

# こんなのあったのか！ “Light Floating Robotics” の創成 Wow! Creation of “Light Floating Robotics”

松本 壮太<sup>1\*</sup> 長谷川 孔明<sup>1</sup> 岡田 美智男<sup>1</sup>  
Sota Matsumoto<sup>1</sup>, Komei Hasegawa<sup>1</sup> and Michio Okada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

<sup>1</sup> Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology

**Abstract:** 私たちは、変化し続ける環境の中に身を置いて生活している。こうした複雑な環境は、ときに私たちの行動へ大きな影響を及ぼす。もし、そうした空間に身を委ねられるロボットがいたら、どのような挙動が生まれ、人との間にどのようなインタラクションが生じるのだろうか。本発表では、軽い身体によって空間へ身を預けられる “Light Floating Robotics” のコンセプトを述べ、人とロボットの新しい共存の在り方を探る。

## 1 はじめに

小さいころ、テーマパークやイベントでもらったヘリウムバルーン。始めは遊んでいても、次第に飽きてしまい部屋の中で放置されてしまう。だが、静かに空中を漂うその姿を見ると、まるで意志を持つかのように感じるときがある。床に置かれた家具に邪魔されず、広い空間を漂い続けるバルーン。エアコンの風で流されているように見える瞬間もあれば、なぜか一定の場所に留まり続けることもある。ときには予測不能な動きを見せ、ふと別の場所へ移動していくこともある。何がこの挙動を生み出しているのだろうか。部屋に入った家族の誰かが、知らず知らずのうちに関わっているのかもしれない。あるいは、空気の流れやバルーン自体の状態が変化しているのかもしれない。部屋を漂うバルーンの振る舞いには、単なる物理現象を超えた不思議な魅力がある。

もし、このバルーンにロボットとしての要素を与えたら、どのような振る舞いを見せるだろうか。完全にプログラムされた動きをするのではなく、環境との相互作用を活かしながら、柔らかく、偶然性を含んだ挙動を生み出すロボット。その不確かさこそが、ロボットを見つめる私たちに生き物らしさを感じさせるのではないだろうか。環境とのゆるいつながりを構築し、能動と受動の間を漂うロボット、筆者らは “Light Floating Robotics” と呼ぶことにした。

ロボットの生き物らしさは、長期的な人との関係構築において、その頻度や度合いに関わらず重要だといえる。実際に、世の中へ出回るソーシャルなロボットは、生き物の外観や挙動を参考とした事例が多々ある。

一方で、外観や挙動を設計者が作りこんでしまうことは、あざとさを生み出し、人々から敬遠されてしまうリスクもつきまとう [1]。

“Light Floating Robotics” は、作りこみの必要性という点において、挙動の複雑性を環境との相互作用へ委ねるため、極めて低くなることが期待される。つまり、ロボットのシステムを単純なものへ置き換えることができ、内部のブラックボックス化が避けられる。このことから、ロボットの長期的な活動においても、効果が得られると考えている。

本稿では、生き物らしい挙動生成と単純なシステムという一見相容れない要素が上手く共存する “Light Floating Robotics” と、その実装筐体である〈Huubo<sup>++</sup>〉について提案する。

## 2 研究背景

### 2.1 志向的な構え

ロボットの生き物らしさを考える上で、ダニエル・C・デネットが提唱する動く対象に対する志向姿勢は、留意しなければならない。ダニエルは、動く対象に対する3つの捉え方として「物理的な構え」、「設計的な構え」、「志向的な構え」を挙げている。「物理的な構え」は物理法則に則って、「設計的な構え」は機械的構造や機能として、動く対象を捉えようとする。そして「志向的な構え」は動く対象がどのような意図を持っているのかに焦点を当てている [2]。

このことから、ロボットに生き物らしさを与えるには、「志向的な構え」を促すのが大切である。しかし、環境という要素は「物理的な構え」を強めてしまい、ロボットの作りこみは「設計的な構え」を誘発する恐れ

\*連絡先： 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系  
〒441-8154 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1  
E-mail: matsumoto.sota.ix@tut.jp

がある。したがって、ロボットと環境との相互作用において、これらのバランスが重要となる。

## 2.2 ブライテンベルグビークル

「志向的な構え」を引き出すロボットと環境との相互作用とは、どのようなものだろうか。筆者らは、設計者がプログラムをしていないような振る舞い（＝創発的な振る舞い）にヒントがないか注目している。

例えば、ブライテンベルグビークル (Braitenberg vehicle) という自律エージェントは、システム自体が単純でありながら、環境との相互作用によって創発的な振る舞いを実現している。ブライテンベルグビークルは複数の種類が存在し、その中の 2b 号は、左右にある 2 つのセンサとモータが左右反対に接続しあっている。搭載センサが光センサであれば、2b 号は光源へ向かう挙動を示す。一見単純なシステムだが、ある実験において、壁で立ち往生する 2 体の 2b 号を、3 体目が押し出す「手助け行動」をとった事例がある [3]。

