

## 二軸のロボットを用いた非言語チューリングテストの可能性の検討 Examination of the possibility of the non-language Turing test with the robot of 2 axes

飛田国星<sup>\*1</sup> 大澤博隆<sup>\*1</sup> 山田誠二<sup>\*2</sup> 今井倫太<sup>\*1</sup>  
Kunitoshi TOBITA Hiroataka OSAWA Seiji YAMADA Michita IMAI

<sup>\*1</sup> 慶應義塾大学  
Keio University

<sup>\*2</sup> 国立情報学研究所  
National Institute of Informatics

In this study, I built plural automatic movement models for the robot of two axes, and which movement model examined by the Turing test of the non-language for human operation whether you were near. I let a robot perform a task to guide a user to put the thing which fell in a box. As a result of having performed Turing test, that an automatic operation model of the robot which I built in this study cannot be distinguished from the result that a person operated a robot according to a user was suggested.

### 1. はじめに

近年、ユーザとの円滑なコミュニケーションを実現するために人間らしく動作することを目的としたシステムやロボットが多数開発されている。その中で、システムやロボットの動作が人間らしいかどうかを判定するための手段としてチューリングテスト [Turing 50] が注目されてきた。

従来チューリングテストは文字のみの交信に制限した会話をタスクとして行われてきた。チューリングテストを行う対象の一つとして、ユーザの質問に対して自動的に返答する自動会話システムが挙げられる。ELIZA [Weizenbaum 66] や A. L. I. C. E. [Wallace 95] といった自動会話システムは人間の返答と区別がつかないようユーザに対して自動的に返答することを目的として開発されており、特に A.L.I.C.E. は人工知能として最も人間に近いと判定された自動会話システムに贈られるローブナー賞を3回受賞している(2000年, 2001年, 2004年)。

しかし、会話をタスクとしたチューリングテストにはいくつかの問題がある。例えば、背景知識や状況、前提条件によってユーザがシステムに対して行う質問は様々に変化するため、ある会話内容でテストに合格しても会話全体に適用できるシステムであるとは言えない。つまり、ユーザがシステムに対して時事的な内容の質問をしなかった場合にテストに合格できても、時事的な内容の質問をした場合には人間ではないことがユーザに簡単に分かってしまうといったことが起きる。また、ユーザからシステムへの入力が自然言語であることから、入力パターンが無限に渡るためユーザのあらゆる質問を想定して人間と同じ精度で返答できるシステムを開発するのは困難であり、現在そのようなシステムは存在しない。

上記の問題に対し、これまでもさまざまな研究が行われてきた。飯塚らの研究では、必ずしも自然言語を使ってチューリングテストを行う必要はないとして、バーチャルな1次元上の空間で動作するアバターを使ったチューリングテストを行った [飯塚 2009]。被験者は指をレールにそって左右に動かすことでアバターを操作し、アバターが何かに接触すると爪の上に振動刺激が送られるという環境で、動作する相手のアバターが人間か自動動作かを判断した。また、石黒の研究では女性アンドロイドを使い、姿形や動作を含めて人間らしいかどうかを問う Total Turing

Test [Harnad 91] を行った [石黒 2011]。具体的には、対面する相手の服の色に注目するよう教示された被験者が、アンドロイドとの2秒間のみの対面を通して相手がアンドロイドであることに気づくかどうかをテストした。

しかし、振動刺激を使った研究では、テストの結果を実用的なタスクへと応用する事を想定していない。また、アンドロイドを使った研究では、被験者がアンドロイドと対面する時間の長さや被験者への教示内容にテストの結果が強く依存しているため、これらの条件を変えるとテストの結果が大きく変わってしまうと考えられる。

そこで本研究では、ゴミ箱を取り付けた2つの動作軸を持つロボットを使って非言語のチューリングテストを行う。ロボットには、落ちている物をゴミ箱の中に順番に入れるよう動きのみでユーザを誘導するというタスクを行わせる。ユーザの行動はロボットの誘導の通りに行動するかどうかに絞られるため、会話のようにユーザの様々な行動を想定してテストを行う必要がなくなる。また、本研究ではユーザからロボットへの入力をユーザの頭と両手の位置情報のみ、ロボットからユーザへの出力を2つのモータの動きのみとし、人間の操作と区別がつかない自動動作モデルの構築を容易に行うことを可能にする。

