

# OTTOTTO ー人工物の生き物らしさに関する不安定な動きのインタラクションデザイン研究ー

## OTTOTTO:Interaction design research of unstable movements related to the bio-likeness of artificial objects

金山 正貴  
KANAYAMA Masaki

宗像 佑弥  
MUNAKATA Yuya

キーワード：ロボット、アニメシー、不安定さ、機械学習、インタラクション

Keywords：robot, animacy, instability, machine learning, interaction

In this production, “instability” was applied as an expression to the movement of the robot. Our goal is to enrich the emotional expression of the robot. To achieve this, we will add an arm to the body of the robot based on the principle of an inverted pendulum. Then, I made a robot that can change the center of gravity by giving weight to the arm. Apply machine learning to the movements of the robot’s arms to explore unstable yet attractive movements. We will examine this movement and gain insights into its bio-logicalness.

### 1. はじめに

今日のロボットのデザイン形態は、人型や動物など地球上に生息する生物を模したものと、幾何学的な形態を特徴としたものの大きく2つに分類される。

前者がいかに人間などの動きを忠実に再現するかをテーマに工学的にさまざまな研究がなされている一方で、幾何学的な形態をもつロボットは、リファレンスとする動物がないこともあり、その形態の特徴や動き方などでデザインが貢献できる分野として注目されている。

本稿では、不安定さを取り入れたロボット「OTTOTTO」(図1)を制作し、幾何学的特徴を有するロボットの形態とその動き方について、そのコンセプトや構造、プロトタイプを制作しての検証結果と、学会発表やオンライン展示会への出展によって得られたコメントなどの反応について述べる。

本作品の背景となったロボットとして、2017年に富士

通株式会社から発表され、筆者自身がデザイン開発に携わったコミュニケーションロボットの「ロボピン」がある。(図2)地図アプリに表示される「ピン」のアイコンをモチーフにしてデザインしたロボットであり、人とコミュニケーションをとるロボットとして、親しみやすいデザインと、身体を傾けながら、身振り手振りなどで感情表現を行うという特徴を持っている。



図1 OTTOTTO



図2 ロボピン

この身体を重力に逆らって傾ける動きは、不安定に見えるが、この不安定要素を取り入れた大胆な動きによって、感情表現の幅が大きく広がった。その不安定な要素にロボットの魅力を引き出すものがあるとして、今回の作品にも不安定な動きテーマにしてデザインを行い、作品制作に取り掛かることとした。

### 2. 作品のコンセプト

前述のとおり、本稿の作品「OTTOTTO」のコンセプトの根幹には、前作のロボット同様、「不安定」な動きを取り入れることを基本にしている。

その不安定さの表現については、ロボピンが逆三角形の胴体の下部に、これを支える機構を設けることで、傾きを与え不安定に見えるポーズを行っていたのに対し、本作ではロボット自らの力で不安定な動作を行う自律的な動きを取り入れることとした。

そこで、基本原理として倒立振子のように、重心を支点よりも高い位置に設定して、振り動作を行いながらウェイトを移動させることでバランスを取る機構を採用した。具体的には図1のように円柱状の土台から伸びた柱の上部に重心をコントロールする役割のある腕の様なものを有する

フォルムとなっている。この2本の棒状の腕にウェイトをつけ、360度回転できる機構とした。

このように、幾何形態の組み合わせで構成されているため、静止時には人工的なものに見えるが、動作した時に愛着を抱かせるような動きを与え、ギャップを感じさせることを狙っている。

### 3. 作品の制作過程

本制作に至る過程を試作を通じての考察とともに述べる。

初期の検討では、図3のように、純粋な幾何形態である逆正三角形の傾く動きだけで、不安定な動作を表現しようと試みた。図3の試作では床面の裏に仕掛けた磁石を動かすことで床の上に自立するロボットの不安定な動きを表現しており、この動きを参照して、図4の倒立振り子ロボットを制作した。これには加速度センサーによる傾き検知によりモーターを制御することで、倒れそうで倒れない動きを実現することができたが、この逆正三角形のフォルム自体が可動を伴うこともなく、かつ倒立振り子ロボットが多く人々に認知されているため、人を惹きつけるほどの魅力を持ったものには至らなかった。

