

すいころ：吸引によって生じる布の凹みの動きに合わせて自由形状の立体が任意に転がるシステム

小林佑輔^{†1} 橋田朋子^{†1}

概要：最近では転がりに着目したアート作品やプロダクトが増えてきており、驚きや意外性を感じさせることはもちろん、転がりの新たな機能の可能性を示す事例も多い。一方で、これらは転がるモノの形状が球体や円筒状に限られる、モノや転がり環境に磁石などの特殊な素材が必要であるなどの課題もあった。そこで本研究では、自由形状のモノが、特殊な素材を用いることなく、水平面や垂直面にも転がるシステムの実現を目指し、伸展させた布の表面に軽い立体物を接触させて背面から吸引しながら動かすと、布の凹みの動きに合わせて布の上の立体物が転がりながら任意の位置に動く仕組み“すいころ”を提案する。さらに、アプリケーションとして、様々な形状の造形物および既存の製品や自然物が転がる例と、転がる動きを転用することで実現される効果や機能の例を提示する。

1. はじめに

転がるモノは、その動きに自律性が感じられやすいこともあり、古くから私達を魅了してきた。木の実やボールなど、自然物から人工物まで、私たちは、滑らかで球状のモノが、傾斜面上を重力により転がり落ちたり、平面上で力を与えて転がったりした際の挙動を経験的によく知っている。最近ではこの転がりについてよく知っているということを逆手に取り、転がる形状を有しているモノが自ら転がる仕組み[1][2][3]や、本来なら転がりにくい形状のモノが転がる仕組み[4][5]などの試みも増えてきている。これらの仕組みは、転がりという慣れ親しんだ現象への驚きや意外性を生じさせることはもちろん、転がる位置による情報提示のような転がりの新たな機能の可能性も示している。一方で、これらはそれぞれ転がるモノの形が球状に限られる、モノや転がり環境に磁石などの特殊な素材が必要であるなどの課題もある。

本研究では、球体や円柱に限られない形状のモノが任意の位置に転がる仕組みを、転がるモノに特殊な素材を用いず、転がる環境も水平面に限定せず実現したいと考える。その一つの方法として、筆者らは、布を張ってその背後から布の一部分を吸引させたまま動かすと、その吸引箇所が布に吸い付きながら滑るように移動し、その動きに合わせて吸引箇所の布の上の物体が転がりながら水平にも垂直にも動けることに気がついた。本稿では、この現象を活用し、一般的な材料による色々な形状のモノが、水平面や垂直面の任意の位置に転がりながら動く仕組み、“すいころ”を提案する(図1)。本稿では、すいころの概要と原理、実装手法について挙げ、特性計測実験の結果をまとめる。さらに、アプリケーションとして、様々な形状による転がりの例や、転がりを活用したり転用したりすることで新たに実現される効果や機能の例も提示する。

