

1 自由度で生物らしいペットロボット「アナゴネコ」の開発 および躍度最小モデルによる運動軌道が 生物らしさとインタラクション意欲に与える影響の検討

五十里 翔吾^{1,a)} 仲田 佳弘¹ 呉羽 真¹ 松井 瑚子² 才脇 直樹^{1,2} 石黒 浩¹

概要：ペット動物が人とのインタラクションの中で普遍的に行う、(1) 人から餌をもらうこと、(2) 人と接したくないときには逃げるという行動を表現できれば、たとえ制限された動きでも生物らしい振る舞いが実現できると考えた。そして、これらの行動をモータ1つで表現できる1自由度ロボット「アナゴネコ」を開発した。開発した「アナゴネコ」の運動軌道を生物の随意運動のモデルである躍度最小モデルで生成することで「アナゴネコ」がより生物らしさやインタラクション意欲を感じさせやすくなるかを、Web調査と対面実験によって検討した。その結果、躍度最小軌道が速度一定の軌道に比べて生物らしさを知覚させられるという結果は得られず、インタラクションを促進するという効果も認められなかった。一方で、どちらの条件でも実験参加者は平均60回以上ボタン押しを行っており、「アナゴネコ」は人からの能動的な働きかけを十分に引き出せていたと考えられる。

1. はじめに

近年、様々なペットロボットが開発、実用化されている。ペットロボットとのインタラクションは人に様々な好影響をもたらすことが明らかになっている。ペットロボットとのふれあいが精神的な安らぎをもたらすことは以前から知られており [1]、介護施設において入居者のストレスに関わるホルモンの状態が改善したという結果も報告されている [2]。

また、医療やセラピーとしての利用のみならず、LOVOT(<https://lovot.life/>) などの家庭用ペットロボットも盛んに開発されるようになってきている。しかし、人に飽きられず長期的に受け入れられるペットロボットのための確立された設計論が存在するわけではない。実際、これまでに開発された多くのペットロボットも時間が経てば飽きられてしまうという問題点が指摘されている [3]。

既存のペットロボットの多くは、身体表現や表情の変化による感情の表現 [4] のバリエーションを増やすことによって人の働きかけにตอบสนองするパターンを多様化させ、人の関心を持続させるための実装が行われている [5]。例えば、感情生成モデルをもたせることによって外界の変化に対して感情の遷移を起こすようなシステムが提案されている [9]。

また、相手によって反応を変えるために、ペットロボットに触れた人を識別するシステムも開発されている [6]。他にも、実際の動物の身体の動きを参考にし、実際に生きているかのように呼吸の表現を行うことで生き物らしさを表現する試みも行われている [7][8]。

以上のようなアプローチでは、ロボット自体の行動パターンを作り込むことでロボットの生き物らしさの向上や、人のロボットに対するインタラクション意欲の向上を実現している。一方で、点の単純な運動であっても、質点に向きを変えた場所に別の点が描画されていれば、人はあたかも質点が外界を認識してそれを避けたように認識し生き物らしさを感じるといった、生物らしさの状況依存性 [10] が知られている。

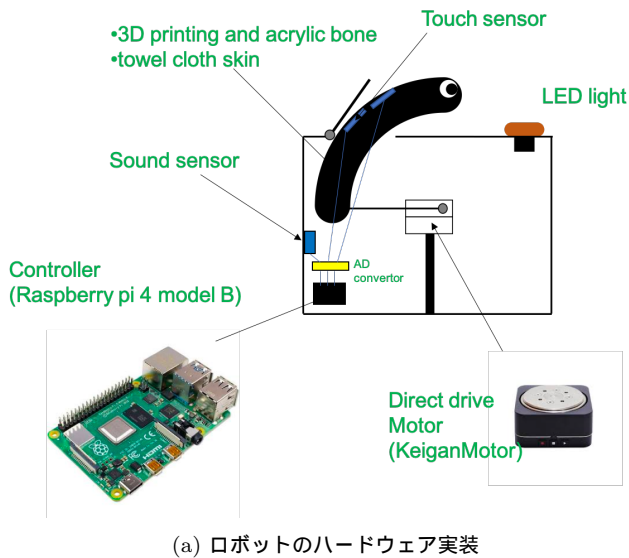
我々はこのような知見に基づき、ペットロボットの周囲の環境を工夫することで、ペットロボット本体の動きが制限されたものであっても、生物らしさを強く感じさせることができるのではないかと考えた。そのためには、ペット動物が人とのインタラクションの中で普遍的に行う行動を表現できるように周囲の環境を工夫するのが有効であると考えた。具体的には、(1) 人から餌をもらうこと、(2) 人と接したくないときに逃げることである。

実際、ペット動物が餌を食べる場面や、人を避けて逃げる場面からは、ペット動物の意図性を強く感じるのではないだろうか。点の運動を用いた研究 [10] でも、点が別の点

