

# パラ言語に基づいた会話ロボットの精神リズム同調モデル

A Mental Rhythm Synchronous Model Using Paralanguage for Communication Robot

林 貴宣      加藤 昇平      伊藤 英則  
Takanori HAYASHI      Shohei KATO      Hidenori ITOH

名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻

Dept. of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

We aim to realize smooth human-robot communication. This paper describes a communication model based on synchronization between human paralanguage and robot paralanguage. To communicate this way, we also describe robot's mental rhythm that controls robot's own paralanguage and entrain robot's mental rhythm into human paralanguage rhythm. To investigate our proposed model, we build three robots: one has our communication model and the others have the extreme models which completely imitate human paralanguage or not imitate at all. We have made some conversations between human and each of three robots. The experimental results show that conversation with synchronization between human paralanguage and robot paralanguage gives robot's positive impression on human.

## 1. はじめに

近年、案内ロボットや介護ロボットなどの普及に伴い、ロボットがより人々の身近になりつつある。そのため、これまで以上にロボットと人間との関係が重要になり、人間とのコミュニケーションを目的としたロボットの研究が盛んに行われている。なかでも会話は、コミュニケーションにおいて重要な役割を果たす。人間は会話において、言葉の意味をただ伝えるだけでなく、発言時間、沈黙時間、イントネーション、アクセント、音圧レベル、発話速度などの非言語情報（以下「パラ言語」と呼ぶ）を含めることで、円滑なコミュニケーションをとっている。パラ言語は、各人に固有であることが知られており、2話者間の会話において、2者のパラ言語は互いに引き込み同調することが確認されている [木村 04]。

ロボットと人間の同調については、リズムを用いた同調に関する多くの研究が行われている。例えば、[橋本 06] はロボットと人間の握手動作に注目し、握手における人間の相互作用力をロボットの神経振動子リズム生成器へ入力することにより、ロボットの自然な握手の動作制御を実現している。また、[小笠原 04] は人間が示す繰り返し動作のリズムをロボットの繰り返し動作のリズムに対応させることで同調を実現し、同調によって表れたリズムを用いてロボットに人間の意図を推定させる手法を提案している。

そこで我々は、リズムによる同調を会話制御に応用する。本稿では、会話ロボット ifbot のパラ言語を対話者のパラ言語に合わせて変化させる同調モデルによる会話制御手法を提案する。これにより、人間とロボットのより円滑なコミュニケーションを実現する。

## 2. 会話ロボット ifbot

図 1 に会話ロボット ifbot [BDL] の外観を示す。ifbot は身長 45[cm]、体重 8[kg] で、2本の腕を持ち、車輪によって移動するロボットである。同ロボットには音声合成および音声認識の機能が搭載されており、胸部に設置された音声認識マイクよ

連絡先: 林 貴宣, 名古屋工業大学, 〒 466-8555, 愛知県名古屋市昭和区御器所町, TEL: 052-735-5625, hayashi@juno.ics.nitech.ac.jp



図 1: 会話ロボット ifbot

り外部の音声を読み取り、腹部に設置されたスピーカーを用いて発話することで、人間との会話を実現することができる。

## 3. 同調モデル

図 2 に本稿で提案する同調によるパラ言語制御モデルの概要を示す。本稿ではロボットと対話者との間で交互に発話が行われる会話形式を考え、対話者のパラ言語に合わせてロボットのパラ言語を変化させる会話制御手法を提案する。そのために、精神テンポと呼ばれる概念を利用する。精神テンポとは各人固有のテンポで、会話、歩行、作業などの身体活動に影響を及ぼすことが知られている [松田 80]。本稿では、この概念を数理モデル化した精神リズムを提案する。そして、精神リズムをロボットに導入し、ロボットの精神リズムを対話者のパラ言語に引き込ませる。このとき、対話者のパラ言語からリズムを算出しリズムによる引き込み同調を行う。そして、対話者に合わせて同調させたロボットの精神リズムを用いて、ロボットが表出するパラ言語を制御する。

本稿ではロボットが表出するパラ言語として、交替潜時を用いる。交替潜時とは、一方の話者が発話を終了してから他方の話者が発話を開始するまでの時間、つまり、話者交替に要する時間のことである。この交替潜時の長さは、対話者間で同調することが実験により示されている [長岡 01]。これは、会話において話者は対話者の交替潜時の長さの変動を敏感に感じ取り、話者自身の交替潜時を調整するためだと考察されている。また、対話において話者が話し始めるためには、対話者の発話