本論文の構成を述べる。2章ではロボットを使った非言語のチューリングテストを行うことを提案し、3章では予備実験について説明する。4章では自動動作生成システムの設計について述べ、5章で4章に基づく実装とロボットの動作例について述べる。6章ではチューリングテストによるロボットの自動動作モデルの有効性の検証実験を示し、7章で考察を示す。8章で本論文の結論を述べる。

### 2. 実験手法

ヒューマンロボットインタラクションにおいて、ロボットの動作が非常に簡略化されている場合でも十分に意図を伝えられることができることが分かっている [Yamaji 2010] [大澤 2011]。そこで、本研究では大澤らの研究で開発された2軸のロボットをチューリングテストに利用する (図1)。このロボットには上部に箱などの物体を取り付けることができ、取り付けられた物体の形状と動きを利用してユーザを誘導することができる。本研究ではゴミ箱を取り付け、落ちている赤、緑、青の3つのカラーボックスのうち2つをゴミ箱の中に入れるようユーザを誘導するタスクを行う。チューリングテストでは、自動動作と人間の操作者による手動操作の2通りでロボットを動作させる。

連絡先: 飛田国星, 慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻, 〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1, tobita@ayu.ics.keio.ac.jp



図 1. 2 軸のロボットの動作の様子

### 3. 予備実験: ロボットを介した人間-人間間のインタラクション

本予備実験は、20 代の男性 4 人にロボットの操作者となってもらい、ロボットの周囲約 0.8m に配置された 3 つのカラーボックスのうち 2 つだけをロボットに取り付けられたゴミ箱に入れるようユーザーを誘導するというタスクを行ってもらった。ロボットとインタラクションしてもらったユーザーとして、20 代の男性 2 人に依頼した。手動らしいと期待される操作を発見するために、操作者の操作によるロボットの動作を観察する。

ロボットの操作は、図 2 のコントローラの左右 2 つのアナログスティックによって行う。左のスティックを上下に動かすことで Pitch 方向の制御、右のスティックを左右に動かすことで Yaw 方向の制御を行う。Pitch 方向のモータの回転は水平面から前方約 20°, Yaw 方向のモータの回転は左右約 180°まで行うことができる。操作者にはロボットの周囲に配置してある 3 つのカラーボックスのうち 2 つだけをゴミ箱の中に入れるようユーザーを誘導するよう伝えた。また、ユーザーにはロボットの誘導の通りにカラーボックスをゴミ箱に入れるよう伝えた。実験後、ロボットの操作者には操作に関するインタビューを行った。



図 2. ゲームコントローラ

### 4. ロボットの自動システムの設計

3 節の予備実験において、操作者は 2 軸の単純な操作でも段階を踏まえて異なる意図を持ってロボットを操作した。そこで、以下の 3 つのステートに分けて予備実験で見られた操作を再現する。Pitch 方向に回転した時にゴミ箱が傾く向きをゴミ箱の正面方向とする。

1. ActStart: 操作者はロボットの動作軸の初期状態を確認するために Pitch 方向、Yaw 方向に数回回転させる操作を行った。その操作の再現として、Pitch 方向と Pitch 方向と Yaw 方向の回転を 1 回ずつ行う。Pitch 方向の回転では前方に約 20°の回転、Yaw 方向の回転ではランダムな大きさの回転を行う。

2. Preparation: 落ちていた物体を拾ってもらおう指示動作を行うために、操作者は Yaw 方向の回転によって指示対象にゴミ箱の正面を向ける操作を行ったため、その操作を再現する。その際、まずゴミ箱の正面方向を指示対象の位置より遠く離れた位置に向ける。具体的には、30°から 140°の範囲のランダムな大きさだけ余分に Yaw 方向に回転する。その後、指示対象に対して正面を向ける動作を行う。

3. Show: 操作者はゴミ箱の正面方向を指示対象に向けた後、縦振りと横振りの操作を繰り返し行って指示対象の向きを提示したため、その操作を再現する。それぞれの振りの回数はランダムに行われたため、状況に応じて回数を変化させる。縦横それぞれランダムであったため、本研究ではロボットとユーザーの頭、

