

落として掴み留まりを可能にする足趾装置とその応用

辰巳穂乃実^{†1} 橋田朋子^{†1}

概要：飛行する鳥は足の裏に枝が当たると反射的に踵が下がり、連動してつま先が閉じると飛行していた状態からその場に留まることが出来る。本研究ではこの鳥の足の掴み留まりから着想を得て、予め環境に適した構造を設計することで、電子的なセンシングやアクチュエーションの必要なしに、空間移動する物体が掴み留まる仕組みを実現する。具体的にはパッチンバンドに3Dプリンタで造形した円柱を接着し、それを落とすインタラクションにより、棒に直立に掴み留まる仕組みを提案する。またこの装置を応用し、装置が掴み留まる際の撃力を別の力に変換することで、掴んだ後に一動作が可能な応用機構も実現する。

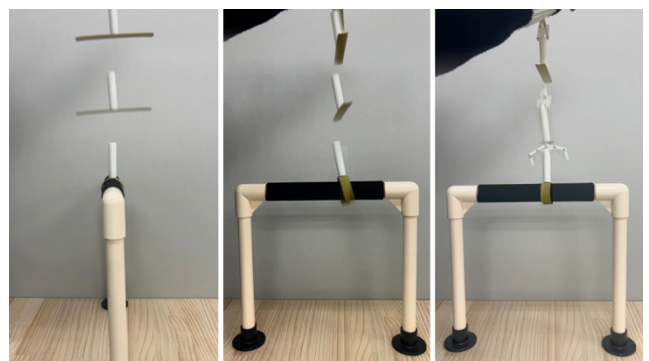
1. はじめに

人は、生物の構造や機能の観察・分析を繰り返し、そこから直接的・間接的に着想を得て新しい技術の開発やモノづくりを行ってきた。第一著者が幼少期より鳥類に魅せられ観察や調査を続ける中で、かすみ網[1]という禁止猟法を見つけ、そこから飛行する鳥が枝に留まって休息する際に足の裏に枝が当たると反射的に踵が下がり、連動してつま先が閉じると飛行していた状態からその場に留まることが出来るという機能を知った。これは環境に適した構造を持つことで、センシングの必要なしに掴み留まりというアクチュエーション機能を実現できることを示す良い例と言える。

このような鳥の足の掴み留まりを忠実に模倣する事例として、既に回転翼式のドローンが飛行している状態から足で棒を掴み留まるもの[2]や、固定翼型のドローンに搭載された3本型ロボットハンドが棒を掴むもの[3]などが提案されている。前者は、モータと糸により足が閉じることで棒に掴み留まり、棒を掴んだ後もドローンの体勢がキープされる。後者は、爪と付け根部分に搭載したバネが連動し、モータでラッチのロックと解除を行うことで棒を掴み、その後ドローン本体はぶら下がる形で停止する。これらの事例では、モータやセンサによる電子制御が行われており、実装が容易な反面、重量が嵩んでしまうことや、装置が大掛かりになってしまうという課題がある。一方、掴み留まりを目的とするものではないが、掴みの本体となるロボットアームに板バネを用いることで、電子制御なくロボットハンドの開閉を可能にする試み[4]もある。

筆者らは鳥の足の掴み留まりから着想し、予めインタラクションや設計を工夫することで、電子的な制御なしに、空間移動する物体が棒を掴める仕組みを実現したいと考えた。特に、鳥は枝を掴み留まった後同じ体勢がキープされるため、掴み後に重力でぶら下がることや粘着することではなく、まっすぐに掴み留まることにも重点を置く。以上

を実現する具体的な手法として、落とすインタラクションによる重力での下方向への移動と、板バネの機能の応用が適していると考え、対象物を落とすと当たった衝撃で棒に巻き付きまっすぐに掴み留まる装置を提案する。また本装置の応用として、掴み留まる際の撃力を別の力に変換することで、掴んだ後に一動作が可能な応用機構も紹介する。



