

生きた冠毛：重力に抗う動きにより生命性が感じられる タンポポの冠毛群

フラハティ 陸†1 橋田朋子†1

本研究はタンポポの冠毛を帯電させることで、立つ・飛ぶ・横たわるといった重力に抗う振る舞いを可能とし、冠毛が生きているように感じさせる仕組みである。従来の、重力に抗う動きにより生命性感じさせる仕組みの多くは人工的な素材や機構を用い、単体での動作を想定している。提案手法は自然素材である冠毛を用いて重力に抗う動きを実現し、さらに複数の冠毛の振る舞いを制御することで群れのように感じさせる。複数の冠毛を帯電させるための2枚の電極板の間隔を調整することで、自律的な動き（個性）と同時的な動き（協調性）のバランスが多様な群れの在り方も可能とした。

Living Pappi: Dandelion Pappi That Convey Animacy by Resisting Gravity

RICHARD J. FLAHERTY†1 TOMOKO HASHIDA†1

This research aims to make dandelion pappi seem alive by charging the pappi, making them resist gravity to stand, jump, and slowly lay on their sides. Many of the previous methods of resisting gravity to convey animacy use artificial materials and mechanisms and are made to be single. The method we propose make natural dandelion pappi resist gravity and can control multiple pappi to move as a group. By adjusting the gap between the two electrode plates that charge the pappi, a diverse balance between seemingly autonomous and synchronous movements can be achieved.

1. はじめに

私達の身の回りには、必ずしも人間や動物の形を模していないにも関わらず動きによって生命性感じさせるものが、オモチャからロボットまで多数ある。生命性を生み出す動きに関しては、人工生命 (Alife) のような分野を中心に活発な研究が行われているが [1]、最近では自律的に動いてアニメーション (生命性) を感じやすいものでは、ユーザの注意を惹きつけ、使用頻度が向上する可能性があることを指摘するタンジブルユーザインタフェースの研究 [2] もあり、より幅広い分野にとっての議論すべき課題と言える。

筆者らも生命性のある動きの実現に興味を持っており、特に多くの動物や植物の基本動作である重力に抗う動き [3] に着目している。重力に抗う動きによって生命性感じさせる先駆的な研究・作品は幾つかあるが、それらは基本的に電子的・機械的な機構や人工的な素材を用いている。一方で筆者らは重力に抗う動きを実現する素材として、植物などの自然素材に着目する。自然素材はもともと形や大きさに個体差があり、同じように制御してもそれらの違いが人の想像を超えるランダムな動きを作り出すことを可能にする。池上は、生命は本質的に無秩序で制御不能である [4] と指摘しており、自然物を素材として用いることで、重力に抗う動きにランダムな要素を生じさせ、より生命性のある動きを実現しやすくなると考えられる。

本研究では自然素材として具体的にはタンポポの冠毛に

着目する。タンポポの冠毛は身近で入手しやすい自然素材でありながら乾燥した状態のまま長く状態を保つことが可能で制御がしやすいこと、一方でそれぞれの形やサイズに自然物ならではの個体差があること、などの理由で選択した。タンポポの冠毛の帯電を制御することで重力に抗う動きを実現し、一本の冠毛の生命性のある動きを可能にする。さらに複数の冠毛に関して、各冠毛の形の個体差に由来する自律的な動きと、各冠毛の個体差によらない揃った動きを任意に制御する方法についても検討する。

2. 関連事例

関連する研究として以下に重力に抗う動きによって生命性感じさせる機械と、自然素材を組み込んだ機械の事例をまとめる。

2.1 重力に抗うことで生命性感じさせる機械の事例

重力に抗うことで生命性感じさせる機械の代表事例として、バランスを保つヒューマノイドロボット [5,6] や、動物型ロボット [7] とそのロボット脚 [8,9] の研究などがある。これらは倒れないことを目的にして開発されているため、動きは厳密に制御されており、ランダム性はない。本研究はより生命性を生じやすくするため、自然素材を用いることで、ランダム性のある重力に抗う動きを実現する。