指示対象の位置関係に応じてそれぞれの振りの回数を変化させる。また、位置の誘導のために、横振りの動作はユーザーのいる方向に対して行うようにする。

指示動作中にユーザーが指示対象の物体を箱の中に入れた場合、次の指示対象に対してゴミ箱の正面を向けて同様の指示動作を行う。すべての指示対象をゴミ箱に入れ終えた場合、ロボットの動作を停止させる。指示対象の位置がずれた場合にはゴミ箱の向きを修正し、ユーザーが拾ってほしくない物体に触れている場合には否定動作として機敏な横振りの動作を行う。

上記のステートをふまえ、図 3 のような自動動作モデルを構築した。また、ばらつきを再現するために各動作におけるモータの回転角の大きさと各動作の間の時間にはばらつきを与える。

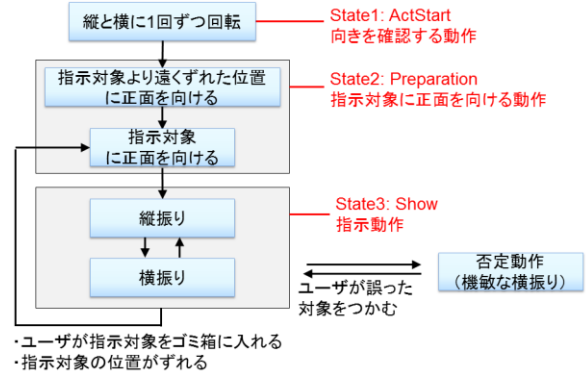


図 3. 自動動作モデル

### 5. ロボットの自動システムの実装

予備実験の結果、ユーザーの頭と両手、物体の位置がロボットとユーザーのインタラクションに必要であることが分かった。そこで、これらにマーカーを装着(図 5-A)し、モーションキャプチャで取得される位置情報から位置関係の情報やユーザーの行動データを算出し、ロボットのとるべき自動動作を決定する。ユーザーの頭の位置をユーザーのいる場所としてみなし、ユーザーの手と物体の距離が 25cm 以下の場合にはユーザーがその物体を掴んでいるとみなす。

本研究ではロボットとユーザーの頭、指示対象の位置関係を表すパラメータとして  $\theta$  値を用いる(図 4)。 $\theta$  値の大きさに応じて縦振りと横振りの回数を変化させる(表 1)。また、ロボットの動作の間の時間と、モータの回転値の大きさのランダム性の表現にはメルセンヌツイスタ法で生成した乱数を使う。

ロボットの動作例を図 5 に示す。ロボットは自動動作の開始直後、縦と横に 1 回ずつ回転する(図 5-B)。次に指示対象にゴミ箱の正面を向け(図 5-C)、縦振りの動作によって指示対象のある向きをユーザーに提示する(図 5-D)。また縦振りの動作の後、ロボットはユーザーの方に横振りの動作を行うことで指示対象のある向きを提示し、ユーザーの位置を誘導しようとする(図 5-E)。ユーザーが指示対象をゴミ箱の中に入れるまで縦振りと横振りの動作を繰り返し行う。指示動作の際、入れて欲しくない物体をユーザーが手にとってしまった場合は機敏な横振りの動作を行う(図 5-F)。

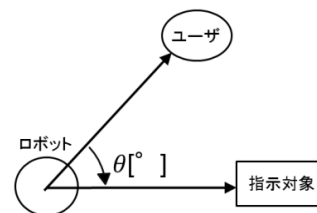


図 4. ロボットとユーザーの頭、指示対象の物体の位置関係

表 1. 縦振りと横振りの回数の決定

$\theta [^\circ]$	縦振り [回]	横振り [回]
$0 \leq \theta < 20$	3	0
$20 \leq \theta < 40$	3	2
$40 \leq \theta < 75$	2	2
$75 \leq \theta < 110$	3	3
$110 \leq \theta < 145$	2	3
$145 \leq \theta$	1	4