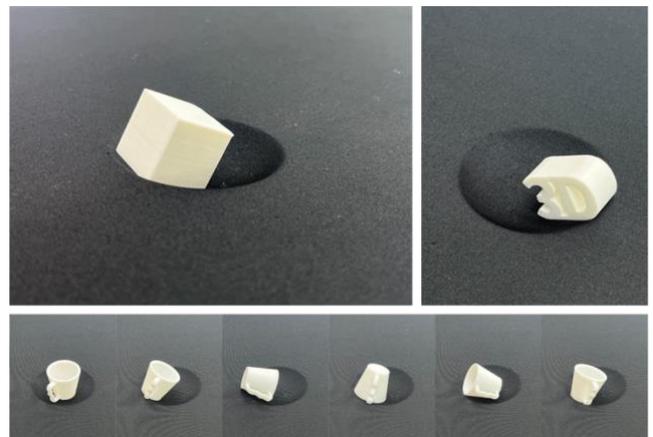


図1 すいころ

2. 関連事例

転がるモノで動きの自由度や形状の自由度が高いモノの試みは、HCIやアートの分野などでも増えてきている。

まず、モノの形が球状や円柱状に限られるが、動きの自由度が高いものとして、直線上をタイヤが転がりながら自走する立体作品 SPARE (not mine) [1]や平面上を自由に転がるプログラミング学習用のボール型ロボット SPRK+ [2]やそれを応用した事例[3]などが挙げられ、これらはモノ自身にアクチュエータを組み込んで転がる。そのためモノの位置や動きを比較的高い精度で制御できるが、内部に複雑な動力機構を必要とし、サイズの制約も大きい。一方、探査機に見立てたボールを、表面上を動く凹みによって加速させゴールに入れることで、天体によるスイングバイを体感できる浜松みらい~らの展示[6]や、複数の藁人形が支える円盤状のテーブルの傾きを動的に変化させてボールを転がすラウンドテーブル[7]などの作品でも、モノが外部環境の変化によって多様な転がりを見せる。これらは、モノ自身に複雑な機構を組み込む必要はないが、環境側が比較的大きくなりやすく、動ける位置の精度は必ずしも高

くない。本研究でも環境側に吸引の仕組みを設けるが、様々な形状のモノが、任意の位置に転がれるような制御を行う。

次に、動きの自由度とモノの形状の自由度がどちらも比較的高い例を挙げる。円陣を組んだ木の蔭がコロコロとダンスを踊る Cocoon Dance [4]や、小さな直方体の箱が転がり続けるインスタレーションである Strolling[5]などの作品は、磁力の変化によって転がる。これらは、楕円体や直方体で平面上を自由に転がり、位置や動きを高い精度で制御できるが、転がるモノや環境に特殊な素材を使う必要がある。本研究では特殊な素材ではなく、軽さと大きさの要件を満たせば材質は比較的自由的なモノが転がれる仕組みを目指す。

3. すいころ

3.1 提案

本研究では、伸展させた布の表面に軽い立体物を接触させて背面から吸引しながら動かすことで、布の凹みの上の立体物が転がりながら任意の位置に動く仕組み、“すいころ”を提案する。すいころで転がる立体物は、特殊な材料ではなく、例えばスチロールのような一般的で扱いやすい材料を用いて球体に限定されない比較的自由的な形状に造形したモノや、アメやどんぐりなどの小さくて軽い製品や自然物などである。また水平面はもちろん、垂直面でも動作することができる。すいころは、伸展させた布、吸引機構から構成され、布の上を立体物が転がる。その基本動作を下記に挙げる。

1. 伸展させた布の表面に軽い立体物を接触させて背面から吸引すると、布は吸引口と接触した上でその形に合わせて凹状に変形し、さらにその上にある立体物も吸着されてその位置に保持される。
2. 吸引口を移動させると凹みも滑らかに移動してその上の立体物が吸着したまま転がる。

本章ではすいころでこのような動作や特徴が可能な理由をまとめた上で、実装のための指針も述べる。

3.2 動作原理

すいころで上述した動きが生じる原理について、簡単のため立体物は立方体、移動は水平方向とし、立方体を置いた布の真下に吸引機構を設置する状況を想定して述べる。このような条件下で吸引を行うと、図 2(a) のように、布は吸引口の形に合わせて凹状に変形する。同時に、吸引される際の風が布を若干通り抜けるため、立方体は吸引口に吸着された状態になる。この状態のまま、吸引口をスライドさせるように右方向に動かすと布は伸展されたままで動かないが、吸引口の形に合わせて布の凹状への変形は続くため、凹みが布の上を動く。すると、立方体の絶対的な位置は変化しないが、吸引口との相対的な位置関係は変化し、凹に変化した緩やかな曲面上の位置に立方体が乗る。その

ため、図 2(b)のように立方体は吸引口が移動した方向に少し斜めに傾く。さらに吸引口を右へ移動させて布との接触面が吸引口の縁の部分に差し掛かると、図 2(c)のように縁が立方体の底面と布越しに吸引口の移動方向に接触し、さらに立方体が傾く。この時、同時に立方体の移動方向の面が布を通り抜けた風により吸引されるため、今度はその面が底面となって、布に吸着する。この動作が繰り返されることにより、立方体は吸引口の移動方向に合わせて転がるように移動する。また、立体物が垂直方向へ移動する場合でも原理は同様に説明することができる。