人や動物の形を模していないが、重力に抗う動きで生命性感じさせる事例も幾つかある。Apostroph [10] は重力がかかる方向との逆の方向にそれぞれの関節が回転すること

†1 早稲田大学
Waseda University

で立ち上がる振る舞いを実現している。バランスが保ちづらいため、予想できない動きを見せる。磁気で紙を動かす作品「動紙」[11]では鉄粉を混ぜ込んだ紙切れが磁気を感じ取り、まるで意志がある群れのように動く。これらが電子的・機械的な機構による単体の動きや人工的な素材の複数個の揃った動きを実現するのに対し、本研究では自然素材を用いていることで、複数の個体の多様な振る舞いを実現する。

2.2 自然素材を組み込んだ機械の事例

本研究と同様に自然素材を組み込むことで機械の振る舞いに多様性を持たせる事例としては拾った木の枝をロボットの足にする山岡の Walking Tree [12]や、前川らの Stand [13]などが挙げられる。いずれの事例も動力としてサーボモータを用いて枝を動かすため、その動きは、枝の形や長さによるランダム性はあるものの、ある程度予測ができる。また単体での動作を意図している。本研究は冠毛の帯電を制御するため、複数の個体を同時に制御しながら、それぞれの形などの個体差に由来する自律的でランダムな動きや協調的な動きなど、多様な生命性のある動きを実現することができる。

3. 生きた冠毛の提案

生きた冠毛は、タンポポの冠毛を用いて重力に抗う動きを実現し、一本の冠毛を生きているように、複数の冠毛を各々自由に或いは群れのように感じさせる仕組みである。重力に抗う動きとして、冠毛の「立つ」「跳ぶ」「横たわる」といった3つの動きを想定する。このような冠毛の動きは、静電誘導などによって冠毛を帯電させることで引き起こす。また複数の冠毛に関して、各冠毛の形の個体差に由来する自律的な動きと、各冠毛の個体差によらない揃った動きとをいずれも任意に制御可能とする。詳しい原理に関しては以下に述べる。

3.1 冠毛の特徴と動きの原理

タンポポの冠毛は髪の毛と同様に静電気に反応しやすく、その大きさに対して重さは軽い。冠毛は図1に示すように毛の部分と嘴と瘦果の部分に別れており、毛の部分が上で瘦果が下と、定位が捉えやすい。制御がしやすく、それぞれの形やサイズに自然物ならではの、個体差もある。

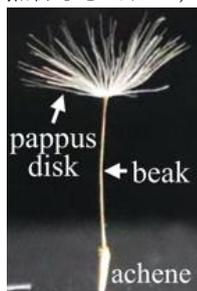


図1 タンポポの冠毛。

Figure 1 Dandelion pappus.

一本の冠毛の動きの基本的な原理としては、以下が考えられる。まず、冠毛が帯電するとたおれた状態から直立する。電荷が冠毛に一定程度溜まると、押し上げる力が強くなり冠毛は跳ぶ。電源を切ると冠毛の電荷が中和すると同時にゆっくりと冠毛は横たわる。

3.2 複数の動きの個性・協調性

冠毛には、嘴が曲がっているか真っ直ぐか、背が高いか低いか、冠毛ディスクが大きく開いているか否か等、個体差がある。複数の冠毛を同時に制御した際に、この形の個体差が、動きの個体差へと反映される可能性がある。