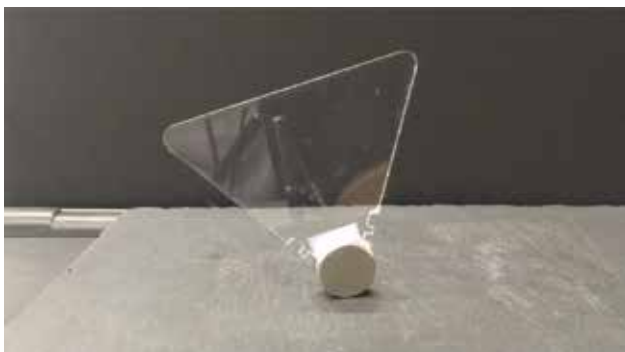


図3 試作1-1

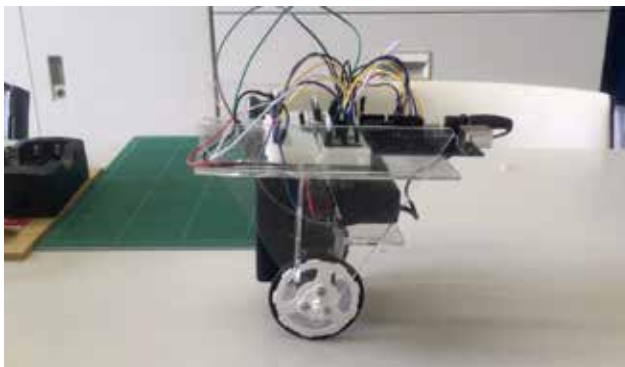


図4 試作1-2

試作1を踏まえて、不安定な形態でありながら外見から認識できる可動機構を有するロボットの検討を行なった。その結果、最終形は幾何形態を目指すこととしたが、まずは人間がバランスを失った時の骨格をリファレンスとして、CGアニメーションによって動きの検討を行なった。(図5)

これは、人が何らかの外力によってバランスを崩した時の腕と腰の動きを抜き出して骨格アニメーションとして再現したもので、ここでバランスを取り戻そうと体を

倒れた方向と逆方向に起きあがろうとする動きと、腕を回転させる動きに着目した。CGによる骨格の動きであっても必死に堪える姿に人は感情移入することが確認できたので、この動きを生かしたロボットの制作に取り組むこととした。

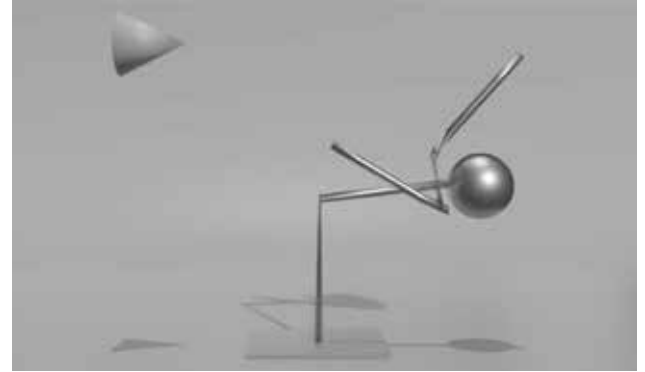


図5 CGによる検討



図6 試作2

CGによる検討を踏まえて、床に垂直に立つ棒状の体に、腕の様な回転機構を設けたロボットを制作した。(図6)これは人間の骨格にも見えるし、時計の針の様な機械としての印象も持たせた2面性を有する形態を特徴としている。床面に支点となる軸がありその下部にウェイトを兼ねたモーターが吊り下げられ、そこからワイヤーで上部の腕を回転させる機構とした。実際に、このロボットの上部を指で突くと、体を傾かせつつ腕を回転させる動きを行い、CGに近い動きを再現することができた。しかしながらロボットとして見た場合、床下にウェイトを持つ機構によって、安定方向に動きが収束することとなるため、腕の役割に機能的なものが感じられないことが課題点として残った。

次にロボット自体の動きによってバランスを取っている様に感じられるよう、床下の機構を取り除き床と接する面に、円柱状の不安定な形を与えたロボットを考案した。(図7)

これによって、自ら腕を振り回すことで不安定な状態から安定した状態へと、オーバーアクションをとりながら、徐々に安定へ向かうことができる試作品を完成させることができた。