¹ 大阪大学 基礎工学研究科

² 奈良女子大学 生活環境学部情報衣環境学科

^{a)} ikari.shogo@irl.sys.es.osaka-u.ac.jp



(b) ロボットの外観

図 1: 1 自由度ペットロボット「アナゴネコ」

に向かって移動している場合や、別の点から逃げる場合には意図性や生き物らしさを感じやすいという結果が報告されている。

以上の着想に基づき、1 自由度のモータの動作のみで (1) 人から餌をもらう、(2) 人から逃げるという 2 種類の行動を 1 自由度で実現するロボット「アナゴネコ」を開発した。さらに、我々は「アナゴネコ」の 1 自由度のモータによる行動生成モデルを洗練させることで、より生き物らしさやインタラクション意欲を引き出しやすいペットロボットを作ることを目指している。その一環として、「アナゴネコ」が人から餌をもらうことを模した動き (LED スイッチの消灯) をする際の運動軌道の生成に、生物の随意運動のモデルである躍度最小モデルを用いることで生物らしさが高まるかどうか、および人のインタラクション意欲が高まるかどうかを実験的に調べた。本稿ではこの実験についても報告する。

2. ペット動物と人のインタラクションの抽象化

ロボットの周囲の環境を工夫することで、最小限の自由度しか持たないペットロボットを生き物らしく見せる事ができるのではないかと考えている。その上で我々は、ペット動物が普遍的に行う行動として、(1) 人から餌をもらう、(2) 人から逃げる、の 2 つに注目している。なぜなら、それぞれの行動は以下に見るように、人に生物らしさや意図性を感じさせるからである。

(1) 人から餌をもらう：餌やりは、人とペット動物の関わりにおける中心的な要素である [17]。動物は食物を得なければ生きることができないが、人に飼われているペット動物は基本的に食物を人間に依存しているため必然的に餌やりによるインタラクションを行う機会が多くなる。ペット動物が餌に向かって移動する様子は、その動きが餌という目標を志向していることから、見る人に意図スタンス [19] を取らせると考えられる。意図スタンスは対象に心的状態を帰属するスタンスである。すなわち、ペットロボットが餌に向かって移動するような動作を行えば、人はペットロボットに対して意図や信念を帰属しやすいと考えられる。その結果、人のペットロボットに対する関心が高まり、インタラクションを促進する効果が生じると考えられる。

(2) 人から逃げる：ペット動物が人との接触を避けることは、人にそのペットの視点に立たせ、擬人化を促進することがペットへの声かけの分析から指摘されている [18]。ゆえに、ペットロボットが人とのインタラクションを中断し、人から逃げるような動作を行った場合、ペットロボットに対する擬人化を促し、その結果として人の関心を引き出すことが可能であると考えられる。

3. 1 自由度ペットロボット「アナゴネコ」

3.1 ロボットのコンセプト

筆者らが開発している「アナゴネコ」はモーターを一つ備えた 1 自由度ペットロボットである。「アナゴネコ」のシステム全体を図 1 に示した。「アナゴネコ」のシステムは、(1)LED スイッチ、(2) ロボット本体が隠れるための箱、(3) ロボット本体の 3 つの部分から構成されている。ロボット本体はダイレクトドライブモータ (Keigan 社 KM-1S M6829) によって姿勢を変更することができる。ダイレクトドライブモータは静音であり、動作中の騒音によりロボットの生物らしさを損なうことがない。ロボット本体のデザインは、猫の手に見えると同時にチンアナゴのようにも見える、毛の生えた棒状のデザインを採用し、ロボットの周囲はタオル地の布で覆った。

この「アナゴネコ」のコンセプトは、ロボットの周囲の環境の側にペット動物と人のインタラクションを抽象化して埋め込むことである。その上で着目した (1) 人から餌を

もらう、(2) 人から逃げるは、以下のようにして実装している。

(1) 人から餌をもらう: 「アナゴネコ」では、餌やりに相当するインタラクションを LED ライトの点灯と消灯によって実現した。人が LED ライトを点灯させる行為を餌やりと見立てている。ライトが点灯しているとロボットが箱から飛び出しライトを消灯させる。これによってペットが人が与えた餌を食べるようなインタラクションを実現した。

(2) 人から逃げる: 「アナゴネコ」は、モータの回転により箱の中に完全に姿を隠すことが可能である。これによって、巣穴あるいは隠れ家のような空間に逃げ込むように見える行動を実現している。ペット動物が逃げるのは、周りがうるさかったり、触られたくないのに人に触られた、というような場合であると考えられる。そこで、ロボットには音センサ、表面の布の裏にはフォトリフレクタを利用した触覚センサ [21] を配置し、外界からの刺激を検知できるように実装してある。