ここで本稿では複数の個体が同じ刺激に対し、自律的にバラバラに動くことを個性と呼び、複数の個体が同じ刺激に対し、同じように反応することを協調性と呼ぶ。複数の冠毛が同時に振る舞う時に、外部によって操作されているのではなく、各冠毛自身が自由に動いているように見せるには個性が重要である。一方で群のような動きを見せるには、協調性が重要である。本提案では、複数の冠毛の動きに関して個性と協調性のある動きをそれぞれ任意に切り替えられることを目指している。複数の冠毛を動かした時に各冠毛の形の個体差に由来する自律的な個性のある動きと各冠毛の個体差によらない揃った協調的な動きのどちらが強く見られるのかは、帯電のさせ方による。そこで次章で要因を探り、5章で詳しいパラメータを検討する。

4. 実装

生きた冠毛はハードウェアと冠毛だけで実装可能である。以下に装置の構成と、装置を用いて冠毛の動きを確認した様子をまとめる。

4.1 装置の構成

提案装置はマイナスイオン発生器、2つの電極板、電極板を支える鉄の棒で構成される。100x100mmの鉄板を電極板として使用している。図2に示すように、下側の電極板はマイナスイオン発生器につなぎ、上側の電極板は三極プラグのアースにつなぎ、2枚の電極板の間に冠毛を置く。この電極板のサイズでは、互いに引っ付かない程度に間隔をとると5つの冠毛を置ける。マイナスイオン発生器はUSB マイナスイオン発生器(B07XNSJ6LD)をコンセントの電力供給で使えるように改良した物を使用し5Vアダプターで駆動している。マイナスイオン発生器は5Vの直流を300Vまで電圧増幅し出力している。電極板を支えている鉄の棒の中に配線を通せるように、ジョイント部分はカスタムパーツを3Dプリンタで印刷している。このジョイントにより上側の電極板を固定したまま下側の板を下ろせるようにしており、電極板の間隔は意図する制御によって変えることができる。

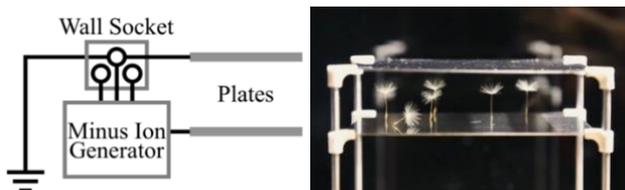


図2 (左) 装置の構成 (右) 装置の外観

Figure 2 (Left) Structure of the device. (Right) Electrode plates and pappi of the device.

4.2 動作確認

1本の冠毛を2枚の電極の間に置いて装置を動作させ、図3に示す下記の3つの基本的な動きが可能であることを確認した。

1. 電源を入れると冠毛が帯電して倒れた状態から毛が上になるように直立する
2. 電荷が冠毛に一定程度溜まると冠毛は跳ぶ
3. 電源を切ると冠毛の電荷が中和し、ゆっくりと冠毛は横たわる

さらに、幾つかの形状の特徴が異なる冠毛を用いてその振る舞いを観察したところ、冠毛から上の電極板までの距離が短いと立ちやすい・跳びやすい傾向があることを確認した。このことは2枚の電極板の間隔が各冠毛の振る舞いに影響を与えることを示唆する。さらに検討を進めたところ、冠毛を帯電させる2枚の電極の間隔によって、複数の冠毛を動かした時に自律的な個性のある動きと揃った協調的な動きのどちらが強くなるかが異なることが、わかってきた。そこで次章の実験でこれらの詳細なパラメータについて検討する。

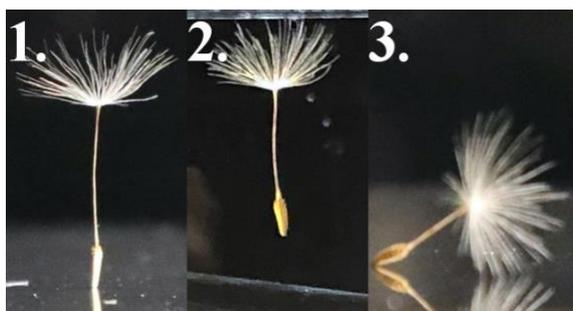


図3 制御に応じた冠毛の振る舞い

Figure 3 Behavior of the pappi responding to the device.