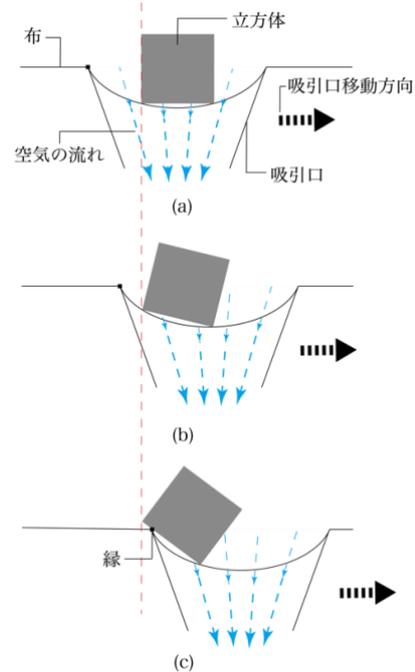


図 2 すいころによる立体物の動き

3.3 設計指針

すいころを実現するための設計指針として、まず布に関しては、滑らかである、伸縮性がある、風を通す、という性質を持つものを利用する。さらに、その布の上下左右を固定するなど、伸展させて張るように設置することが必要になる。

次に吸引機構に関しては、布と接する吸引口、その動きを任意に制御できる仕組み、吸引装置が必要である。吸引口の形状は、転がりの引き金となる縁との接触が多方向に起こりやすくするため、円形が望ましい。また、吸引装置の吸引力は一般的な掃除機で出力される程度の力で十分だが、その際には動作音が比較的静かである方がなお良い。

最後に立体物に関しては、予備的な検討により、比較的軽いモノであり、布との接触面が広く吸着されやすい形状のモノを選んだ方が転がりの成功率が高まることが分かったため、吸引口に収まる大きさで、軽かつ完全な球体ではないモノを選定する。また、システムを垂直に設置する場合は、水平で設置する場合より、スチロールなどのより軽い材料の利用が望ましい。

4. 実装

4.1 システム構成

提案システムの構成図を図3に示す。すいころは、立体物が転がる面である布展開部と、吸引を行なって布を凹ませ、その箇所の移動を制御する吸引部より構成される。

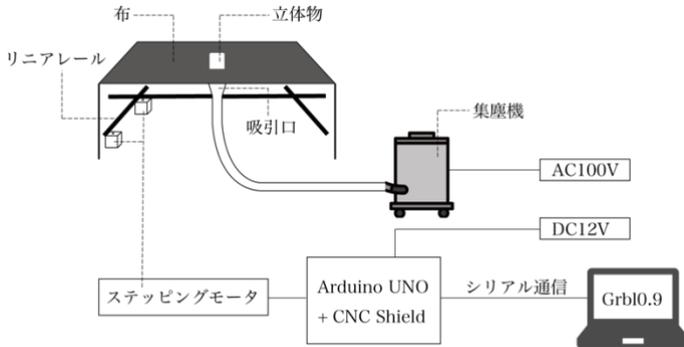


図3 システム構成図

4.2 布展開部

すいころでは、利用する布として黒色のライクラ生地
の布を選定した。その理由は、滑らかで軽薄であり伸縮性
もあるため、吸引によって形状変化しやすく、吸引口を移
動させた時に吸い付きながらも動かせるからである。さら
に、編み込みも密ではないため、吸引時に風が布を通過し
、立体物を直接的に吸引によって吸着させることができる。
また、黒色の布を用いることで、背後の吸引部を隠せる
という利点もある。布のサイズは吸引部の大きさに依存す
るが、今回は 520mm×470mm の長方形とし、吸引部の吸
引口と吸引口移動機構が隠れるように設置した木製の台の
枠に伸展させて張るように固定した。