一方で、ペット動物は、人に触られた場合にそれが嫌ではなくむしろ嬉しいという場合も考えられる。外界からの刺激を検知した場合にどのようにモータを制御するかは動作プログラム次第であるため、触られることで喜ぶといった実装ももちろん可能である。むしろ、ペットとの接触は癒やしの効果があることが指摘されている [20]。そのため、ふれあいはペットロボットと人との関わりにおける重要な要素であるだろう。そこで、「アナゴネコ」も人とのふれあいを促進できるようにロボットの表面を触り心地のよい布で覆っている。

3.2 応用

「アナゴネコ」を仕事中の机の横などに置くことで、作業中にリラックス効果をもたらしたり、ロボットと遊ぶことで気分転換を促進したりといった応用を検討している。

「アナゴネコ」の動作プログラムは python コードによって作成することができる。本節で述べたのはあくまでハードウェアの機能であり、ソフトウェア部分は自由に実装することが可能である。例えば、触られると必ず嫌がる動作プログラムを実装し、必ず喜ぶ動作プログラムの場合とどちらが生き物らしく感じられるか、といった研究を行うことが可能である。このように「アナゴネコ」は、どのようにロボットを動作させることが生命らしさにつながるのかといった研究を行うプラットフォームとして利用可能することを想定して開発している。

4. 躍度最小モデルによる運動軌道

我々は「アナゴネコ」の 1 自由度のモータによる行動生成モデルを洗練させることで、より生き物らしさやインタラクション意欲を引き出しやすいペットロボットを作るこ

とを目指している。「アナゴネコ」は餌に見立てた LED スイッチの消灯という動作を行うため、その際の運動軌道を、より生物らしさを感じさせられるようなものにすることは重要である。そこで、運動軌道の生成に、生物の随意運動のモデルである躍度最小モデルを用いることで生物らしさが高まるかどうか、および人のインタラクション意欲が高まるかどうかを実験的に調べた。

躍度最小軌道とは、リーチングの際に速度の二階微分の積分値が最小となるような運動軌道である [12]。この運動軌道生成手法は主に人と共同作業する産業用ロボットの研究で用いられてきた。先行研究においては、人と共同で運搬作業を行う際にエネルギー効率がいい [13] といった力学的利点のみならず、安心感を与え人の心拍数を低下させることも明らかになっている [14]。さらに、ロボットアームを用いた手渡し課題において、人は躍度最小軌道で動作するロボットアームに対して反応速度が早くなることも示されている [15]。このように、躍度最小軌道は人を安心させる働きがあり、人とロボットとの間にスムーズなインタラクションを可能にすることが明らかになっている。

我々は、生物の随意運動は躍度最小軌道であることから [16]、同様の物理的な特徴量を持つ運動軌道を用いれば、人に生物らしさを知覚させられると考えた。そして、そのことがペットロボットとのインタラクションを促進するのではないかという仮説を立てた。そこで、「アナゴネコ」に躍度最小軌道での運動生成モデルを実装し、それによって人とのインタラクションを促進することができるかを検証する。

4.1 躍度最小モデルによる運動軌道

躍度最小モデルで生成される運動軌道とは、ある位置 θ_0 から目標位置 θ_f まで時間 t_f 移動する際に、式 (1) に示す変位の三階微分 (すなわち速度の二階微分) の二乗の積分値 C_f が最小になるような軌道のことである。

$$C_f = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} \left(\frac{d^3\theta}{dt^3} \right)^2 dt \quad (1)$$

この場合に変位 (角度) θ が従う軌道は、式 (2) に従うことが示されている [12]。

$$\theta(t) = \theta_0 + (\theta_0 - \theta_f)(15t^4 - 6t^5 - 10t^3) \quad (2)$$

「アナゴネコ」に用いたモーターは、0.02 秒の制御周期で角度の指定が可能である。そこで、0.02 秒ごとに式 (2) に従って角度を指定することで、躍度最小モデルに従う運動軌道の生成を行った (MJ 条件)。比較条件としては、角速度を一定として軌道を生成させた線形モデル (LN 条件) を採用した。それぞれの条件で「アナゴネコ」が角度の変化を行った際の運動軌道を図 2 に示した。図より、MJ 条件での運動軌道のほうが軌道の中心付近での加速度が大きくなっていることがわかる。

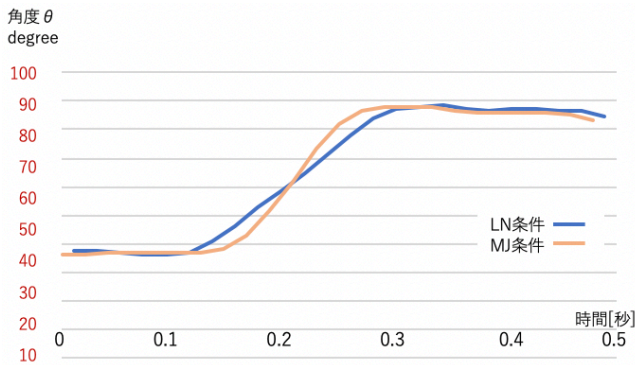


図 2: 各条件での運動軌道

5. 実験 1: Web 調査を利用した躍度最小モデルによる運動軌道の印象評価

5.1 概要

「躍度最小モデルによる運動軌道はペットロボットとのインタラクションを促進する」という仮説を検証するために映像を用いた Web 調査を行った。

実験参加者は Lancers(<https://www.lancers.jp/>) を利用してリクルートした ($N = 102$)。実験参加者はインフォームド・コンセントを行った後に、「アナゴネコ」が点灯しているボタンを消灯する動きを録画した映像を評価した。