2b 号がとった挙動は、手助けを意図したものではないが、観察者から「手助け」という「志向的な構え」を引き出している。単純なシステムが創発的な振る舞いを生み出し、「志向的な構え」を促せるのは、ロボットの長期的な活動において優れた特性である。なぜなら、高度な装置やアルゴリズムを介したロボットは、その内部がブラックボックス化しやすい傾向があるからだ。これは、ロボットの製造会社が設けるサポート期間が、そのロボットの寿命であることを表している。一方で、センサからの情報を単純な出力変換にとどめ、アクチュエータへ接続するブライテンベルグビークル的なロボットは、代替部品の入手性やプログラム不要な点から、メンテナンス性に優れているのだ。

しかし、ブライテンベルグビークルのような地に足がついたタイヤ駆動であると、ロボットの挙動がすべて機械部品から生み出されることを明示しており、「設計的な構え」を誘発するリスクは依然として存在する。

## 2.3 Light Floating Robotics

筆者らは、浮遊するバルーンとアクチュエータを用いたロボットによって、より「志向的な構え」へ促すアプローチを試みている。“Light Floating Robotics”では、ブライテンベルグビークルのような単純なシステムと接続した推力装置を実装し、バルーンを媒体として環境の影響を余すことなく取り入れる。バルーンが存在によって、推力装置がもたらす「設計的な構え」と、環境がもたらす「物理的な構え」が互いに混じり合い、その結果として「志向的な構え」を人々に促せないか検討している。

一方でバルーンには、これまで述べたような環境との相互作用以外にも、人とのインタラクションの観点から、次のような要素が挙げられる。

まず、浮遊するバルーンには、人やモノと接触した際、それ自体が衝撃を受け流せる性質があるため、互いのダメージが軽減される。そして、ロボットの電源が損失した場合にも、急な落下が起きない。さらに、バルーンが浮力を有していることから、駆動に必要な力が少なく、駆動音が比較的小さい。こうした、バルーンを用いることによる安全性と静穏性は、人への精神的負荷を与えにくく [4]、インタラクションの面においても優れている [5] と報告されている。

そして、バルーンは内部にガスを圧入する構造上、徐々にガスが抜けてしまうことは避けられない。ガスが抜けることで、バルーンは浮力が低下し、表面に少しずつシワが生じる。しかし、こうしたバルーンの振る舞いによって、周囲の人に空腹や老いといった状態を示すことができないか考えている。

## 3 <Huubo<sup>++</sup>>

“Light Floating Robotics”の内部システムの模索を目的として、本研究では <Huubo<sup>++</sup>> 開発した。したがって、<Huubo<sup>++</sup>> は内部システムをプログラム可能な筐体としている。

### 3.1 ハードウェアデザイン

<Huubo<sup>++</sup>> を構成する要素は、バルーンと左右の羽ばたき機構、その制御ユニットである。<Huubo<sup>++</sup>> は、バルーンの内側にヘリウムガスを充填することで浮力を生み出し、推力装置として羽ばたき機構を組み合わせることで、飛行を可能としている。羽ばたき機構は、回転翼を用いずに低周期で動作するため、人のいる身近な空間においてケガのリスクが少ないと考えられる。

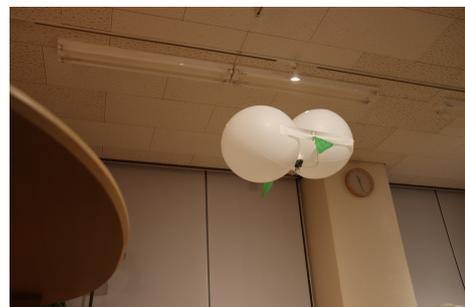


図 1: <Huubo<sup>++</sup>> の外観

羽ばたき機構は、マイクロサーボを片側に2軸使用し、羽のピッチと羽ばたき動作ができる。制御ユニットには、Micro:bit 教育財団の micro:bit v2.2 をベースとした〈Huubo++〉専用の互換基板が組み込まれている。また、8×8の赤外線アレイセンサや垂直下向きのToF（Time of Flight）センサ、マイクロフォン、6軸（加速度・磁気）センサを搭載している。特に、赤外線アレイセンサは〈Huubo++〉の視覚として、解像度が8×8のサーモグラフィカメラ的な役割を担っている。

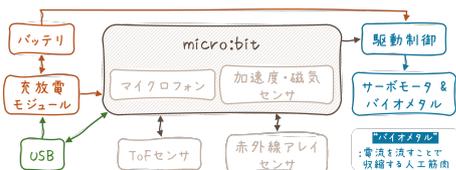


図 2: 〈Huubo++〉のハードウェア構成

### 3.2 システム構築

ソフトウェア開発環境は、Microsoft 社の MakeCode を用いる。MakeCode は、ビジュアルプログラミングが行えるため、“Light Floating Robotics”〈Huubo++〉の内部システムは、2.2 節で述べたブライテンベルグピークルを参考に、センサから得られた情報をパラメータに置き換えて羽の羽ばたきやピッチ動作に直接伝達させる仕組みを原則とする。感情パラメータや過去の履歴を参照するような複雑なシステムを構築せずとも、環境との相互作用から創発的な振る舞いが生まれ、生き物らしさを得られることが狙いである。