5. 実験

本章では「立つ」「跳ぶ」「横たわる」の3つの振る舞いに関して、電極板の間隔を変化させることでその動きに個性性と協調性がどのように生じるかを明らかにする実験を3つ行う。

5.1 冠毛の選定

3つの実験に用いる共通の冠毛として、高さがおおよそ同等の冠毛を5つ選んだ(図4)。具体的には嘴の長さは8.7mm、

瘦果は3.9から4mmである。円盤を含めた全長はおおよそ17mmである。これにより各冠毛と電極板の距離は同一になる。一方で電荷が溜まる冠毛の円盤の大きさや形状は5本それぞれに違いがある。このような実験刺激を準備することで、冠毛の形の特徴のうち特に冠毛円盤の大きさ・形状に由来する個性差と、電極板の距離の2つの要因が、複数の冠毛の動きにおける個性性と協調性の現れ方にどう影響するのかをクリアに明らかにする。



図4 実験で使用した5つの冠毛

Figure 4 The five pappi used in the experiments.

5.2 実験1：立つ冠毛

冠毛の立つ振る舞いに関しては、プレート間隔が短いほど、冠毛を引っ張り上げる力が大きくなり、一斉に立ち上がると考えられる。本実験では全ての冠毛と一部の冠毛が立つプレート間隔を明らかにするため、電極板の間隔を25mmから1mm間隔で6水準設け、それぞれの水準で立っている冠毛の割合を記録した。結果を図5に示す。5本の冠毛がすべて立ったままになるプレート間隔の最大長は28mmであり、29mmになると、一部の冠毛だけが立ち上がるようになった。30mmで冠毛は立たなくなった。以上より、冠毛の立つ動きに関しては、17mmの冠毛に対して電極板の間隔が28mm以下では協調性のある動きが、29mmでは個性性のある動きが生じることが示唆される。

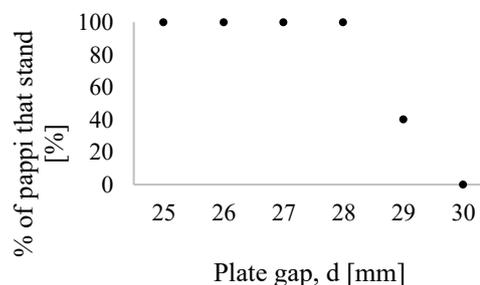


図5 プレート間隔に応じた冠毛が立っている割合

Figure 5 Percentage of pappi that stand by electrode plate gap.

5.3 実験2：跳ぶ冠毛

電源を切ってから横たわるまでの間に、電荷が冠毛に溜まっていると冠毛は跳ね上がるが、これは予備的な検討で

は電極板の間隔が近い場合に起こりやすい傾向があった。そこで本実験では、電極板の間隔を 28mm と 22mm の 2 水準設け、電源を切った後の挙動を 5 体すべての冠毛について 3 回調べた。28mm 間隔では冠毛は跳ばないが、22mm 間隔では冠毛は跳び、一試行の中で飛ぶ回数も冠毛や試行ごとに異なる (図 6)。活発な冠毛もあればおとなしいものもある。以上より、飛ぶ動きに関しては電極板の距離が近い時に個性のある動きが生じることが示唆される。

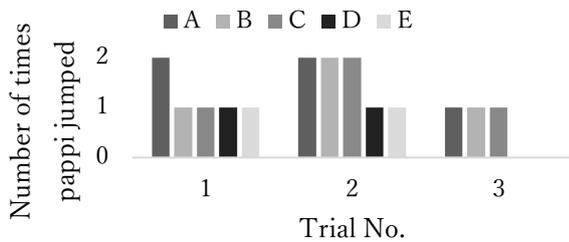


図 6 22 mm 間隔で各試行において冠毛が跳んだ回数
Figure 6 Number of times pappi jumped for 22 mm plate.