5.2 映像刺激

「アナゴネコ」が点灯しているボタンを消灯する動き (図 3) を録画した映像を、2 種類の速さ (*slow* と *fast*) と 2 種類の運動軌道 (躍度最小: MJ と一定速度: LN) の計 4 種類用意した。各映像について「アナゴネコ」が消灯を行う時間を、*slow* では 3 秒、*fast* では 0.4 秒とした。各動画はランダムな順番で表示された。



図 3: 使用した映像刺激のタイムラプス写真

5.3 質問項目および仮説

質問項目は生物らしさの評価のために先行研究 [23] を参考にし *animacy* と *intention* を調査した。ただし、質問文は本研究のために作成したものであり、先行研究になかった反転項目を加えた。さらにロボットとインタラクションを行いたいかを評価するための項目を追加し、*will to play* と名付けた。それぞれの質問項目は表 1 に示すように反転項目と非反転項目の 2 つ組とした。それぞれの項目の測定は「とてもそう思う」から「全くそう思わない」の 7 段階の Likert 尺度で行った。

本実験は Web 調査であるため、実験参加者が提示した

表 1: 質問紙の項目

項目	項目
<i>animacy</i>	ロボットの動きは生物らしかった
	ロボットの動きは機械らしかった (反転項目)
<i>intention</i>	ロボットの動きからは意図が感じられた
	ロボットは操作されているようだった (反転項目)
<i>will to play</i>	ロボットともっと遊びたい
	ロボットにはすぐに飽きた (反転項目)

刺激を最後まで見て回答しているかわからないため、調査結果が信頼できるかに注意する必要がある。そこで、調査結果が信頼できるものをチェックするための項目として、活性度を評価項目に加えた。活性度は、Self-assessment manikin (SAM [25]) を用いて測定した。SAM は、提示された刺激に対する感情的印象を、単純化された人の表情が描かれた画像を選ぶことによって定量化する手法である。この手法で測定される感情的印象は、Pleasure-Arousal-Dominance の 3 つの尺度 (PAD 尺度 [24]) であるが、本研究ではその中の *Arousal* 項目の画像 (図 4) を用いて活性度の評価を行った。

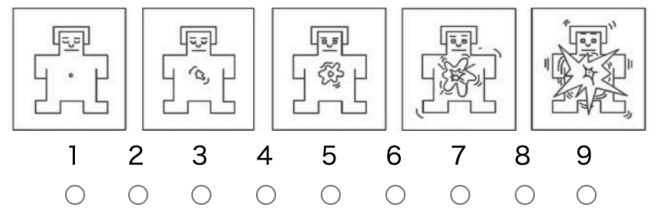


図 4: 活性度の評価に用いた画像

マニピュレーションチェックの基準: *Arousal* の評価値について、*fast* の動画のほうが *slow* の動画よりも評価値が高い。

仮説: MJ 条件では、生き物らしさを感じさせやすくインタラクションを促進しやすい。そのため、*animacy*、*intention*、*will to play* の各項目について MJ の動画のほうが LN の動画よりも評価値が高い。

5.4 結果

各評価値について、対応のある二元配置分散分析を行った。各評価値は図 5 に示した。

Arousal について、交互作用は有意ではなかった ($F(1, 303) = 1.85, p = 0.17$)。速さの主効果が有意であり ($F(1, 303) = 26.3, p = 0.00$)、*fast* のほうが評価値が高かった。運動軌道の主効果は優位ではなかった ($F(1, 303) = 2.94, p = 0.09$)。

animacy について、交互作用は有意ではなかった ($F(1, 303) = 0.039, p = 0.84$)。速さの主効果が有意であり ($F(1, 303) = 4.30, p = 0.04$)、*fast* のほうが評価