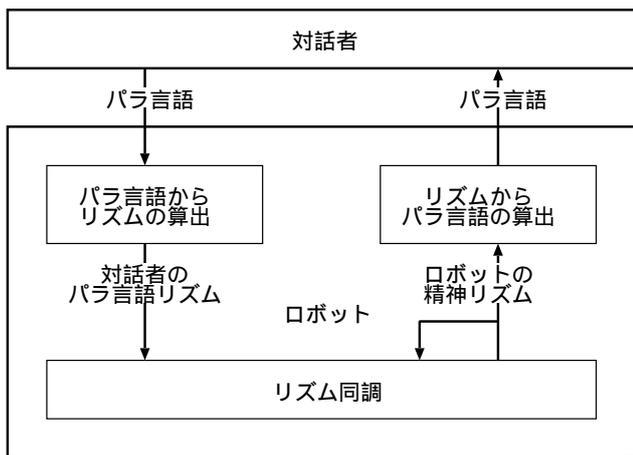


図 2: パラ言語制御モデルの概要

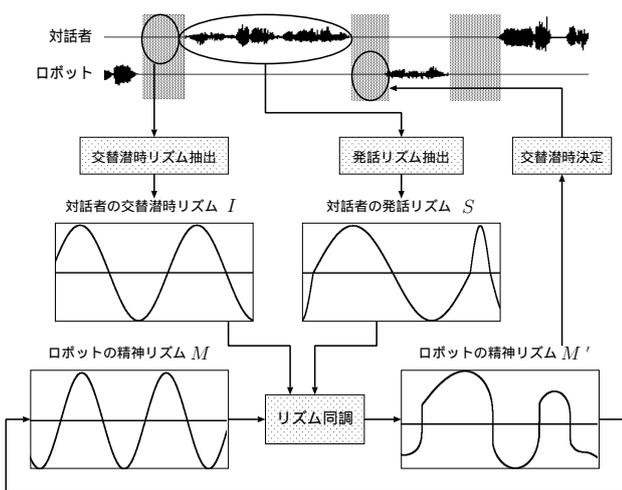


図 3: 同調モデルの計算手順

における発話途中の間と発話終了の間を見極めなければならない。そのためには、対話者の発話速度を意識する必要があり、その結果として、交替潜時は対話者の発話速度の影響を強く受けていることが実験により観察されている [大石 06]。つまり、話者の交替潜時は、対話者の発話の時間的構造、すなわち交替潜時および発話速度の影響を受けていると言える。そこで、本稿ではロボットの交替潜時に影響を与える要因として、対話者のパラ言語のうち、交替潜時リズムと発話リズムの情報を用いる。

図 3 に本稿で提案する同調モデルの計算手順を示す。同図上段はロボットと対話者の会話におけるそれぞれの発話音声波形および交替潜時を表す。対話者の直前の交替潜時から「交替潜時リズム抽出器」を用いて交替潜時リズムを算出する。同様に、対話者の直前の発話音声波形から「発話リズム抽出器」を用いて発話リズムを算出する。これらのリズムにロボットの精神リズムを引き込み同調させることで、ロボットの精神リズムを対話者に合わせて変化させる。そして、変化した精神リズムを用いてロボットが次に表出する交替潜時を制御する。

### 3.1 ロボットの精神リズム $M$

精神リズム  $M$  の数理モデルとして van der Pol 方程式を用いた。van der Pol 方程式は、自らが振動を生じる自励振動特性および同調振動に見られる引き込み特性を持った非線型振動子を表す。ロボットの精神リズム  $M$  の時刻  $t$  における変位  $m(t)$  を以下の式で定義する。

$$\ddot{m}(t) = -\omega_0^2 m(t) + \epsilon(1 - m(t)^2)\dot{m}(t) + \alpha i(t) + \beta s(t) \quad (1)$$

ここで、 $\omega_0$ 、 $\epsilon$  はそれぞれエネルギー保存係数、粘性係数であり、これらにより精神リズム  $M$  の基本波形が決定される。また  $i(t)$ 、 $s(t)$  はロボットに同調させる対話者のパラ言語情報であり、対話者の交替潜時リズム  $I$  および発話リズム  $S$  のリズム波形上の時刻  $t$  におけるそれぞれの変位を表す。 $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$ 、 $\beta(0 \leq \beta \leq 1)$  はその際に用いる引き込み係数で、これらを変化させることで対話者のパラ言語に対する同調のしやすさを調節できる。そして、同調を通して変化したロボットの精神リズム  $M'$  の周期情報を用いてロボットが次に表出する交替潜時を制御する。