5.4 実験 3 : 横たわる冠毛

電源を切った後、ゆっくりと冠毛の電荷は中和するため、一定時間が経過してからそれぞれの冠毛が横たわる傾向がある。本実験では、5 個の冠毛が横たわるまでの時間やその順番が電極板の距離によって異なるかを検討した。電極板の間隔を実験 2 と同様に 28mm と 22mm の 2 種類を設け、それぞれ 3 回電源を切った後の振る舞いを観察した。

図 7 に結果を示す。28mm の電極板の間隔 (図 7 左) では、冠毛は個体ごとに特有の持続時間を経て横たわる。そのため冠毛が横たわる順序は、各試行でほぼ同じである。さらに全ての冠毛が横たわるまでの時間は最小の試行でも 2 分 31 秒かかる。一方、電極板の間隔が 22 mm の場合は異なる振る舞いが見られる (図 7 右)。5 つの冠毛の横たわるまでの時間は最長でも 49 秒であり、28mm の場合の 3 分の 1 以下である。横たわる順番も試行ごとに異なる。以上より、プレート間隔が近い場合には、各個体の持続時間のばらつきは抑えられ、全体の動きとしては協調性が見られることが明らかになった。プレート間隔が大きい場合には、持続時間が冠毛ごとに異なり、個性が見られることがわかった。

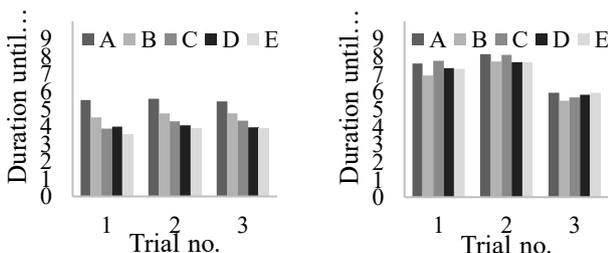


図 7 (左) 28mm 間隔での冠毛が横たわるまでの時間。
(右) 22 mm 間隔での冠毛が横たわるまでの時間。

Figure 7 (Left) Duration until pappi fall for a plate gap of 28 mm. (Right) Duration until pappi fall for a plate gap of 22 mm.

5.5 考察

以上の実験より、電極板の間隔を変化させることで、「立つ」「跳ぶ」「横たわる」の 3 つの振る舞いに関して、複数の冠毛の動きに個性性と協調性がどのように生じるかを明らかにした。3 つの内の、「立つ」と「横たわる」の振る舞いでは電極板の間隔を近くする事で協調性のある動きを実現でき、間隔を広げる事で個性のある動きを実現できる。「跳ぶ」振る舞いでは電極板の間隔を近くする事で個性のある動きを実現できる。今回の実験では協調性のある「跳ぶ冠毛」は実現できなかった。

6. ユーザスタディ

この章では生きた冠毛を展示した際の観覧者の反応と、オンラインアンケートによるユーザスタディの結果を紹介する。

6.1 展示と鑑賞者の反応

生きた冠毛を展示用に応用し 2019 年 11 月 29 日～30 日に開催されたクリエイティブアワード「ISCA」で「けさらんパパス：生きた冠毛」[14]として出展した (図 8 A)。出展した作品の内容は 3 種類である。具体的にはシードヘッドに惹かれ立つ冠毛 (図 8 B) とスイッチ制御のある、立つ・跳ぶ・横たわる複数の冠毛 (図 8 C) と木を追うインタラクティブな冠毛 (図 8 D) である。

展示での反応をまとめると、3 つの応用例の内一斉に複数の冠毛が動く作品 (図 8 C) が人気だった。具体的な感想としては「踊っているように見える」、「可愛い」といったポジティブなものも多く得られた。「音楽に合わせて動いたら、さらに踊っているように見えて面白いのではないかな」という意見もあった。複数の冠毛が同時にすばやく動く様子は特に観客を魅了し、多くの人は驚いていた。