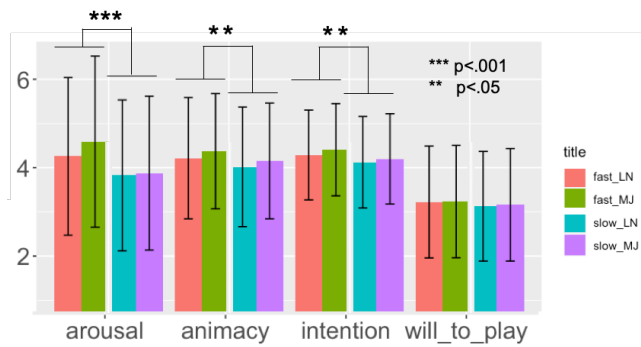


図 5: 質問紙の評定値

値が高かった。運動軌道の主効果は有意ではなかった ($F(1, 303) = 2.16, p = 0.14$)。 *intention* について、交互作用は有意ではなかった ($F(1, 303) = 0.051, p = 0.82$)。速さの主効果が有意であり ($F(1, 303) = 6.09, p = 0.01$)、 *fast* のほうが評定値が高かった。運動軌道の主効果は有意ではなかった ($F(1, 303) = 1.63, p = 0.20$)。 *will to play* について、交互作用は有意ではなかった ($F(1, 303) = 0.04, p = 0.84$)。運動軌道の主効果および交互作用は有意ではなかった ($F(1, 303) = 0.08, p = 0.77$; $F(1, 303) = 0.04, p = 0.84$)。

5.5 考察

マニピュレーションチェックの基準通り、活性度を示す *Arousal* の項目で速さの主効果が見られ *fast* のほうが高く評定されていたことから、質問紙調査には信頼性があると考えられる。

animacy および *intention* については速さの主効果のみが有意であり、 *will to play* についてはどちらの要因も有意でなかったことから、本実験からは仮説を支持する結果は得られなかった。動きが早いほど *animacy* や *intention* を感じさせられるという結果は動く点の映像を用いて行われた先行研究 [28] の知見と一致している。 *will to play* については本実験で検討した要因による差異は見られなかったが、これは実際にロボットインタラクションを行ったわけではないため、どの映像に対してもロボットに対する興味がわきづらかったためと考えられる。実際、評定値はいずれの動画でも低く評定されている。

本実験からは、映像を用いて比較して場合には、躍度最小モデルによる運動軌道が速度一定の軌道に比べて生物らしさを知覚させたり、インタラクション意欲を引き出したといった作用を持つとは言えないということが明らかになった。ただし、ロボットに対する印象について、映像を用いて評定を行う場合と実機で対面する場合には全く同じ印象になるわけではないことも報告されている [27]。そのため、躍度最小モデルによる運動軌道が生き物らしさを感じさせやすくインタラクションを促進しやすいという仮説が正しいのかどうかを議論するためには、実機を利用したインタラクション実験を行い、本実験の結果と合わせて検討

する必要がある。

6. 実験 2：対面インタラクションにおける躍度最小モデルによる運動軌道の検討

6.1 概要

Web 調査の結果、生命らしさやインタラクションを行いたいといった質問項目についての評定値に、運動軌道の違いによる有意差を認めることはできなかった。しかし、実物と対面してインタラクションを行った場合には違いが生まれる可能性が考えられる。そこで、「躍度最小モデルによる運動軌道はペットロボットとのインタラクションを促進する」という仮説を実物のロボットを用いて検証するためにインタラクション実験を行った。今回の実験では、2.1 節で述べたもののうち、1) 餌やりというインタラクションパターンのみ限定し、アナゴネコロボットとボタン押しによるインタラクションを 5 分間行う実験を実施した。「アナゴネコ」の運動軌道を躍度最小モデルにした条件 (MJ 条件) と角速度を一定として軌道を生成させた線形モデル (LN 条件) を設定し、被験者間計画で比較を行った。

実験参加者は大学生、大学院生 20 人 (各条件 10 人ごと、男性 12 人、女性 8 人、年齢: Mean(SD)=22.8(0.96)) であった。条件の割り振りはランダムに行われ、どちらの条件でも「アナゴネコ」と 5 分間のインタラクションを行った。実験参加者は、「このロボットはボタンを押してライトを光らせると出てきて、ボタンを押してライトを消します。今から 5 分間、このロボットと自由に遊んでください。ただし、ボタン以外の部位には触らないようにしてください」と教示された。

実験参加者は「アナゴネコ」が置かれた机の前に置かれた椅子に着席し、「アナゴネコ」とのインタラクションを行った (図 6)。

6.2 実験中のロボットの振る舞い

本実験で行ったインタラクションでは、「アナゴネコ」は 1.6 秒ごとにランダムに角度を変えながら待機していた。実験参加者がボタンを押してライトが点灯したら、「アナゴネコ」はボタン押しを行いライトを消灯させる。この際の移動にかかる時間は 0.1~1 秒の間でランダムであった。ただしボタン押し動作中に参加者がライトを消灯させた場合はボタン押し動作を中断する。実験中の行動生成モデルをフローチャートで図 7(a) に示した。フローチャート中の角度 θ は、図 7(b) の角度で、完全にロボットの頭が隠れた場合を 0 度としてロボットの頭がどれだけ外に出ているかに相当する。

