかる。

また、個々の操作チャンクの時間と個数を比較した。個々のチャンクの平均時間は、Head-free 条件で 7.7sec (SD = 2.4sec)、Head-fixed 条件で 12.8sec (SD = 5.0sec)、Welch の t 検定結果は $p<.05$ ($p=.017$)となり有意差が示された。時間内に終わらなかった組を除くと、Head-free 条件で 7.1sec (SD = 1.8sec)、Head-fixed 条件で 13.3sec (SD = 5.4sec)、Welch の t 検定結果は $p<.05$ ($p=.02$)で有意差が示された。

一方、チャンクの合計数の平均は、Head-free 条件で 10.9 個 (SD = 6.0 個)、Head-fixed 条件で 13.2 個 (SD = 10.8 個)であった。これに対し、Welch の t 検定を行ったところ、 $p=.58$ となり、チャンク合計数に有意な差は確認されなかった。

7. 議論

7.1 ロボット主導の会話への変化

両群の重複時間と確認動作数に有意に優位に差が出たことは、Head-fixed 条件においてターンテイキングがより行われていないこと、確認動作が減っているこ

とを意味する。これは非人間型ロボットにおいて、ターンテイキングとは別の発話が生まれた事が示唆されている。

具体的にどのように会話に違いがあったか、個々の発話例を参照する。Head-free 条件では、9 人中 8 人のユーザが、ロボットがまず指し、それに対してユーザが対象を指し、これに対してロボットが頷く、という形で確認を取っていた。これに対し、1 人のユーザは、取る動作を先に行い、それに対してロボットが頷いて指示を行っていた。他の 8 人と異なり、このユーザは、時間内に積み木を組み立てさせることができなかった。上記の結果より、Head-free 条件では、ロボットが指し、ユーザが確認し、ロボットが確認するというやり方が主流であり、効率の良いやり方だったと考えられる。

これに対し、Head-fixed 条件では、ロボットが指し、ユーザがそれを取ると同時にロボットが確認なしに積み木への操作を示す動作に入り、ユーザがロボットの動きを模倣するというやり方で意思の伝達が行われていた。操作時間の重複はこの模倣行為がもたらしていたものと考えられる。また、Head-free 条件に比べ Head-fixed 条件での総対話時間及び、一度のチャンクの時間が長い。動画を確認したところ、Head-fixed 条件では、ロボットの模倣に時間を要する。このため、一つのチャンクの時間が伸びたと考えられる。一方、チャンクの総数には有意差が無かったため、伝えられた情報に差は無かったと考えられる。

以上の結果より Head-free 群では、指示者が行動し、ロボットがその都度確認を行う、指示者主導の会話が行われていると考えられる。これに対し Head-fixed 群では、ロボットが先に振るまい、被験者がそれを模倣するという、ロボット主導のインタラクションが行われたのではないかと考えられる。ロボットの指示に対し模倣を行うインタラクションでは、人間にインタラクションと異なり、システム側人間の行動が予測しやすくなる、という利点がある。本研究結果は、一般的なヒューマノイドの設計指針と異なり、人間の模倣が、ユーザーとシステムにとって情報伝達に最適なインタラクションを生むわけではない、という示唆を与えている。この示唆は、ロボットデザイナーの園山が提案してきた、タスク実行に対し不必要なロボットの表出を付け加えるとかえってユーザが混乱する、という設計指針を支持している[26]。

7.2 本研究の貢献達成範囲と将来課題

本研究では、Wizard of Oz 法とテレオペレーション

技術に基づき、人間同士のインタラクションマナーと異なる人間-ロボット間のインタラクション考察手法を提案した。今回の評価で得られた結果は、非言語情報を用いる場合、ロボットの確認動作がアクチュエータにより自然にやりづらい場合、ロボット主導の会話を生むということである。この結果自体はあくまで一切の言語情報が許されていない場合の状況を想定しており、言語情報を利用する実際の HRI 条件ですぐに使える結果というわけではない。

しかしながら、本手法を使うことで、人間間の知見を規範として進めてきた従来のロボットのインタラクションデザインでは発見できなかった、ロボット独自の新しい知見が発見できたと言える。この結果より、本評価手法を、色々な機能を持つロボットのインタラクションデザイン設計に適用して、新しいインタラクションデザインが発見できることが示唆される。

また、本評価で得られた知見は、極限状況や何らかの状況で言語が使えないロボット、言語を使うことで余計な負荷を与えてしまう状況には有効である。実際に首のないロボットの対話戦略として、ロボット主導のやり方を最初に試すのが有用であると考えられる。

本研究ではロボットのパーツのモダリティを制御したが、パーツの位置を変えたりパーツを削除するなど、人間型を離れたロボットデザインの検討はしていない。これらのデザインの評価は、将来課題として行う予定である。

8. 結論

本研究では Wizard of Oz 手法とテレオペレーション技術を組み合わせ、人間がロボットの入出力を借りてユーザとインタラクションを行い、ロボットの対話戦略における最適解を見つけ出すという評価手法を提案した。従来のロボットのインタラクションデザインは、人間間のインタラクションの知見をもとにインタラクションをモデル化し、これを実装して再現性を計るやり方であった。

ロボット独特の動作をデザインするため、本研究では発想を転換し、人間がロボットを操って人間と直接インタラクションを行い、そこでロボットの対話戦略を考える。本研究では評価手法を試すためのシステムを実装し、この手法の有効性を評価するため、首が動く人型ロボットと動かないロボットでのインタラクションを比較した。その結果、首が動かないロボットでは確認動作が行われなため、ターンテイキングではなくロボット主導で会話が行われることが分かった。