4.3 吸引部

吸引部は吸引口、吸引口移動機構、吸引装置から構成
される。まず、吸引口は、3D プリンタで制作した PLA 樹
脂製でラップ型の形状とし、吸引装置から伸びるホースの
直径も考慮した上で布との接触側を直径 60mm の円とした。

次に吸引口移動機構は、リニアレール (400mm, Iverntech 社製)、その上を動くリニアレールガイド (MGN12H, Iverntech 社製) の組み合わせを 3 つ使い、そのうちの 2 つを X 軸 (横方向) に並行に、1 つを Y 軸 (縦方向) に配置した構造とした。X 軸と Y 軸に 1 つずつステッピングモータ (42mm 角, MERCURY MOTOR 社製) を設置し、タイミングベルト (2mm ピッチ, KeeYeess 社製) が動かされることに合わせてリニアレールガイドも移動する。吸引口は、リニアレールガイドに固定されており、ガイドが動くことに合わせて吸引口も移動し、その移動領域は、X 軸方向に 270mm、Y 軸方向に 290mm の範囲である。ステッピングモータは、DC12V の外部電源により駆動し、ステッピングモータドライバ (A4988, Allegro 製) を搭載した CNC シールドを装着したマイコン (Arduino UNO)

によって制御する。マイコンにはファームウェアとして制御プログラム (Grbl0.9) をインストールし、PC での制御用ソフトウェアとして CNCjs を用いてシリアル通信を行って操作する。描画ソフトを用いてパスを描き、Gcode に変換したソースコードを CNCjs にアップロードして動作を開始させるとモータが動き出し、PC 上で描いたパスの通りに吸引口の移動を制御できる。

吸引装置は、業務用の集塵機 (VC0820, マキタ社製) を用い、システム稼働中は AC100V の外部電源により駆動させる。装置の吸気口からは中空のホースが伸びて吸引口と接続されており、常時連続的に吸引が行われる。吸引力は集塵機の本体側で 5 段階から設定できる。なお、集塵機の電源の制御は吸引口移動機構の制御とは独立しており、吸引口の移動開始と終了に合わせて手動で集塵機の電源を操作する。

4.4 システムの動作確認

実装したシステムの外観を図4に示す。図4の左は水平面での実装、図4の右は垂直面での実装の様子である。実装したシステムを稼働させて動作確認を行なった。今回は、代表的な形状の立体物として立方体が転がることとし、垂直に設置する場合は 20mm 四方のスチロール製 (0.21g) の立方体、水平に設置する場合は 20mm 四方の PLA 樹脂製 (3.25g) の立方体を用意した。まず、直線と曲線を組み合わせて縦横斜めに転がるような挙動を描いたパスを Gcode に変換して CNCjs にアップロードする。次に、集塵機の電源を入れて吸引を開始させ布に凹みを作る。そして、その上に立方体を設置し、PC 画面で CNCjs のスタートボタンを押すことによって転がりを開始させる。なお、吸引口の移動速度と加速度はそれぞれ 4000mm/min、100mm/s² に設定した。

その結果、水平および垂直に設置した場合のどちらにおいても、立体物が布の上を転がって約 40 秒間動くことを確認した。

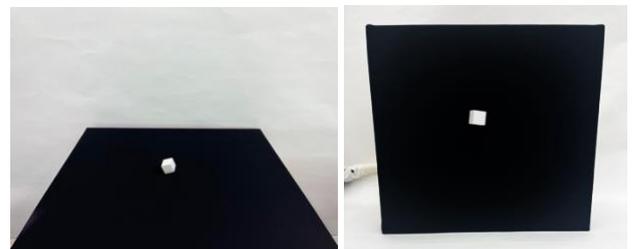


図4 水平面 (左) と垂直面 (右) のシステム外観

5. 特性計測実験

本章では、システムの特性計測を目的として、3 つの実験を行う。まず、布展開部と吸引部の特性に関して、吸引力と遮風率および吸引力と布の凹みの関係を明らかにする。次に、実際にシステムを稼働させた時の、立体物の大きさおよび重量と転がり成功率の関係について記述する。