6.3 測定項目および仮説

質問紙：条件間でのロボットに対する印象の違いを明らかにするため、インタラクション後に質問紙調査を行った。

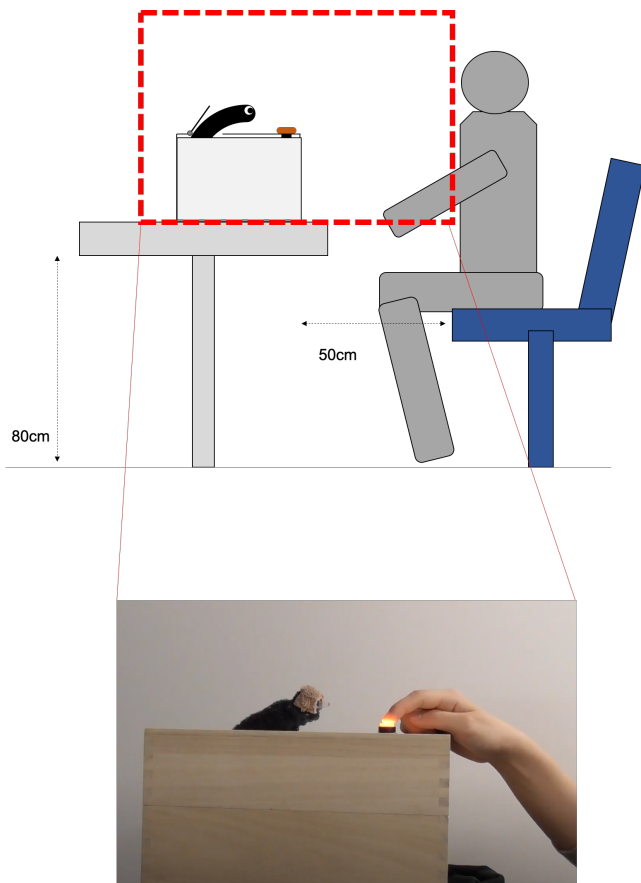
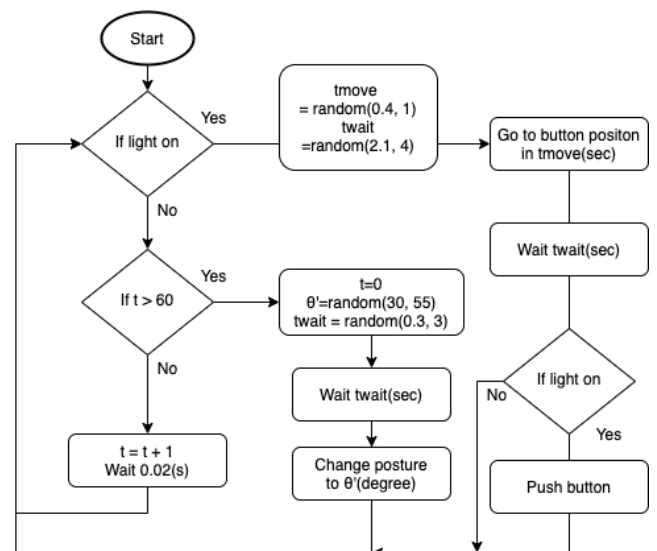
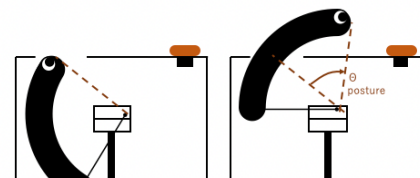


図 6: 実験時の様子



(a) ロボットの行動生成モデル



(b) ロボットの姿勢の指定法

図 7: ロボットの行動生成モデルと姿勢の指定法

質問紙の内容は実験 1 で用いたものと同様であった。

行動指標 (ボタン押し): ロボットとのインタラクションにおける能動的な働きかけの頻度を計測するため、実験参加者によってボタンが押された時間を記録した。

仮説: MJ 条件では、生き物らしさを感じさせやすくインタラクションを促進しやすい。そのため、質問紙では *animacy*、*intention*、*will to play* の各項目について MJ 条件のほうが値が高く、MJ 条件のほうがボタン押し回数が多い。

6.4 結果

質問紙: 各質問項目について、有意水準を 0.05 とし、Bonferroni の方法で補正を行って差の検定を行ったところ、有意な差が見られた項目はなかった (*animacy*: $t(18) = -0.38, p = 0.71$ 、*intention*: $t(18) = 0.63, p = 0.54$ 、*will to play*: $t(18) = -0.56, p = 0.58$)。それぞれの評定値は表 2 に示した。

ボタン押し回数: ボタン押し回数について、有意水準を 0.05 として差の検定を行ったところ、有意な差は見られなかった ($t(18) = -1.16, p = 0.26$)。ボタン押し回数の集計値は表 2 に示した。表に示すように、個人差の影響が大きく見られた。

表 2: ボタン押し回数 Mean(SD)

	<i>animacy</i>	<i>intention</i>	<i>will to play</i>	ボタン押し回数
MJ 条件	4.25(1.06)	4.75(0.79)	4.25(1.30)	67.4(33.7)
LN 条件	4.40(0.66)	4.50(0.97)	4.50(0.53)	90.7(53.6)