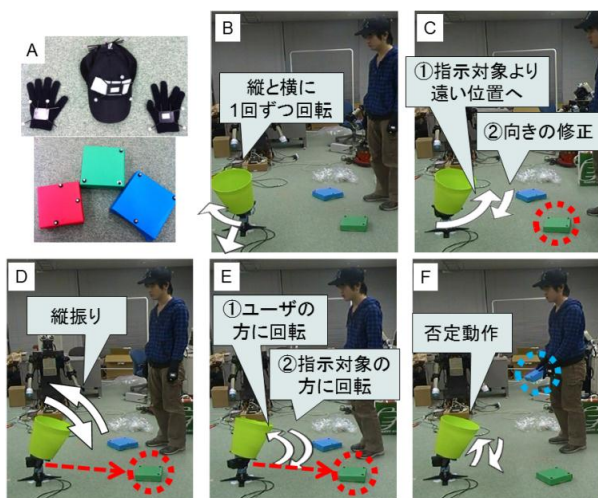


図 5. 自動動作システムの動作例

## 6. チューリングテストの実行

ロボットにゴミ箱を装着し、ロボットの周囲約 0.5m に配置された3つのカラーボックスのうち2つだけをゴミ箱に入れるようユーザを誘導するというタスクを行う。タスクの終了後、ユーザにはアンケートでロボットが自動と手動のどちらで動作していると思ったかを確信度に応じて3段階(1~3)で回答してもらう。タスクと回答は1人のユーザにつき3回ずつ行い、実験者が自動動作と手動操作の順番をランダムになるよう割り振る。ただし、全て自動動作、全て手動操作という割り振りは行わない。動作方法に関わらず、操作者には常にユーザから見えない位置に待機してもらう。手動操作ではゲームコントローラの左右2つのアナログスティックと、3つのボタンによって人間の操作者がロボットを操作する。3つのボタンを押すと、同じ色のカラーボックスにゴミ箱の正面方向を向ける。

実験の結果、ほぼ全てのユーザがロボットの誘導の通りに行動した。それぞれの正解数に対する人数の分布の様子を図6に示す。正解数の平均値は1.4、標準偏差の値は0.99となった。また、自動動作と手動操作のそれぞれにおける1試行分の得点の平均値を図7に示す。得点は、ユーザが正解した場合は確信度の値、不正解した場合は確信度に-1をかけた値であるとする。

## 7. 考察

本節では6節の実験結果についての考察を行う。

### 7.1 自動動作モデルの有効性

本研究で構築した自動動作モデルが人間の手動操作の代替システムとして有効なモデルかどうかを検証する。

図6をみると、15人中13人が少なくとも1度不正解となっていることがわかる。全試行で正解の2人のユーザは、2通りの動作の違いを感じ取ることができ、かつ自動動作と手動操作を判別した。全試行で不正解の3人のユーザは、自動動作と手動操作の判別はできなかったが、正解と真逆の回答をしたため、2通りの動作の違いを感じ取ることができていた可能性がある。また、被験者15人中3人は全て自動であると回答し、1人は全て手動であると回答した。これらの被験者については、自動動作と手動操作の区別が全くついていなかったと言える。

また、図7のように自動動作と手動操作の得点の平均値に関して対応が無く等分散の場合のt検定を行った結果、 $p = 0.743$ となったため自動動作と手動操作の間に差がなくユーザからみて区別できなかったとみなすことができる。また、自動動作に対する得点の平均値が0に近く、標準偏差が大きいことから、ユーザからみてロボットの自動動作が自動と手動のどちらか分からなかったことが示唆される。

アンケートとインタビューを行った結果、自動動作を手動操作だと思ったユーザのうち3人はロボットの動作が縦や横にぶれていて動きに無駄があったことを挙げていた。ばらつきのある縦振りと横振りの動作の繰り返しが人間らしい動作として認識されたことが分かる。また、ロボットの自動動作が人間の意識があるように見えたと答えた人が2人いた。