5.1 吸引力と遮風率

本実験では吸引力と遮風率の関係を明らかにするため、集塵機の吸引力を変化させた時の布を通過する前の吸引量 (CMM) と布の通過した後の吸引量 (CMM) を測定し、布がどの程度風を遮っているかの指標である遮風率 (%) を算出する。まず、吸引口を初期位置 (X=0mm,Y=0mm) で静止させた上で、集塵機の電源を入れ、集塵機本体の設定で吸引力を5段階中1から5に段階的に上昇させる。吸引量 (風量) の測定は風速風量計 (BENETECH GM8903) を用い、布を通過する前の吸引量として集塵機の吸引口、布の通過した後の吸引量として布表面の凹み部分に風速風量計を設置して数値を計測した。なお、数値は秒単位で連続的に変化するため、風量が安定してから5秒間程度に得られた数値の平均値を結果として取得した。

結果を表1に示す。吸引力を強くするほど、布通過前の風量と布通過後の風量も大きくなっていくが、遮風率は44%から48%の間でほぼ一定となることが分かった。この結果から、ライクラ生地の布により集塵機の吸引風量のほぼ半分程度が布の吸着に利用され布が凹む一方、同時に吸引風量のほぼ半分程度も布を通過すると考えられる。これにより、3.2で示した、吸引により布が凹状に変形すること、吸引される際に風が布を通り抜け立体物の吸着にも利用されるという動作原理をすいこで再現できていることが示唆される。

表1 吸引力と遮蔽率の関係

吸引力	風量 (布通過前) (CMM)	風量 (布通過後) (CMM)	遮風率 (%)
1	0.379	0.197	48.0
2	0.504	0.263	47.8
3	0.718	0.372	48.2
4	0.997	0.512	48.6
5	1.542	0.864	44.0

5.2 吸引力と布の凹み

本実験では、吸引力と布の凹みの関係を明らかにするため、集塵機の吸引力を変化させた時の布の凹み (mm) を測定する。吸引口を初期位置で静止させた上で、集塵機の電源を入れ、集塵機本体の設定で吸引力を5段階中1から5に段階的に上昇させる。布の凹みの測定箇所は、布平面を真横から見た時の吸引口上部と凹んだ布の穴の最下部とし、その距離をノギスを用いて目視で計測した。なお、計測は5回を行い、その平均値を結果として取得した。また、参考値として、スマートフォンの騒音計アプリ (DecibelX) を用いて、吸引力の各段階のシステム稼働音 (dB) も布から30cm離れた位置で同時に測定した。

結果を表2に示す。吸引力を強くするほど、凹みも大きくなることが分かる。凹みが大きくなると、立体物の布への吸着力が増加し位置が保持されやすくなり、転がりの際に吸引口の縁に立体物が接触しやすくなるため、サイズや重量が大きい立体物も転がることができると考えられる。一方で、吸引力を上げるとそれによってシステム稼働音も

大きくなり、吸引力を4以上にすると音量は70dBを超えた。これは、室内で聞くとかなりうるさく、大きな声を出さないと会話できないレベルである[8]。そのためシステム稼働時は吸引力を2もしくは3に設定するのが適切と考えられる。