6.5 考察

Web 調査と同様、躍度最小モデルによる運動軌道が速度一定の軌道に比べて、生物らしさを知覚させる、インタラクション意欲を引き出す、あるいは実際にインタラクションを行わせるといった作用を持つとは言えないということが明らかになった。ただし、ボタン押し回数に関して被験者間で個人差が大きいことも明らかになった。そのため、個人差の影響を統制できるように被験者内で比較を行える実験設定を用いてさらなる検討を行う必要がある。

7. 総合考察

実験 1 の Web 調査、および実験 2 のインタラクション実験ともに、「躍度最小モデルによる運動軌道はペットロボットとのインタラクションを促進する」という仮説を指示しない結果であった。実験 1 の結果からは、人が映像刺激からは運動軌道の物理的特徴量の違いを認識できるわけではなく、生物らしさや意図性を左右するわけではないということが示唆される。ただし、別に操作した変数が運動の速

さという見た目に違いが明らかな要素であったため、運動軌道の物理的特徴量という微細な違いを感知できなかった可能性があることも考慮する必要がある。

実験2は、卓上サイズのロボットに実装した場合には躍度最小モデルによる運動軌道は実験参加者のロボットに対する印象やインタラクション欲求や実際のインタラクション行為の頻度を高めるとは言えないという結果であった。一方で、個人差は大きいもののどちらの条件でも実験参加者は5分間で平均60回以上ボタンを押しており、「アナゴネコ」は人からの能動的な働きかけを十分に引き出せていたと考えられる。

先行研究[26]では、躍度最小モデルによる運動軌道が人にとって予測しやすいという点が、安心感などの心理的効果につながっていることが指摘されている。予測可能性と意図性(意図の感じさせやすさ)は相関することがわかっているため[29]、手をかざした場所にロボットがやってくるなど、人の予測が関係するインタラクションを行う場合は、躍度最小モデルによる運動軌道がインタラクションを促進するという結果が得られる可能性がある。

8. 結論

ペット動物が人とのインタラクションの中で普遍的に行う、(1)人から餌をもらうこと、(2)人と接したくないときには逃げるといった行動を表現できれば、たとえ制限された動きでも生物らしい振る舞いが実現できると考えた。そして、これらの行動をモータ1つで表現できる1自由度ロボット「アナゴネコ」を開発した。

開発した「アナゴネコ」の運動軌道を生物の随意運動のモデルである躍度最小モデルで生成することで「アナゴネコ」がより生物らしさやインタラクション意欲を感じさせやすくなるかを、Web調査と対面実験によって検討した。その結果、躍度最小軌道が速度一定の軌道に比べて生物らしさを知覚させられるという結果は得られず、インタラクションを促進するという効果も認められなかった。

一方で、どちらの条件でも実験参加者は平均60回以上ボタン押しを行っており、「アナゴネコ」は人からの能動的な働きかけを十分に引き出せていたと考えられる。今後は、「アナゴネコ」の行動パターンをさらに多様なものにするなど、どれだけインタラクションを促進できるかを検討する。今回用いた「アナゴネコ」の食事動作がどれほど餌を食べているように見えていたかは測定できていない。そのため、「アナゴネコ」がLEDライトを消灯させる動きがどれほど食事動作に見えるかを調査し、不十分である場合には実際の動物の食事動作を参考にするなどして、より食事動作に見えるように設計し直す必要がある。同時に、「アナゴネコ」を他のロボットやバーチャルエージェントと比較することで、「アナゴネコ」がどれだけ生物らしさやインタラクション意欲を感じさせやすいのかを相対的に

把握し、提案システムの有効性を明らかにしていく。さらに、長期的なインタラクションを行うことで、「人を飽きさせないペットロボット」が実現できているかを検証していく。