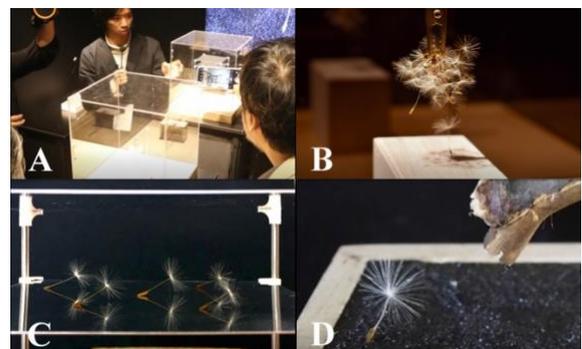


図 8 「けさらんパパス：生きた冠毛」の展示
Figure 8 Display of *Kesaranpappus: Living Dandelion Pappi*.

6.2 オンラインアンケート

冠毛の振る舞いによってどのような生命性を感じられるのかと、複数の冠毛の動きに関して自由さや群れの様子

な印象が生じるかをより詳しく調査するため、4つの冠毛の動画を見てアンケートに答えるオンラインでのユーザスタディを行った[15]。用意した動画は①跳ぶ冠毛②木を迫る冠毛③一斉に立つ冠毛、④バラバラに立つ冠毛の4つの冠毛の振る舞いである(図9)。実験参加者は21人であった。動画の視聴順序は番号順であり、各動画の視聴後に表1にあげる3つ或いは5つの質問に、全く思わないを「1」、とてもそう思うを「5」として5段階で回答してもらった。

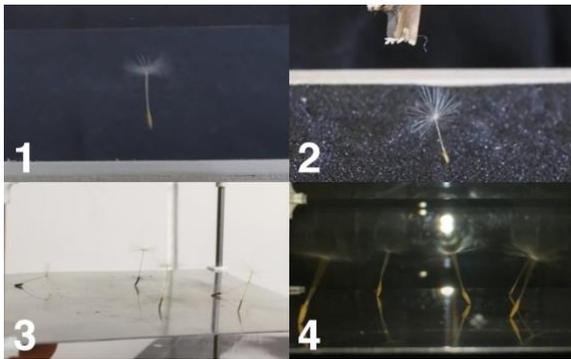


図9 オンラインアンケートで見た動画の振る舞い
Figure 9 The behaviors seen in the videos for the online survey.

表1 アンケートの質問項目
Table 1 Survey Questions

質問項目	振る舞い
① 冠毛は自由に動いている	動画①～④
② 愛らしさや魅力がある	
③ 冠毛に感情がある	
④ 冠毛間のコミュニケーションがある	動画③～④
⑤ 同類の群れに見える	

6.2.1 冠毛の振る舞いの生命性

まず単体の冠毛の動きである①跳ぶ冠毛と②木を迫る冠毛の動画の視聴後は、表1内の3つの質問「自由に動いている」と「愛らしさ・魅力がある」、「冠毛に感情がある」にそれぞれ答えてもらった。

冠毛の振る舞い(2水準)と質問項目(3水準)を要因として2要因の分散分析を行なったところ両要因に主効果があり、交互効果はなかった。図10に示すように、質問項目のうちの②「愛らしさ・魅力がある」は他2つの質問とは有意な差があり(* $p < 0.05$)、高い評価を得た。ここから単体で動く生きた冠毛から、理性や心を持っている生命性よりも、弱いものを支援したいと思わせ注意を引きつけるような生命性を感じる可能性が示唆される。