表2 吸引力と布の凹みの関係

吸引力	凹み (mm)	稼働音 (dB)
1	6.9	54.2
2	9.5	61.2
3	13.8	69.3
4	14.2	74.6
5	21.8	83.9

5.3 立体物の大きさおよび重量と転がり成功率

本実験では、システムを水平と垂直に設置した際の立体物の大きさ (mm) および重量 (g) と転がり成功率 (%) の関係を検証する。今回は、代表的な形状の立体物として立方体が転がることとし、大きさに関しては、直径60mmの円形の吸引口に収まるように考慮して、一辺の長さが10mm, 20mm, 30mm, 40mmの4種類とする。重量に関しては、直接的に操作することは難しいため、それぞれの大きさに対して、とても軽い素材としてスチロール製1種類と充填率を5%, 15%, 30%, 60%に変えて3DプリントしたPLA樹脂製4種類の計5種類を設ける。以上より条件は合計20パターンとなる。転がりの挙動は、直線と曲線を組み合わせて縦横斜めにそれぞれ2回ずつ転がるものとし、集塵機の吸引力を2に設定した上で、20パターンの立方体に対してそれぞれ10回の試行を行い、転がりの成功率を算出した。また、転がりの“成功”と“失敗”は、以下のように定義した。

1. 立体が吸引口の動きに追従できず、布表面に取り残される、もしくは落下した場合は失敗とする。
2. 立体が吸引口の動きに追従するが、布との接触面が常に一定となり転がらない場合は失敗とする。
3. 立体が吸引口の動きに追従して転がるが、布表面にシワが走るなどシステムの外観に異変が生じた場合は失敗とする。
4. 1, 2, 3に当てはまらず、立体が吸引口の移動開始から終了まで連続して転がった場合を成功とする。

水平設置時の結果を図5、垂直設置時の結果を図6に示す。まず、水平に設置した場合、用意した立方体のうち、一辺の長さが20mm (用意した5種類の重量の範囲は0.21gから6.06g) と30mm (用意した5種類の重量の範囲は0.62gから19.1g) の立方体に関しては、スチロール製と充填率を変えたPLA樹脂製の計10条件中7条件で転がり成功率が90%以上であった。残りの3つの条件に関しては、転がりの際に布の繊維と立方体の角が引っかかり吸引口の動きに取り残された様子だったため、立方体の角に少し丸みを帯びさせるなど加工を工夫すれば、さらに転がり成功

率も高くなると考えられる。次に一辺の長さが 10mm の立方体に関しては、最も軽いスチロール製の立方体（重量が 0.03g）のみ転がり成功率が 80%を超えたが、同じサイズのそれより重い PLA 樹脂製の立方体は、吸引口の動きに追従するが、布との接触面が常に一定となって転がらず、成功率は 0%となった。この理由については、立方体の各面の面積が小さすぎるため、移動方向の面が布を通り抜けた風により吸引されにくかったためだと推測される。さらに一辺の長さが 40mm の立方体に関しては、立体が吸引口の動きに追従して転がるが、布表面にシワが走り、動きもぎこちなかったためこの立方体の条件でも成功率は 0%となった。この理由については、立体が大きいと吸引口の面積のうち塞がれる面積の割合が大きくなるため、吸引口の吸着力が増大し、布表面を滑らかに移動できなくなるためだと推測される。以上を考慮すると、水平設置時では、立体物の大きさが 10mm ほどであればスチロール程度の軽さ、20mm ほどであれば約 6g 以下、30mm ほどであれば約 20g 以下の重量で、転がりを成功率が高く実現できるものと考えられる。

垂直に設置した場合は、用意した立方体のうち、一辺の長さが 10mm, 20mm, 30mm の立方体に関して、最も軽いスチロール製の立方体（それぞれ重量が 0.03g, 0.12g, 0.62g）のみが転がり、その成功率はいずれも 70%以上であった。一方で、それより大きいサイズと重量の立方体については吸引口の動きに追従できず落下して成功率は 0%となった。その理由としては、水平に設置した場合と比べて立方体自身の重力の向きが布に吸着する方向とは異なるため、かなり軽い立体物でないと、吸引口の動きに追従できず布表面に取り残されて落下しやすくなるからだと推測される。以上を考慮すると、垂直設置時では、立体物の大きさが 10mm から 30mm ほどで、スチロール程度の軽さであれば、転がりを成功率が高く実現できるものと考えられる。