参考文献

- [1] 柴田崇徳, & 和田一義. (2012). 動物型ロボットを用いた心のケア「ロボットセラピー」. 電子情報通信学会誌= The journal of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 95(5), 442-445.
- [2] Wada, K., & Shibata, T. (2006, May). Robot therapy in a care house-its sociopsychological and physiological effects on the residents. In Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. (pp. 3966-3971). IEEE.
- [3] 佐藤知正, & 中田亨. (2001). 人と調和するペットロボットのための対人心理作用技術 (特集「エンターテインメントとAI」). 人工知能, 16(3), 406-411.
- [4] 金井嘉毅, 樋口竜貴, 戸田雄士, & 太田豊. (2020). 可愛いのに先端技術が盛り沢山!? 家族型ロボット“LOVOT”に迫る. 電気学会誌, 140(7), 442-445.
- [5] 森善一, 小倉昭隆, & 石田真之. (2011). 人の行動に基づくコンパニオンロボットの行動生成. 日本感性工学会論文誌, 10(3), 409-415.
- [6] 南保英孝, 木村春彦, 原未来, 阿部孝司, & 田嶋拓也. (2009). 癒し型ペットロボットの飼い主判別手法の改善. 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), 129(9), 1662-1668.
- [7] Bucci, P., Cang, X. L., Valair, A., Marino, D., Tseng, L., Jung, M., ... & MacLean, K. E. (2017, May). Sketching cuddlebits: coupled prototyping of body and behaviour for an affective robot pet. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 3681-3692).
- [8] 吉田直人, & 米澤朋子. (2018). むいぐるみロボットの呼吸が生きている状態と内部状態に与える効果の検討. 電子情報通信学会論文誌 D, 101(2), 263-274.
- [9] Harata, M., & Tokumaru, M. (2013). Emotion Generation Model with Growth Functions for Robots. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 17(2), 335-342.
- [10] Tremoulet, P. D., & Feldman, J. (2006). The influence of spatial context and the role of intentionality in the interpretation of animacy from motion. Perception & Psychophysics, 68(6), 1047-1058.
- [11] 中里裕一, 伊藤章人, 中島一, 滝田謙介, & 樋口勝. (2014). 短脚二足歩行ペットロボットの研究(クマのむいぐるみをモチーフにした2足歩行ペットロボットの開発). 日本機械学会論文集, 80(820), TRANS0347-TRANS0347.
- [12] Flash, T., & Hogan, N. (1985). The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model. Journal of neuroscience, 5(7), 1688-1703.
- [13] 前田雄介, 原崇之, & 新井民夫. (2002). 躍度最小モデルを用いた動作予測に基づく人間-ロボット協調作業(機械力学, 計測, 自動制御). 日本機械学会論文集 C 編, 68(675), 3367-3372.
- [14] Kuhnlenz, B., & Kuhnlenz, K. (2016, June). Reduction of heart rate by robot trajectory profiles in cooperative hri. In Proceedings of ISR 2016: 47st International Symposium on Robotics (pp. 1-6). VDE.
- [15] Huber, M., Rickert, M., Knoll, A., Brandt, T., & Glasauer, S. (2008, August). Human-robot interaction in handing-over tasks. In RO-MAN 2008-The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interac-

- tive Communication (pp. 107-112). IEEE.
- [16] Hogan, N. (1984). An organizing principle for a class of voluntary movements. *Journal of Neuroscience*, 4(11), 2745-2754.
- [17] 大西奈央, & 米澤好史. (2009). 人間とペット動物の関係性—動物観の構造とその形成過程を探る. *和歌山大学教育学部紀要 教育科学*, 59, 17-26.
- [18] 藤崎亜由子. (2002). 人はペット動物の「心」をどう理解するか: イヌ・ネコへの言葉かけの分析から. *発達心理学研究*, 13(2), 109-121.
- [19] 山田誠二, 寺田和憲, & 小林一樹. (2013). 人を動かす HAI デザインの認知的アプローチ (i 特集: 人を動かす HAI). *人工知能*, 28(2), 256-263.
- [20] Batson, K., McCabe, B., Baun, M. M., & Wilson, C. (1998). The effect of a therapy dog on socialization and physiological indicators of stress in persons diagnosed with Alzheimer 's disease. *Companion animals in human health*, 203-215.
- [21] Ohmura Y. (2006) Conformable and Scalable Tactile Sensor Skin for Curved Surfaces Proc. of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, Florida, May
- [22] Ambady, N., & Rosenthal, R. (1993). Half a minute: Predicting teacher evaluations from thin slices of nonverbal behavior and physical attractiveness. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64(3), 431-441.
- [23] Opfer, J. E. (2002). Identifying living and sentient kinds from dynamic information: The case of goal-directed versus aimless autonomous movement in conceptual change. *Cognition*, 86(2), 97-122.
- [24] Mehrabian, A. and Russell, J.A., (1974) " An Approach to Environmental Psychology, " The MIT Press
- [25] Lang, P. (1980). Behavioral treatment and bio-behavioral assessment: Computer applications. *Technology in mental health care delivery systems*, 119-137.
- [26] Rojas, R. A., Garcia, M. A. R., Wehrle, E., & Vidoni, R. (2019). A variational approach to minimum-jerk trajectories for psychological safety in collaborative assembly stations. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(2), 823-829.
- [27] Inoue, K., Nonaka, S., Ujiie, Y., Takubo, T., & Arai, T. (2005). Comparison of human psychology for real and virtual mobile manipulators. *ROMAN 2005. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*.
- [28] Tremoulet, P. D., & Feldman, J. (2000). Perception of Animacy from the Motion of a Single Object. *Perception*, 29(8), 943-951.
- [29] 寺田和憲, 深井英和, 竹内涼輔, & 伊藤昭. (2013). 振舞いに対する予測可能性が生物性と意図性の知覚に及ぼす影響. *電子情報通信学会論文誌 D*, 96(5), 1374-1382.