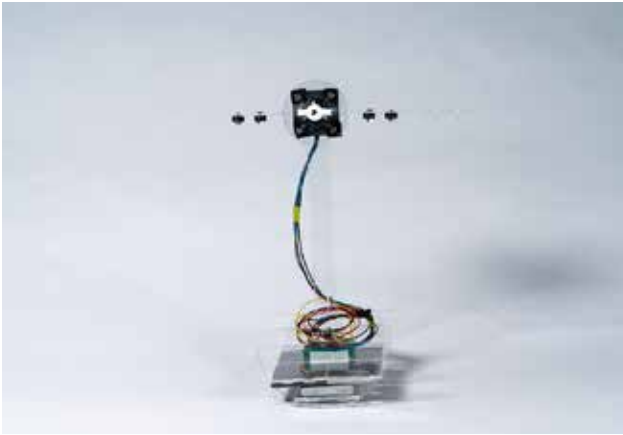


図7 試作3

この試作を踏まえて、CGによるモデリングでデザインを行なった。(図8, 9)

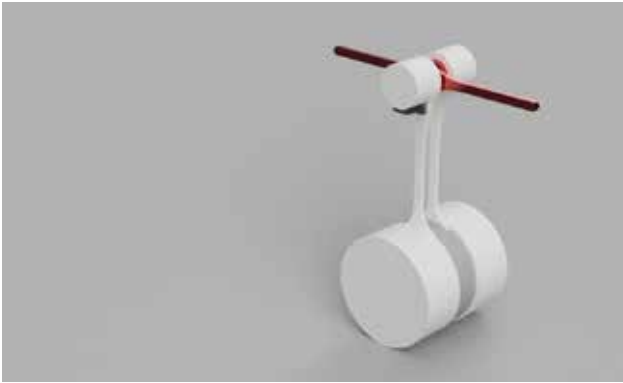


図8 デザイン検討

#### 4. プロトタイプの制作と機械学習

3.で行なったデザイン検討を踏まえ、より精度の高い動きを再現するために、プロトタイプの制作を行なった。

制作は学内の施設の機材を利用した。主に外観を形作る本体は、動きを伴うものとして精度の高い加工が必要であった。そのため、レーザーカッターで切削加工したアクリル板を何重にも積層することで、機構を内包するケースを組み上げて、透明材の美しさと精度を両立する作りとした。

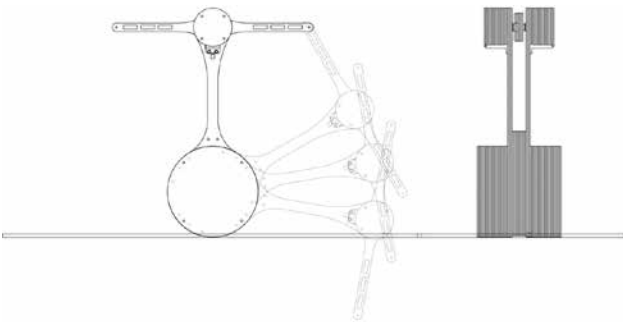


図9 図面

次に、このロボットの腕の動きを制御するため、腕の回転の仕方をロボット自身が学習してゆくことができる高度な制御を採用することとした。

その理由として、一般的な制御は単純で、一意的な動きしか望めないが、昨今様々な分野で普及している機械学習、中でもシステム自身が試行錯誤しながら最適解を導くことができる強化学習の手法を採用することとした。それにより、人間が思いもかけない動きをロボットが自動的に計算し、最も効率の良い動きを導いてくれるだけでなく、学習回数を重ねる程に、アクロバティックな動きを再現することも可能になることが期待できる。(図10) なお、この強化学習については共同研究者である当時、東京大学大学院



図10 強化学習シミュレーション

2年の宗像氏の協力によって実現した。

この手法によって、本来のロボットの形態から想起されるバランス動作に、体を斜めに維持したままバランスを取るなどの、高度な動きを再現することができた。

#### 5. ユーザー調査の実施

本作品の意図を検証するために、2020年8月に長岡造形大学校内にて、ユーザー調査を行なった。(図11)



図11 ユーザー調査

調査はロボット実機を用いて、20代から50代の男女、24名の被験者に対してアンケート形式で実施、被験者のロボットに抱く感情、動きの違いを知るための主観評価を行った。

実験機には消費エネルギーの大きい順で、A～Fまでの6パターンの動きを実装し、それぞれの動きに対して、6つのロボットの動きに関連する評価項目(表1)を5段階で評価する実験を行なった。

表1 評価項目

質問内容	
覚醒度	興奮状態で動きが活発に感じる
感情度	快、喜びのポジティブな感情を感じる
熟練度	上手に動いているように感じる
愛着度	愛着が湧く、かわいいと感じる
懸命度	一生懸命頑張っていると感じる
生命度	生き物のような動きを感じる