### 3.2 対話者の交替潜時リズム $I$

対話者の交替潜時リズム  $I$  の時刻  $t$  における変位  $i(t)$  を以下の式で定義する。

$$i(t) = \sin\left(\frac{2\pi t}{kp}\right) \quad (2)$$

ここで、 $p$  は対話者から観測される交替潜時長であり、 $k$  は定数である。交替潜時リズム  $I$  は対話者の交替潜時長  $p$  を  $k$  倍した周期を持つ正弦波で表現する。交替潜時が長いと緩やかな交替潜時リズム、交替潜時が短いと激しい交替潜時リズムが生成される。

### 3.3 対話者の発話リズム $S$

対話者の発話リズム  $S$  は、対話者の音声から抽出した音声波形における 1 音節と無音区間をそれぞれ半周期とした波で定義する。図 4 に発話音声「きのうせつめい」に対する発話リズムの算出例を示す。まず、音声波を半波整流してから低域通過フィルタを通すことで振幅包絡線を得る。低域通過フィルタの遮断周波数は 80[Hz] とした。そして、振幅包絡線の凹凸形状から正弦波を再現することで波を整形し発話リズム  $S$  を算出する。

## 4. 関連研究

ロボットの交替潜時に関する先行研究として、[志和 09] の研究が挙げられる。同研究では、ロボットの交替潜時の長さの変化が対話者に与える印象の変化について報告されている。しかしながら、ロボットの交替潜時を 1 秒単位でしか設定しておらず、また、対話者が発話終了時にボタンを押すことで発話終了をロボットに伝える方法がとられているため、タイムラグが発生すると考えられ、交替潜時という短時間な間を扱う研究としては限界がある。さらに、対話者の個性や対話者との同調に関する検討は行われていない。

我々は、本稿で提案した精神リズム同調モデルを実ロボット ifbot に実装している。本モデルの実装システムでは、ロボットに音声を知覚させ、対話者の発話終了を自動認識させることで、交替潜時の短時間な間を正確に扱うことを試みた。さらに、対話者と直接会話し動的に同調することが可能なため、対話者の個性を反映する会話制御システムを構築したと言える。

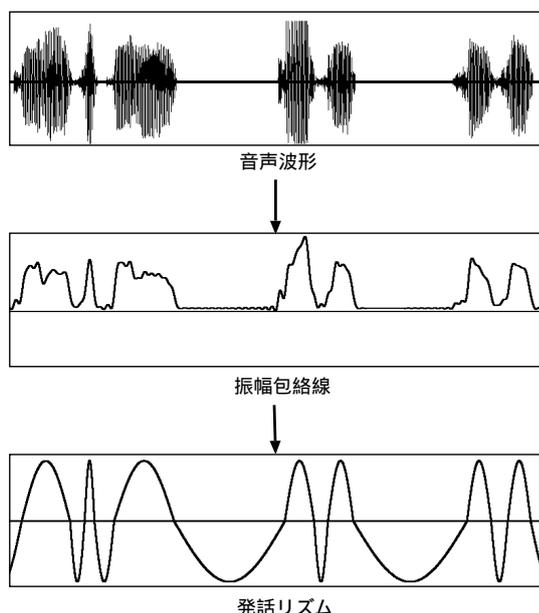


図 4: 発話音声「きのうせつめい」に対する発話リズムの算出例

## 5. 評価実験

本稿で提案した同調モデルを ifbot に実装して会話実験を行った (図 5)。ここでは、同調モデルを搭載したロボットが対話者にもたらす印象効果について評価する。

人間同士の会話における交替潜時の同調に関する評価印象としては、2 者がそれぞれテレフォンショッピングのオペレータと客を模して行った実験がある [長岡 05]。この実験によると、テレフォンショッピングのオペレータは、客の交替潜時に自身の交替潜時を同調させることで、客から良い印象を得ることが確認されている。このことから、ロボットの交替潜時を対話者の交替潜時に引き込ませることで、対話者のロボットに対する対話印象が向上することが期待される。一方で、[Giles 79] は対話者のパラ言語をすべて真似ることが良い印象を生むわけではなく、同調には最適な度合いがあると指摘し、パラ言語をすべて合わせるよりも一部を合わせない方が好ましい評価が得られることを実験により示している。