(a)横から見た図 (b)正面から見た図 (c)応用機構

図1 提案装置の動作の様子

2. 落として掴み留まる足趾装置

2.1 提案

本稿では、落とすと掴み留まる仕組みを提案する。これは板バネの仕組みを応用した、パッチンバンドを転用することで実現する。通常パッチンバンドは、人が腕に向かって振り下ろす衝撃やパッチンバンドを曲げるような力を加えることで、中に入っている薄い金属板が曲がり、巻き付く仕様になっている。筆者らは予備的な検討の中で、パッチンバンドが落下による衝撃でも棒に巻き付くか実験したところ、巻き付きバンド単体では、衝撃が加わる瞬間に面が当たらず、巻き付くことは出来ないが、まっすぐ落下させるための補助として厚紙で作った円筒を接着して落下させたところ、高い確率で巻き付き、まっすぐな状態で掴み

^{†1} 早稲田大学

留まることに気が付いた。そこで本研究では、市販のパッチンバンドの適切な位置に円筒を接着させた機構を、落として掴み留まりを可能にする装置として提案する。本装置は鳥の足の掴み留まりから着想しており、鳥類において足のつま先に該当する部分を趾（あしゆび）と呼ぶことから、本稿ではこれを足趾装置と呼ぶこととする。以下にパッチンバンドや棒から構成される掴み部と持ち手部の設計指針と制作に関して述べる。

2.2 掴み部

掴み部として市販のパッチンバンドをそのまま使用する。パッチンバンドは切断すると、板バネの機能を失うため、長さなどは変えず市販されている規格そのままを使用する。

市販のパッチンバンドは、長さ 3cm×30cm 規格のものがほとんどであるが、一部の商品では少し短い長さの 3cm×23cm 規格のものもある。また、サングラスの temple にパッチンバンドと同じ機構を使用している商品（型番 SLN-1002、日本出版販売株式会社製）があり、これは 2cm×15cm 規格である。どのバンドにおいても持ち手を付けることで一定の落下衝撃に対し、棒に巻き付くことが出来たが、長さがあるものに関しては棒に巻き付いた後、棒を中心に回転してしまい、掴むからぶら下がる形になることが多かった。そのため、掴んで留まることを目的としている本研究では、回転することなく作動する長さ 2cm×15cm のバンドを使用する。

また掴まる棒としては、自立し、足趾装置が棒を掴む衝撃に対して倒れたり揺れたりすることなく耐えられるような要件が望ましい。そこで今回は、直径 2.5cm 長さ 30cm のイレクターパイプを組み立て、掴まる部分には滑り止めと掴まる棒の太さ調節のためクッション材を巻き付けたものを掴まる棒として採用する。

2.3 持ち手部

持ち手となる部分は、PC 上で設計したデータを 3D プリンタで PLA 樹脂を用いて出力し造形する。持ち手部の設計の詳細を図 2 に示す。まず、いくつかの直径や長さを比較検討したところ、今回使用する掴み部の 2cm×15cm のバンドとの組み合わせとしては、図 2（左）に示すような直径 1.6cm 高さ 7cm の円柱の動作が安定していたため、このサイズを使用する。また持ち手はバンドのちょうど中心位置に、シリコーンゴムやフッ素樹脂などが接着できる専用接着剤で、外側のみ 2mm 程度固定する（図 2（右））。この位置は予備的な検討の中で、中心からずらして接着した装置をいくつか用意し比較検討した際、中心に接着したものほどまっすぐ掴み留まる確率が高かったことから決定した。また接着方法については、持ち手とバンドを隙間なく接着した際や中心部に接着したときに、バンドが接着の強度に負け、板バネとしての機能を失ってしまったことからこの接着方法を利用する。