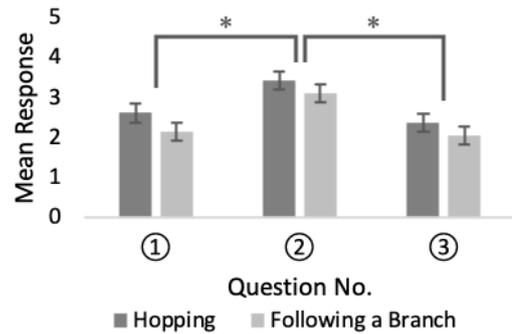


図10 生命性アンケート結果
Figure 10 Animacy Survey Results

6.2.2 複数の冠毛の振る舞いと個性・協調性

複数の冠毛の動きである③一斉に立つ冠毛と④バラバラに立つ冠毛の動画の視聴後は表1の5つの質問「自由に動いている」と「愛らしさ・魅力がある」、「冠毛に感情がある」、「冠毛間のコミュニケーションがある」、「同類の群れに見える」全てに回答してもらった。

冠毛の振る舞いと質問項目を要因として2要因の分散分析を行ったところ、質問項目の主効果と交互作用があった($F(4, 80) = 10.3, ** p < 0.01$)。図11に示すように、下位検定の結果、①「自由に動いている」という質問項目において冠毛の振る舞いの単純主効果があり、平均値から「バラバラに立つ冠毛」が高い評価を得た。また⑤「同類の群れに見える」という質問項目にも冠毛の振る舞いの単純主効果があり、平均値から「一斉に立つ冠毛」が高い評価を得た。以上より、個性のあるバラバラに立つ振る舞いは自由な動きが感じられ、協調性のある一斉に立つ振る舞いは群のように見える可能性が示唆される。

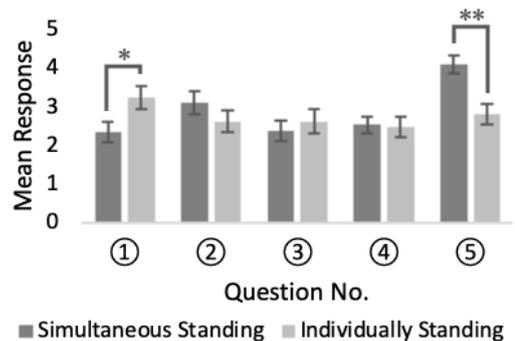


図11 個性・協調性アンケート結果
Figure 11 Individuality/Conformity Survey Results

6.2.3 鑑賞者の感想

アンケートの最後に任意で感想を自由記述する欄を設けた。21人の回答者の内5人から回答をいただいた。4人の感想は好意的で1人の感想は否定的だった。好意的な意見の中には、「冠毛に対して見ている側が応援したくなる又は可愛らしく思う」という意見や、「冠毛の素材だけではなく

電極板が砂鉄や木といったオーガニックな見た目の方が生き物らしい」という意見があった。ここから、魅力的で生きているように思わせるための、見ている側に感情を持たせる事と、冠毛に自然素材が使われている事の重要性が示唆される。

7. 今後の展望

生きた冠毛にはまだ追究してない振る舞いがある。実験の考察でもふれたように、協調性のある「跳ぶ冠毛」の実現はまだ課題である。確認はしたが追究していない振る舞いもある。例えば冠毛を逆さまに置くとクルッと半回転し、冠毛の複数が絡まると二三段に肩車をしているように立ち、下側の電極板が傾いていると冠毛はふわっと浮いて滑る。展示の鑑賞者が提案したように音楽に合わせて踊るように見せたい場合には、動きの速さを制御する必要がある。マイナスイオン発生器が発する電荷量の調整で、振る舞いの速さの制御が可能かは今後の課題と言える。以上より、今後より多様な生きた冠毛の振る舞いについて検討を進める。

今回、生きた冠毛は特に作品として、展示や映像を通じて鑑賞してもらおう形をとった。だが愛らしい印象と注意を引きつける特徴は作品だけではなく、機械を大事に楽しく扱う接し方を促すインターフェイスとしての応用にも可能性があるかと筆者らは感じている。定期的に生き物の状態を確認したくなるように、冠毛を見て機械の状態を伺うことが楽しく感じる応用例などを今後は検討していきたい。