上記の結果を考慮すると、本研究で構築したロボットの自動動作モデルが人間の操作と区別がつかない動作モデルであることが示唆された。

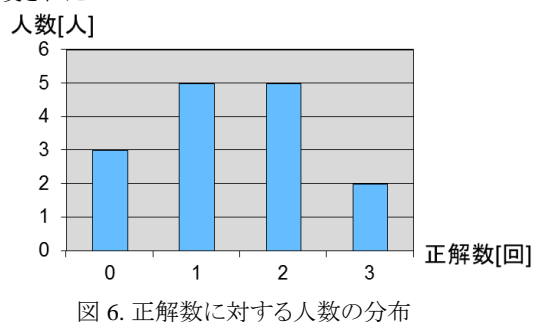


図 6. 正解数に対する人数の分布

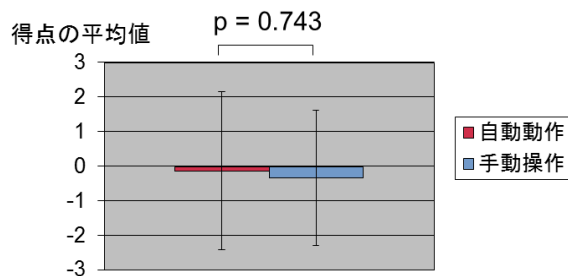


図 7. 自動動作と手動操作の1試行分の得点の平均値

### 7.2 ロボットの自動動作の改善

ロボットの自動動作において、ロボットが横に回転しながら縦振りをしていた時点で自動らしいと指摘したユーザがいた。操作者による手動操作では横回転と縦回転の操作をそれぞれ独立に行う傾向があることが観察されたため、横に回転している間は縦振りを行わないよう設計することで、ロボットの自動動作をより手動らしい動作にできると考えられる。

また、自動動作の場合に、物体を手を取ったときにロボットからの反応を感じる事ができなかったというユーザがいた。自動動作モデル構築のために行った予備実験では、ユーザは指示対象を手にとるとロボットの動作を見ずにすぐ物体をゴミ箱に入

れていたため、指示対象をつかんだときの動作の変化は用意しなかった。今回の実験では物体を手を取ったときにゴミ箱に入れるかどうか迷ってロボット の誘導の様子をみるユーザがいたが、動作に変化がなかったために自動らしいと判断する場合があったと考えられる。ほぼ全員のユーザがロボットの誘導通りの物体を手を取ってゴミ箱の中に入れたため、ロボットが否定動作を行うことが殆どなかったことも要因の 1 つであると考えられる。

また、否定動作の横振りの動作が指示動作における横振りの動作と似通っていたため、ロボット が否定動作をしても動作の変化をユーザが感じることができなかった場合があった。そのため、否定動作と指示動作の動作を差別化する必要があると考えられる。例えば、ユーザの反対側にゴミ箱を傾け続けて物体の投入を拒む動作を否定動作とすることが挙げられる。

## 8. 結論

2 種類のアクチュエータを持つゴミ箱ロボットを使ってチューリングテストを行った結果、本研究で構築したロボットの自動動作モデルがユーザからみて人間による操作と区別がつかないことが示唆された。また、ユーザの行動をロボットの誘導の通りに物を入れるかどうか絞ることができ、ユーザの行動や条件を様々な想定してテストを行う必要が無かった。また、ユーザからロボットへの入力をユーザの頭と両手の位置情報に、ロボットからユーザへの出力を 2 つのモータの動きに制限することで、人間の操作に近いロボットの自動動作モデルの構築を容易に行うことが可能にした。今後は多数のネットワークロボットや多数の動作軸を持つロボットへの応用を考えていく。

## 参考文献

- [Turing 50] Turing, A. M. 1950. Computing Machinery and Intelligence. *Mind* 59, 433-460.
- [Weizenbaum 66] Weizenbaum. ELIZA - a friend you could never have before., <http://www-ai.ijs.si/eliza/eliza.html>.
- [Wallace 95] Wallace. A. L. I. C. E. Artificial Intelligence Foundation., <http://www.alice.pandorabots.com/>.
- [飯塚 2009] 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎. 人は非言語作用において機械と人を区別できるか? - 非言語チューリングテストにおけるターンテイキングの創発 -. [No. 09-4] Proceedings of the 2009 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Fukuoka, Japan, May 24-26, 2009.
- [Harnad 91] Harnad, S. 1991, Other bodies, other minds: A machine incarnation of an old philosophical problem, *Minds and Machines* 1(1), 43-54
- [石黒 2011] 石黒浩. アンドロイドによるトータルチューリングテストの可能性. *人工知能学会誌* 26(1), 50-54, 2011-01-01.
- [Yamaji 2010] Yamaji, Y., Miyake, T., Yoshiike, Y., De Silva, P. R., and Okada, M., 2010. STB: Intentional Stance Grounded Child-dependent Robot. *Social Robotics, Lecture Notes in Computer Science*, 6414(2010), 71-80.
- [大澤 2011] 大澤博隆, 桑山裕基, 今井倫太, 山田誠二. 2軸のアクチュエータのみを用いた意図伝達モデルの検討. The 25th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2011.