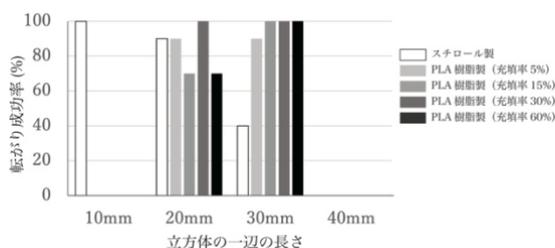


図 5 水平設置時の転がり成功率

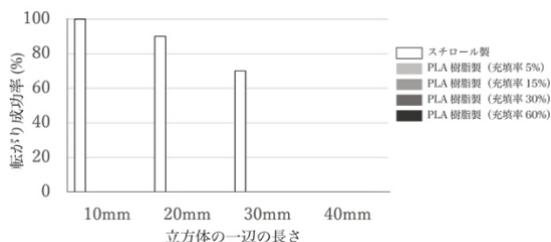


図 6 垂直設置時の転がり成功率

6. アプリケーション

6.1 様々な形状の立体物が転がる例

提案システムでは転がる対象の形状にあまり制限がないため、立方体に限らず多様な立体物が転がって動ける。今回は、転がり環境を水平面上とし、様々な形状の造形物および既存の製品や自然物が転がる例を示す。実験 5.3 を踏まえた上で、造形物に関しては、充填率 15% の PLA 樹脂製で大きさが 30mm 程度の立体物を 3D プリンタで製作した。図 7 の左から、家型、ドーナツ型、パッキン型である。既存の製品や自然物に関しては、大きさが 30mm ほどで重量が 20g 以下の立体物を選定して用意した。図 8 の左から、アメ、どんぐり、ブロッコリーである。いずれの場合でも、水平面上で問題なく転がりながら動いた。

このように、水平面であれば、スチロール製や PLA 樹脂製はもちろん、より多様な材質のモノや、自由度の高い形状の立体物が転がりながら動くことができることが示唆される。



図 7 家型、ドーナツ型、パッキン型が転がる例



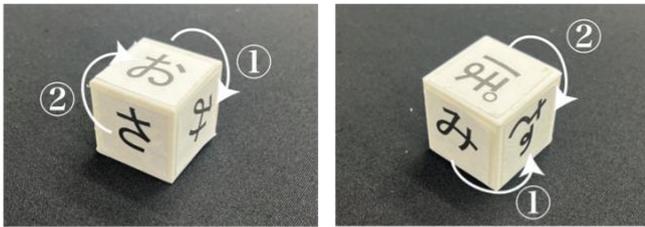
図 8 アメ、どんぐり、ブロッコリーが転がる例

6.2 転がりに機能や効果を追加した例

提案システムでは、立体物がただ転がるだけではなく、転がる動きを転用して多様な機能や効果を実現することもできる。以下の図 9 から図 13 では、回転の時間経過をコマ送りにして左から右に並べている。まず、図 9 は転がることで異なる面が前面に出ることを活用し、複数の情報を任意の順番で表示する情報提示インターフェースとして用いる例である。具体的には、立方体の表面 6 面に 1 文字ずつ 6 つの文字を書き、立方体が転がると、一番表の面に書かれた文字が流れるように変化していくものを実現した。1 つの立方体でも転がる回転方向を変えること（図 9①と②）で異なる単語の情報を提示できる。次に、図 10 は提案システムによる吸引が布の凹みだけでなく対象物の吸引も引き起こしていることを活用し、転がる立体物として紙風船を利用した形状変化インターフェースの例である。紙風船には膨らませるための小さな穴が存在するが、転がりの過程でその箇所が布に接した時だけ吸引により風船内の空気が吸い込まれるため、転がりによって萎んだり膨らんだりする。今回の実装では立方体の紙風船を作り、形状が変化する様子を確認した。さらに図 11 はトイレトーパーの回転に着想を得た、転がりの軌跡可視化インターフェースの例である。具体的には、円柱状の立体物に細長い