評価結果より、従来のロボットの設計手法では発見できなかった、ロボット独自の新しいインタラクション様式が発見できた。

参 考 文 献

- 1) Hirai, K., Hirose, M., Haikawa, Y., and Takenaka, T., 1998, The development of honda humanoid robot, In proceedings of the IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 1321-1326.
- 2) Blow, M., Dautenhahn, K., Appleby, A., Nehaniv, C., and Lee, D. 2006. Perception of Robot Smiles and Dimensions for Human-Robot Interaction Design, In Proceedings of the 15th IEEE Int Symposium on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN 06), IEEE , 469-474.
- 3) Kanda, T., Kamasima, M., Imai, M., Ono, T., Sakamoto, D., Ishiguro, H., and Anzai, Y. 2007. A humanoid robot that pretends to listen to route guidance from a human. *Autonomous Robots*, 22, 1, 87-100.
- 4) Lee, M.K., Kiesler, S., Forlizzi, J., Srinivasa, S., and Rybski, P. 2010. Gracefully mitigating breakdowns in robotic services. In *Proceedings of Human Robot Interaction*, 203-210.
- 5) Shiwa, T., Kanda, T., Imai, M., Ishiguro, H., and Hagita, N., 2009. How Quickly Should a Communication Robot Respond? Delaying Strategies and Habituation Effects. *International Journal of Social Robotics*, 1, 2, 141-155.
- 6) Kelley, J.F., 1984. An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications. *ACM Transactions on Office Information Systems*, 2, 1, 26-41.
- 7) Li, S., Kleinhagenbrock, M. Fritsch, J. Wrede, B. and Sagerer, G., 2004. "BIRON, let me show you something": evaluating the interaction with a robot companion, In proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 3, 2827- 2834.
- 8) Matsukuma, K., Handa, H., and Yokoyama, K., Vision-based manipulation system for autonomous mobile robot 'SmartPal', 2004. In *Proceedings of Japan Robot Association Conference*. 3D28.
- 9) Shibata T., Mitsui, T., Wada, K., and Tanie, K., 2002. Subjective Evaluation of Seal Robot: Paro – Tabulation and Analysis of Questionnaire Results -, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 14, 1, 13-19.
- 10) Fujita, M. and Kitano, H. 1998. Development of an Autonomous Quadruped Robot for Robot Entertainment, *Autonomous Robots*, 5, 7-18.
- 11) Matsumoto, N., Fujii, H., Goan, M., and Okada. M., 2005. Minimal communication design of embodied interface. In proceedings of the International Conference on Active Media Technology (AMT), pp.225-230 (2005).
- 12) Yamaji, Y., Miyake, T., Yoshiike, Y., De Silva, P. R. S., and Okada. M., 2010. STB: human-dependent sociable trash box. In *Proceedings of Human Robot Interaction*. 197-198.
- 13) 大澤 博隆, 大村 廉, 今井 倫太, 直接擬人化手法を用いた機器からの情報提示の評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.3, pp. 11-20, 2008
- 14) Osawa, H., Orszulak, J., Godfrey, K. M., Coughlin, J., Maintaining Learning Motivation of Older People by Combining Household Appliance with a Communication Robot, In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 5310-5316.
- 15) del Pobil, A. P., and Sudar, S. 2010. Lecture Notes of the Workshop on the Interaction Science Perspective on HRI: Designing Robot Morphology, at ACM/IEEE HRI 2010, <http://www.robot.uji.es/research/events/hri2010>
- 16) 田村徹, 牛田典彦, 大石巖, 擬似高齢者メガネ装着時における可読性の評価, 東京工芸大学工学部紀要 23(1), 76-82, 2001-01-31
- 17) Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Suzuki, K., and Mitsuishi, M., 2000. GestureMan: A Mobile Robot that Embodies a Remote Instructor's Actions, In *Proceedings of Computer Supported Cooperative Work*, 155-162.
- 18) Glas, D. F., Kanda, T., Ishiguro, H., and Hagita, N., 2008. Simultaneous Teleoperation of Multiple Social Robots, In *Proceedings of Human-Robot Interaction (HRI'08)*, 311-318.
- 19) Lee, J.K., Stiehl, W.D., Toscano, R.L., and Breazeal, C. 2009. Semi-Autonomous Robot Avatar as a Medium for Family Communication and Education. In *Proceedings of Advanced Robotics*. 1925-1949.
- 20) Disney, 2004. Turtle Talk with Crush, <http://disneyland.disney.go.com/disneys-california-adventure/turtle-talk-with-crush/>
- 21) OptiTrack s250e <http://www.naturalpoint.com/optitrack/products/s250e/>
- 22) Sacks, H., Schegloff, E. A., and Jefferson, G. 1974. A simplest systematics for the organization of turn-taking for conversation. *Language*, 50, 696-735.
- 23) Cassell, J. and Thórisson, K.R. 1999. The Power of a Nod and a Glance: Envelope vs. Emotional Feedback in Animated Conversational Agents. *Applied Artificial Intelligence*, 13, 519-538.
- 24) Baker, C. 1977. Regulators and turn-taking in American Sign Language Discourse. In L. Friedman. *On the Other Hand: New perspectives on American Sign Language*. New York: Academic Press. 215-236.
- 25) Chao, C., and Thomaz, A. L., 2010. Turn Taking for Human-Robot Interaction, In *Proceedings of AAAI Fall Symposium (Applied Artificial Intelligence)*
- 26) 園山隆輔. ロボットデザイン概論. 毎日コミュニケーションズ, 2007.