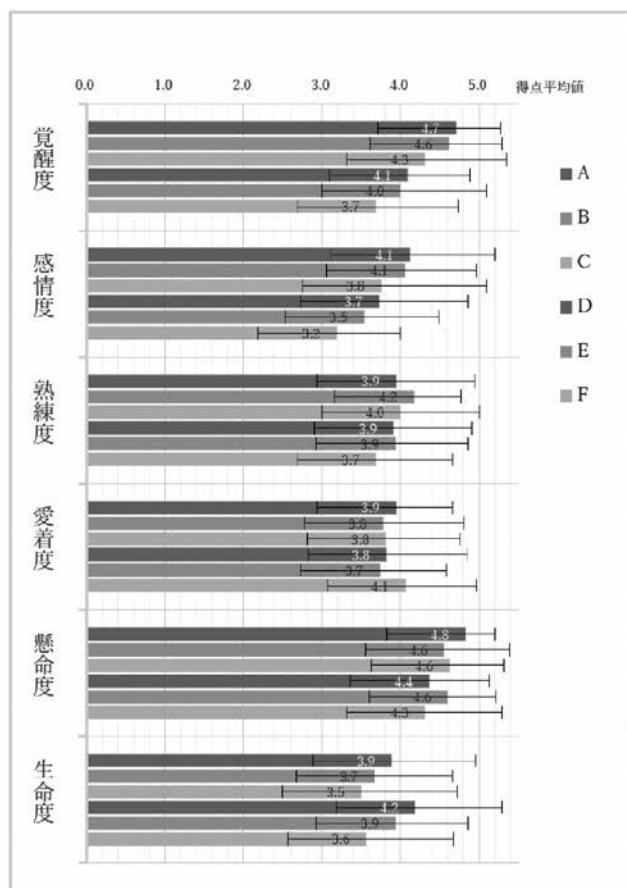


図12 評価結果

この主観評価の結果（図12）からは覚醒度と感情度についてA～Fの順に平均得点が低くなる傾向が見られたが、他の項目については顕著な差が認められなかった。また、統計的に有意差があるかを確認するため、各項目のアンケートデータに対して反復測定の一元配置分散分析を行った後、A～Fの間にも有意差があるか調べるため多重比較を行った。その結果、分散分析によって覚醒度(p=0.011)と感情度(p=0.038)について、A～F間に平均値の有意差が確認され、さらに多重比較では覚醒度のAとF(p=0.015)及び感情度のAとF(p=0.038)の間に有意差が認められた。

なお、被験者の定性コメントからは、頑張っている姿が健気で可愛いなどの肯定的な意見が多く、かつ主観評価の数値も全般に高いため、このロボットのコンセプトを活かして愛着などの表現を模索してゆくことに、意義を見いだせた。

## 6. 最後に

本作品のユーザー評価の項目を主とした内容にて、2020年10月12-13日に開催されたヒューマンインタフェース学会研究会に投稿し、口頭発表を行なった。そこでのコメントとして、評価結果には一部の評価項目にしか有意差が得られなかったものの、ロボットと不安定な関係の着目点が新鮮といった意見を得ることができた。

また、2021年6月10日～11日に開催された東京大学生産技術研究所の山中俊治研究室による制作展示「DiaLog展」に出展（図13）した。オンラインでの展示であったものの、インタラクティブな対話をオンライン上にコメントとして残すことができるWEBサイトの仕組みをとることで、多数の感想やコメントを得ることができた。

その中で、機械的な外観からは予想もつかないコミカルな動きをするというギャップが面白い、意思のようなものを感じる、ずっと動きを見ていられる、つい応援したくなるなど多くの肯定的なコメントが得られた。また動き以外にも、アクリル材の表面にブラスト加工を施した白色に透けた質感が原生生物を想起させて、その本能的な動きと原初の生物を感じさせる見た目との関連を評価されるなど、デザイン的な面からも好評価を得ることができた。



図13 オンライン展示「DiaLog展」WEBサイト

## 参考文献

- 1 金山正貴, 宗像佑弥, 山中俊治: “不安定な動きがもたらす人工物の生命感に関するインタラクシオンデザイン研究”, 第178回 ヒューマンインタフェース学会研究会「人工現実感, エンタテインメント, メディアエクスペリエンスおよび一般 (SIG-DeMO-10)」2020.