布を巻きつけた円柱が転がるにつれて巻かれた布が引き出され、布同士が静電気により張り付くことにより、円柱が辿った転がりの痕跡を視覚的に感じることができるものを実現した。なお、情報提示と軌跡可視化のインターフェースはスチロール製の立体物を用いることで水平方向と垂直方向のどちらにも転がるのが可能である。

また、転がりという動きだけにとどまらないアプリケーションとして、図 12 にユーザとのインタラクションと立体物の自重の活用を組み合わせ例、図 13 に布の凹みの動きを生き物のように見立てた例を紹介する。図 12 では、システムを垂直に壁のように設置し、ユーザが布の凹みに向かって立体物を投げ入れると、立体物は布に吸着されて凹みの位置に保持される。さらに転がりの後に吸引を中断させると、立体物が自身の重さで落下する。図 13 では、システムを水平に設置し、立体物を布の凹みの上ではなく吸引口の移動方向にあらかじめ設置することによって、凹みが立体物が転がり始められるようにまるで“迎えに”いっているように見える。



回転方向①



回転方向②

図 9 情報提示インターフェースの例



図 10 形状変化インターフェースの例



図 11 軌跡可視化インターフェースの例



図 12 立体物の投げ入れと落下

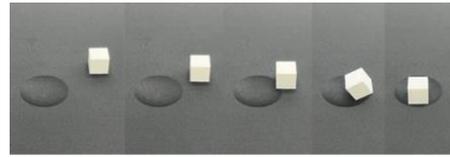


図 13 立体物を迎えにいく布の凹み

7. まとめと今後の展望

本研究では、伸展させた布の表面に軽い立体物を接触させて背面から吸引しながら動かすことで、布の上の立体物が水平面や垂直面で転がりながら任意の位置に動く仕組み、“すいころ”を提案した。本稿では、すいころの概要と原理、実装手法について説明し、特性計測実験を行なって吸引力と遮風率および吸引力と布の凹みの関係、立体物の大きさおよび重量と転がり成功率の関係を明らかにした。さらに、アプリケーションとして、様々な形状の立体物が転がる例や転がりに機能や効果を追加した例などを示した。

今後の展望としては、複数の吸引口を設置して、2 個以上の立体物が同時に転がりながら動くシステムの実現が挙げられる。そのために、吸引口を搭載したロボットを布の背後から複数動かすなど XY ステージ以外で吸引口を動かす機構を検討することが考えられる。また、アプリケーションとして、さらにユーザとのインタラクション性を取り入れることも挙げられる。ユーザの手の動きをトラッキングしてその軌跡どおりに転がるなど、鑑賞するだけではない新たなインターフェースとなる可能性も示唆される。

謝辞 紙風船の制作にご協力頂いた金谷地洋氏、宇田川れい氏に謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Jonathan Fletcher MOORE, “SPARE (not mine)”, <https://j-mediaarts.jp/award/single/spare-not-mine/>, (参照 2023-12-01)
- [2] sphero edu, “SPARK+”, <https://sphero-edu.jp/what/robot/>, (参照 2023-12-01)
- [3] フラハティ陸, 橋田朋子: ヘイパス! 会話のキャッチボールを継続させるボール型ロボットを用いたファシリテーションシステム, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集, pp.172 - 177.
- [4] 李保順也, “Cocoon Dance”, <https://www.youtubecom/watch?v=t4gGitwMJJQ>, (参照 2023-12-01)
- [5] nomena, “strolling”, <https://nomena.co.jp/project/strolling/>, (参照 2023-12-01)
- [6] 浜松科学館みらいーら, “スイングバイ”, <https://www.miraira.jp/floorguide/space/5003-info/>, (参照 2023-12-01)
- [7] チェ・ウラム, “ラウンドテーブル”, <https://www.obrasdarte.com/round-table-estatua-movel-de-choe-u-ram-ganha-atencao-nas-redes-sociais/?lang=ja>, (参照 2023-12-02)
- [8] 日本騒音調査ソーチャー, “騒音値の基準と目安”, https://www.skklab.com/standard_value, (参照 2023-12-01)