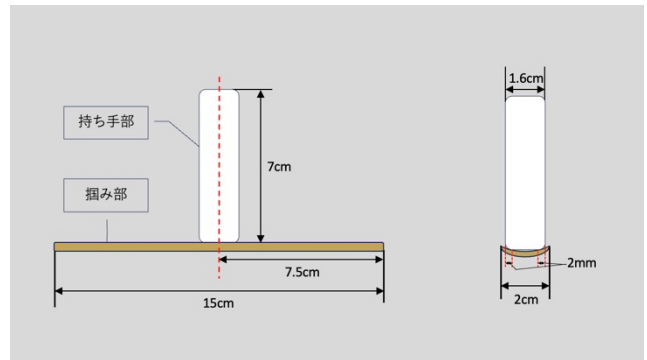


図 2 横から見た設計図（左）と正面から見た設計図（右）

3. 動作確認

3.1 実験条件

実装した装置を掴み棒へ落とした時に持ち手がまっすぐな状態で掴み留まるかを検証することを目的として実験を行った。予備的な実験により、高さ約 20cm から落下させる時が最も安定したため、今回の実験においても同様の高さ 20cm から落とすこととした。試行数は 100 回とした。なお落とすインタラクションは人が手で行った。その際、壁に落とす高さと同様位置に高さ 20cm の印をつけ、毎回必ず目視確認してから実験を行った。本実験における成功とは、足趾装置が棒を掴むことかつ、掴み後持ち手部が設置棒の幅に収まる範囲で留まることとし、装置を落とした後は毎回正面と横から目視で確認を行うことで成否の判断をした。

3.2 結果

実験では 100 回中 94 回成功した。図 3 に実験で成功した回の横からの様子を切り取ったものを示す。足趾装置が棒を掴み、持ち手部が設置棒の幅内で直立している様子がわかる。失敗した 6 回は、装置が掴み棒に当たった衝撃に対して、掴み部が作動せずそのまま跳ね返ってしまったもの、掴みはしたものの持ち手が回転してしまったものがあった。全ては成功しなかったものの、9 割以上成功したことから、本装置が比較的安定的に動くことを確認できた。

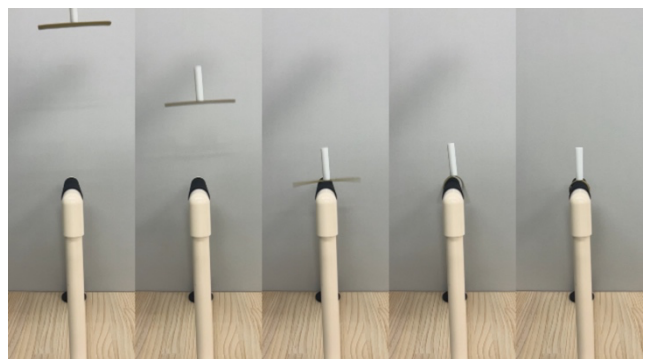


図 3 試行実験で成功した様子

4. 応用機構

提案した装置を基本として、掴み留まる際の撃力を別の力に変換して一動作起こすことが出来る3つの機構の設計を行なった。予備的な実験により、装置が作動した際に持ち手がより直立であるためには、落下時・掴み時ともに左右のバランスが均等である必要があると分かった。そのため、応用する3つの例はこの条件のもと設計している。以下に3つの応用機構のそれぞれの表現意図と動作の様子についてまとめる。

まず一つ目の応用機構は、装置が掴み留まると球体が障壁を越えて螺旋を転がるというものである。これは足趾装置が掴み留まる際の撃力が持ち手まで伝わることを直感的に見せられるよう意図して設計した。この応用装置は通常時、障壁があることで坂を下ることができない球体が、掴み留まり時の撃力を受け、障壁を越えることが出来るものである。図4に実装した機構の動作の様子を示す。衝撃と共に中に入っている球体が一度天井側へ移動した後に障壁を越え、螺旋を転がりながら落ちていくことが確認できた。

二つ目の応用機構は、装置が掴み留まると同時に持ち手上部が開くというものである。これは植物の種が風に運ばれて別の地で育つことからインスピレーションを受け、落として掴んだ後、花が咲くような動作を意図して設計した。この応用装置は持ち手が円筒になっており、あらかじめビー玉を入れた状態で、落とすインタラクションを行う。衝突球の原理から、撃力が伝わったビー玉が上部に移動することで、蓋を開くことができるものである。図5に実装した機構の動作の様子を示す。衝撃と共に中に入っていたビー玉が掴みの衝撃で上部に跳ね上がり、蓋を開くための動力となっていることが確認できた。

三つ目の応用機構は、装置が掴み留まるとリンクが左右に開くというものである。これは本研究が鳥から着想を得たことから、鳥を連想させるような羽ばたき動作を意図して設計した。この装置は6つのリンクを組み合わせて設計しており、通常時縦方向に閉じているリンクが衝撃と共に横方向に変形するものである。図6に実装した機構の動作の様子を示す。衝撃と共に閉じられたリンクは左右に開くことが出来た。