そこで本実験では、同調の度合いが異なる以下の 3 種類のロボットを用意し、被験者と会話をさせることで、ロボットのパラ言語に関する主観評価を行う。

- (a) 同調型: 本稿で提案した精神リズム同調モデルを搭載したロボット
- (b) 模倣型: 対話者のパラ言語を単純に模倣するロボット
- (c) 固定型: 対話者の影響を受けずに固有のパラ言語を維持し続けるロボット

なお、比較対象として用いる模倣型、固定型の各ロボットは、本稿で提案した同調モデルにおける引き込み係数を調節することで実現可能である。模倣型は引き込み係数を  $\alpha = 1, \beta = 0$  とした対話者と交替潜時を一致させるロボットであり、また、固定型は引き込み係数を  $\alpha = 0, \beta = 0$  とした対話者に一切同調しないロボットである。

また、会話実験は特定のシナリオに従って行った。本研究はパラ言語に着目した研究であり、本システムは言語情報を認



図 5: 実験場面

識、考慮していない。そのため、思考時間など言語会話特有の情報が実験に影響することを防ぐ目的でシナリオを用いた。

ロボットの印象評価には SD 法 [福田 04] を用い、以下の 10 個の形容詞対に対する 7 段階評価で実施した。

- 人間的な – 機械的な
- 自然な – 人工的な
- 複雑な – 単純な
- 知性がある – 知性がない
- 社会的な – 非社会的な
- 柔らかい – 硬い
- 面白い – 退屈な
- 好きな – 嫌いな
- 親しみやすい – 親しみにくい
- 温かい – 冷たい

大学生男女 19 名の被験者に上記 3 種類のロボットとそれぞれ会話させた。会話内容はすべてのロボットで同一のシナリオを用いた。それぞれの会話終了後に上記の項目についてロボットに対する印象をアンケートに回答させた。

図 6 に評価結果を示す。棒グラフは各ロボットに対する評価の平均値と標準偏差を示す。Scheffe 法による多重比較の結果、有意水準 5% で有意差が確認された項目同士について項目ごとに棒グラフ上の括弧で示す。なお、被験者 19 名のうち 3 名については、非言語情報ではなく言語情報に着目してしまい本実験の意図から外れたため除外した。

図 6 の結果から、本稿で提案した同調によってパラ言語を変化させる同調型は対話者に対してポジティブな印象を与えることが確認された。中でも従来手法であるパラ言語を変化させない固定型と比較して、「人間的な – 機械的な」「自然な – 人工的な」「複雑な – 単純な」「知性がある – 知性がない」「柔らかい – 硬い」「親しみやすい – 親しみにくい」「温かい – 冷たい」の 7 項目で有意にポジティブな印象を与えると評価された。また、模倣型 – 固定型間でも「温かい – 冷たい」の項目について模倣型の方が有意に「温かい」と評価された。このことより、対話者に同調してロボットの表出するパラ言語を変化させることが対話印象の向上に有効であることが確認できた。さらに、同調型 – 模倣型間では、「柔らかい – 硬い」の項目に