8. おわりに

本稿では静電気をういタンポポの冠毛に重力を抗う振る舞いを可能とし、生きているように感じさせる手法、生きた冠毛を提案した。実装はマイナスイオン発生器と電極板、支える鉄の棒で構成した。電極板の間隔を可変にする事で、冠毛の振る舞いを調整可能にした。間隔が近いと冠毛は立ちやすく跳びやすい。実験では電極板の間隔により、個性性と協調性のバランスが変わる事も可能であることを確認にした。生きた冠毛の動画を見た視聴者にアンケートに回答してもらい、どのような生命性を感じられるかと個性性と協調性の群れらしさへの影響を追究した。結果、冠毛に愛らしさ・魅力を感じる事がわかった。個性性のある冠毛の動きは自由に動いているように思えて、協調性のある動きは群のように見えることを確認した。そしてアンケートの自由記述欄や展示では可愛らしいや踊っているように見えるといった感想を頂いた。アニメシーは人工生命の分野だけではなく、より幅広い分野で活用できると筆者らは考える。

謝辞 展示で建設的なフィードバックを頂いた観覧者と動画を見てアンケートにご協力いただいた皆様に、謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 池上高志: 動きが生命をつくる-生命と意識への構成論的アプローチ-青土社 (2012).
- 2) Nowacka Diana: Autonomous behaviour in tangible user interfaces as a design factor, TEI '14: Proceedings of the 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (2014).
- 3) Halstead, Thora W.: The 1986-87 NASA space/gravitational biology accomplishments, National Aeronautics and Space Agency (1987).
- 4) 池上高志: シンギュラリティは既に起きている。ALife 研究者・池上高志が語る「過剰性と生命」、大阪芸術大学 (2018). (引用日: 2020年7月24日)
<http://boundbaw.com/inter-scope/articles/16>.
- 5) 竹中透: ヒト型ロボットの制御システム, 脳科学とリハビリテーション, Vol.7, pp.1-3 (2007).
- 6) 加藤一郎, ほか: 足: 人間型油圧歩行機械(2足歩行ロボット(WABOT-1)の開発), バイオメカニズム, Vol.2, pp.175-184 (1973).
- 7) Railbert, Marc, et al.: *BigDog, the Rough-Terrain Quadruped Robot*, 2, Elsevier, Vol.41 (2008).
- 8) 橋本健二, ほか: 脚部にパラレルリンク機構を用いた2足ロボモータの開発 (第19報: 外部環境からの外乱に対する補償制御), 日本ロボット学会第27回学術講演会予稿集, 3P1-01 (2009).
- 9) Hild, Manfred, et al.: Myon, a New Humanoid. [book auth.] Luc Steels and Manfred Hild. *Language Grounding in Robots*. Boston, MA: Springer (2012).
- 10) 村松充, 山中俊治, Hild Manfred: *Apostroph*, 東京大学 Prototyping & Design Laboratory (2016).
- 11) 三澤遥: 動紙, Misawa Design Institute, Nippon Design Center, Inc (2018). (引用日: 2020年7月30日)
<https://misawa.ndc.co.jp/works/809/>
- 12) 山岡潤一: *Walking Tree*, [Video]. YouTube (2012).
<https://youtu.be/JIgSbm8Vbes>
- 13) 前川和純: *Stand*. (引用日: 2020年7月30日)
<https://www.youfab.info/2019/winners/stand>
- 14) フラハティ 陸, 橋田朋子. けさらんパパス: 生きた冠毛, [Video], YouTube (2019).
https://youtu.be/KQUC_ykN2Lo
- 15) フラハティ 陸, 橋田朋子: タンポポの冠毛研究のためのアンケート. (引用日: 2020年7月29日)
<https://forms.gle/SRUCueEHcxxNa9wd8>