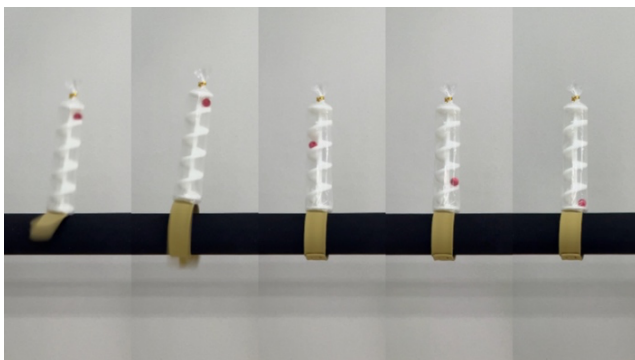


図4 掴み留まり後球体が障壁を越え螺旋を転がる様子

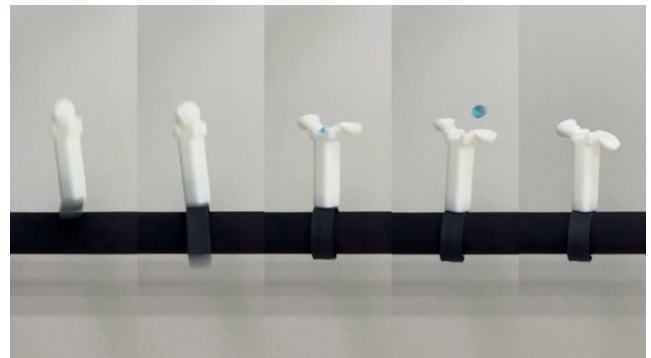


図5 掴み留まり後持ち手上部が開く様子

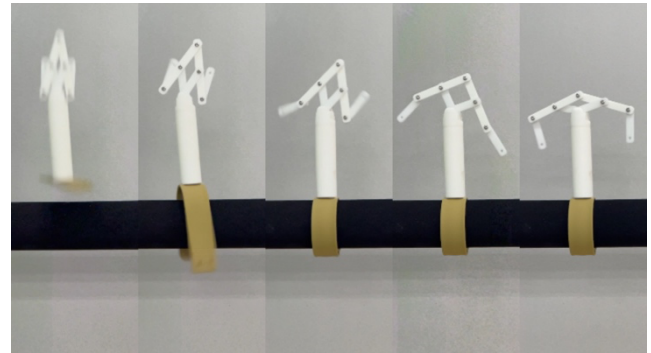


図6 掴み留まり後リンクが左右に開く様子

5. おわりに

本研究では、落として掴み留まりを可能にする足趾装置を提案した。そして実験で高い成功率で掴み留まりの動作を確認し、電子制御なしでの掴み留まりが可能であることを示した。

また、提案装置の応用として、掴み留まる際の撃力を別の力に変換して一動作起こすことが出来るような機構を3つ装置・実装したが、他にも応用機構を検討したい。また、実験を重ねる中で、落として直立させるだけでなく、任意の角度から投げると、その角度でも装置を停止させられるという機能にも気がついた。この任意の角度で投げるとめられることを応用した機構についても考案していきたい。

参考文献

- [1] 環境省. “かすみ網による密猟防止の推進について”. <https://www.env.go.jp/hourei/18/000022.html>, (参照 2023-12-08).
- [2] W. R. T. Roderick, M. R. Cutkosky, D. Lentink. “Bird-inspired dynamic grasping and perching in arboreal environments”. <https://www.science.org/doi/full/10.1126/scirobotics.abj7562>, Science Robotics, 2021, Vol 6, No.61.
- [3] W. Stewart, L. Guarino, Y. Piskarev, D. Floreano. “Passive Perching with Energy Storage for Winged Aerial Robots”. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aisy.202100150>, Advanced Intelligent Systems Volume 5, Issue 4.
- [4] I. Nate, Z. Wang and S. Hirai, “Passive robotic gripper using a contact-based locking mechanism”. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), London, United Kingdom, 2023, pp. 10303-10309.