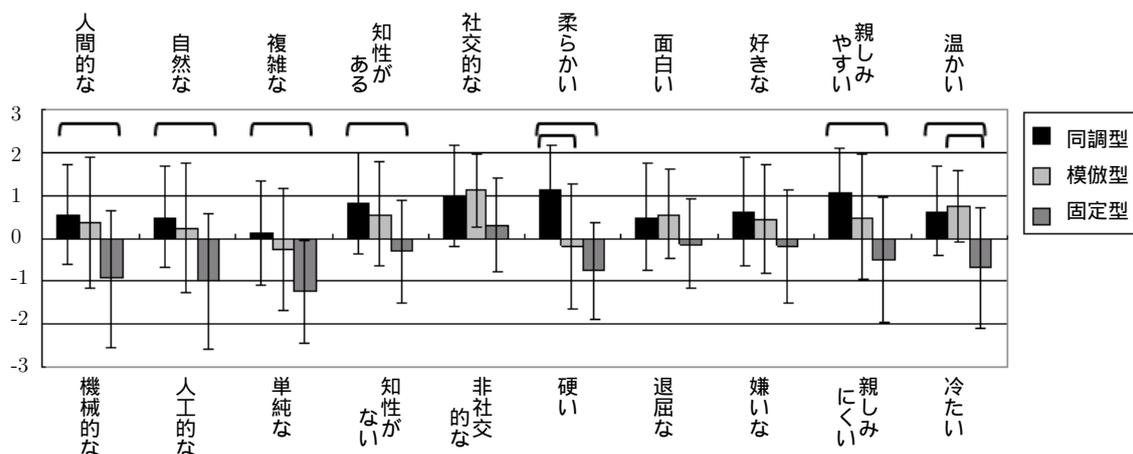


図 6: 3つのロボットに対する印象評価の結果

において有意な差が見られた。これは、対話者のパラ言語の変化に対して、それを真似してパラ言語を急激に変化させる模倣型よりも、ロボットが自己の精神リズムを持ちつつも対話者のパラ言語に徐々に近づく同調型の方が「柔らかい」と感じられたためと考えられる。以上の結果から、人間とロボットの会話においても、ロボットの交替潜時を対話者の交替潜時に引き込ませることが、対話者のロボットに対する対話印象の向上に有効であることが確認された。また、ロボットが対話者のパラ言語を完全に真似ることが必ずしも良い印象を生むわけではなく、同調には適度な度合いがあることが示唆され、[Giles 79]を支持する結果が確認された。

## 6. おわりに

本稿では、人間とロボットのより円滑な会話を目指し、発話音声に含まれる非言語情報であるパラ言語の同調現象に着目した。対話者のパラ言語に合わせてパラ言語を変化させるロボットを実現するために、ロボットに精神リズムを導入し、リズム同調を用いた同調モデルによる会話制御手法を提案した。そして、会話ロボット ifbot に本システムを実装し、印象評価実験により本モデルの有効性を確認した。

本稿では、評価実験において、対話者に対する同調の度合いの異なるロボットを3種類のみ実装した。そのため、同調の度合いが限定され、同調の度合いによるロボットの印象変化についての考察が不十分に感じられた。今後は引き込み係数を細かく変化させ、同調の度合いとロボットの対話印象の関係を解明する予定である。また、本稿ではロボットが表出するパラ言語として交替潜時のみを扱い、交替潜時を同調させるだけで対話者にポジティブな印象を与えることを確認したが、今後は、声の大きさや高さ、発話速度など他のパラ言語についても、同調し表出するモデルを考えている。

## 参考文献

[BDL] Business Design Laboratory Co., Ltd.: The Extremely Expressive Communication Robot, ifbot. <http://www.business-design.co.jp/en/product/001/>

[福田 04] 福田 忠彦: 人間工学ガイド - 感性を科学する方法 -, サイエンス出版社, 2004.

[Giles 79] Giles, H., Smith, P.: Accommodation theory: optimal levels of convergence. In Giles, H., St Clair, R. N. eds: Language and Social Psychology. Oxford: Basil Blackwell, pp. 45-65, 1979.

[橋本 06] 橋本 稔, 春日 智史, 一葉 武史: 同調性を考慮した人間とロボットの握手インタラクション, 日本ロボット学会第11回ロボティクスシンポジウム, pp. 56-61, 2006.

[木村 04] 木村 昌紀, 余語 真夫, 大坊 郁夫: 感情エピソードの会話場面における同調傾向の検討 - 擬似同調傾向実験パラダイムによる測定 -, 対人社会心理学研究, Vol. 4, pp. 92-99, 2004.

[松田 80] 松田 君彦: 精神テンポに関する一考察 - その地域要因の分析 -, 鹿児島大学教育学部研究紀要. 人文・社会科学編, Vol. 31, pp. 123-136, 1980.

[長岡 01] 長岡 千賀, Draguna, R. M., 小森 政嗣, 河瀬 諭, 中村 敏枝: 交替潜時の対話者間影響, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001 論文集, pp. 221-224, 2001.

[長岡 05] 長岡 千賀, 小森 政嗣, 中村 敏枝: 音声対話における反応潜時が話者印象評定に及ぼす影響 - 社会的スキルの程度による評定の手がかりの相違 -, 電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol. 104, No. 745, pp. 57-60, 2005.

[小笠原 04] 小笠原 嘉靖, 田島 敬士, 島山 誠, 西田 豊明: 引き込み現象に基づく人間とロボットの暗黙情報のコミュニケーション, 第18回人工知能学会全国大会, 2B3-05, 2004.

[大石 06] 大石 周平, 尾田 政臣: 話者間の精神テンポの差がコミュニケーションの円滑化に及ぼす影響 - 交替潜時を指標として -, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, Vol. 105, No. 536, pp. 31-36, 2006.

[志和 09] 志和 敏之, 神田 崇行, 今井 倫太, 石黒 浩, 萩田 紀博, 安西 祐一郎: 対話ロボットの反応時間と反応遅延時における間投詞の効果, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 1, 2009.