具体的な処理としては、赤外線アレイセンサによって最も高い熱源がある方向へ向かうよう、左右の羽ばたき部へ信号を伝達する。そして ToF センサは、〈Huubo++〉の高度を検知しており、落下方向へ移動するにつれて、上昇するように羽のピッチ部と羽ばたき部へ信号を伝達する。加速度センサとマイクロフォンから得られた信号は、羽ばたき部に接続し、羽ばたき周期を低下させる作用を与える。これらの処理が並列して動作することで、空間を地面に着かずに漂い続けながら、人との触れ合いも実現し、生き物らしさを表現できないか考えている。

### 3.3 インタラクションの事例

本節では、〈Huubo++〉を研究室で稼働させた際に起きた事象についていくつか紹介する。

まず興味深いのが、羽ばたき運動を行っていない状態でありながら、様々な振る舞いが見られた点である。例えば、空調機器に近づくと排気によって遠ざかった

り、吸気によって近づくことも確認されたが、こうした挙動が〈Huubo++〉の上下移動を生み出し、部屋のドアを開けていると、意思が宿ったかのように綺麗な軌道で廊下に出てしまう場面も確認された。さらには、ときおり人の方へ流れていき、作業中の画面を邪魔したり、触ろうとしたら上昇したりと、羽ばたき運動がない状態ですら、バルーンという存在が創発的な振る舞いを生み出しているように見られるケースが多々あった。

そして、羽ばたき運動が加わることで人との接触頻度はさらに増えた様子が見られた。正面に搭載した赤外線アレイセンサによって、熱源の方向へ向かおうとする単純なシステムだが、ある場面においては、学生の方を見続けながら周囲を回るような挙動があった。本来〈Huubo++〉は、ある一点を見続けながら、その場を周回する軌道を描くことはできない。つまり、〈Huubo++〉の内部システムが持つ熱源方向を見るという機能と、バルーンが受けた空気の流れが組み合わせたり、創発的な振る舞いが生まれた例といえる。

## 4 まとめと展望

本稿では、バルーンを活用することで、環境とのゆるいつながりを構築する“Light Floating Robotics”と、その実装筐体である〈Huubo++〉について、提案した。“Light Floating Robotics”は、ブライテンベルグピークルの環境との相互作用がもたらす創発的な振る舞いに注目し、環境の影響を受けやすいバルーンを組み込むことで、更なる「志向的な構え」を促すことが狙いである。また、ブライテンベルグピークルの単純なシステムを参考にすることで、ロボットの長期的な活動に優れた性質が得られることを期待している。

実装筐体である〈Huubo++〉は“Light Floating Robotics”に則り、浮力を担うバルーンと、推力装置としての左右に配置した羽ばたき機構、その制御ユニットで構成されている。そして、ロボットの内部システムを模索するという目的のもと、あえてプログラム可能な筐体として開発した。研究室での簡易的な動作試験では、空間を漂いながら、ときおり〈Huubo++〉のアクチュエータでは実現できない軌道を描いたり、人との接触時においてペットとじゃれ合っているかのような光景が見受けられた。

今後の展望としては、〈Huubo++〉の内部システムのブラッシュアップに向けて、フィールドワークを複数回にわたり実施していきたいと考えている。将来的には、人がいる場に自然と溶け込んだ“Light Floating Robotics”が、時刻を表示したり、音楽を奏でたりといった場のデザインを構成する役割を担えないか模索していきたい。

## 参考文献

- [1] 高橋英之, 伴碧, 近江奈帆子, 上田隆太, 香川早苗, 石原尚, 中村泰, 吉川雄一郎, 石黒浩: 五感を用いた心に寄り添う “空気感エージェント” の創成, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2019, No. 13, pp. 1-7 (2019)
- [2] Dennett, D. (著) 土屋俊 (訳) : 『心がどこにあるのか』, 筑摩書房 (2022)
- [3] Pfeifer, R., Scheier, C. (著) 石黒章夫, 小林宏, 細田耕 (監訳) : 『知の創成—身体性認知科学への招待—』, 共立出版 (2001)
- [4] Liew, C., Yairi, T.: Quadrotor or blimp? Noise and appearance considerations in designing social aerial robot, 2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), pp. 183-184 (2013)
- [5] Abtahi, P., David, Y., Jane, L., James, A.: Drone Near Me: Exploring Touch-Based Human-Drone Interaction, Association for Computing Machinery, Vol. 1, No. 3, pp. 1-8 (2017)