

Floath システムを用いた 体や服の周りに浮遊する動的なエフェクトとテクスチャの提案

小林佑輔^{†1} 橋田朋子^{†1}

概要：最近では、衣服やそれに付属した小物などは、ファッションとして個性や自己を表現する手段であることは常識となりつつあるが、「身体に着用する」という基本スタイル自体は長らく変わっていない。筆者らは、体から少しだけ離れた衣服の周りの空間が手付かずであることに着目し、「体の周りに浮かせて漂わせる」という新たなスタイルの衣服や小物の在り方に可能性を感じている。そこで、本研究では、面や立体の布を一定の位置に浮遊させることや、手の動きと連動して浮かぶ布を動かすことができる仕組みである Floath を考案し、柔らかい布を面や立体として衣服の上を含む体の周りで浮遊させ、動的にその動きを変えられる表現の実現を目指す。そして、体の周りに浮かせて漂わせることの特徴を活かした表現として、体や服の周りに浮遊する動的なエフェクトとテクスチャを提案する。

1. はじめに

衣服は、人間が身体に着用するものとして、身体の保護や社会的地位の表象などのために発展してきた。最近では、ファッションとして、衣服や付属の小物などが個性や自己を表現する手段であることは今や一般常識となりつつある。表現の自由度を上げるために、静的なものだけでなく動的なものまで衣服の多様な形が実現されているが[1][2][3]、「身体に着用する」という基本スタイル自体は長く変わっていない。筆者らは、体から少しだけ離れた衣服の周りの空間がいまだ手付かずであることに着目し、「体の周りに浮かせて漂わせる」という新たなスタイルの衣服や小物の在り方に可能性を感じている。そのためには、柔らかい布を面や立体として衣服の上を含む体の周りで浮遊させ、動的にその動きを変えられる表現が有効と考える。空中に浮いて動く布による表現は、重力に逆らっているという意外性から生じる見た目のインパクトに加え、身体の形に制限されないより自由な形状設計や、漂わせる場所による意味付けなども可能なため、デザインの自由度も高い。一方で、柔らかい布を体の周りで浮遊させ動的に動かす具体的な手法に関しては、動力源などをそのまま浮遊対象に組み込まない、センシングなどの電子的な制御を行わない、浮遊させるための装置を目立たせないことなどに配慮する必要もある。

筆者らは予備的な検討の中で、布の端をテグスで固定しその下から風を当てると布が浮遊しつつある位置で緩やかに留まり、さらに風向を変化させるとそれに合わせて浮いている布も移動する現象に気がついた。そこで本研究では、面や立体の布を一定の位置に浮遊させることや、ユーザーがファンの風の吹き出し口の上を遮蔽物を用いてさえぎると、連動して浮かぶ布を動かすことができる仕組みとして Floath を提案する。さらに体の周りに浮かせて漂わせることの特徴を活かした表現の方向性として、一つは装着した

人に何らかの情報や意味を付加させるような、現実世界で体の周りに浮いて動く動的エフェクトを、もう一つは人が着用している服の表面で浮いて服の模様や装飾として機能する動的テクスチャを提案する (図 1)。



図 1 動的エフェクト (左) と動的テクスチャ (右)

2. 関連研究

衣服自体や、服に付属したデバイスが動く動的な衣服の事例を挙げる。衣服自体が動く事例として、PuppetCloth[4]は、ワイヤーを用いて衣服を操り人形のように動かす衣服展示ディスプレイの一種であり、we-air-ing[1]は、ファンの風によって服をはためかせることで、衣服に動きを与えるウェアラブルデバイスである。また、服に付属したデバイスが動く事例として、Rovables[2]は、車輪で服の表面を動き回るミニチュアロボットであり、Ying Gao によるロボティックな衣服[3]は、服の表面に付けられたガラスやシリコンを組み合わせた模様が脈打ったりねじれたりする。これらはいずれも動的な衣服ではあるが、服自体を動かすか、衣服に直接物体を取り付けており、浮遊までには至っていない。

次に、これまで考えられてきた浮遊手法として、TUI やディスプレイ分野の事例から紹介する。BitDrones[5]は動力

^{†1} 早稲田大学

源としてプロペラを組み込んだ直接駆動によって、ZeroN[6]は磁気、lapillus bug[7]は超音波、floatio[8]は気流といった外力によって浮遊させる間接駆動によって、それぞれ動的なTUIやディスプレイを実現している。これらの浮遊手法は、装置の構造が目立つため、いずれもそのまま衣服の周りでの浮遊に用いることは難しく、インターフェースやディスプレイ単体として機能するだけに留まる。本研究では、新しい浮遊手法としてFloathを考案し、間接駆動で布を体の周りで浮遊させ、電子的なセンシングなしに動的に動かすことを実現する。

3. Floath システム

3.1 Floath システムの概要

Floath は面や立体の布を一定の高さ（位置）に浮遊させることや、手の動きに連動して浮遊した布を動かすことが可能な、インタラクティブな浮遊ディスプレイシステムである。提案システムはファン、開口部（ファンの噴出口）、テグス、布、制御板（開口部をさえぎるもの）から構成される。布の端にテグスを結んで台に固定し、その下からファンで風を当てると布が浮遊し、開口部を制御板でかざすようにさえぎると布も移動する。Floath は簡素な構造で浮遊が可能であること、操作にセンシングなどの電子的処理や複雑な機構的構造を用いないこと、浮遊する素材は柔らかいこと、点ではなく面や立体で動的に浮遊することを特徴とする。システムの全体図を図2に示す。

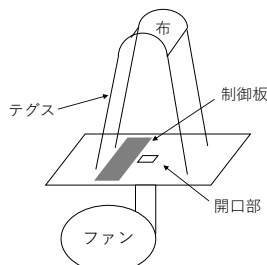


図2 Floath システムの全体図

3.2 Floath の動作原理

Floath において浮いた布が移動する現象について力学的に説明する。まず、地面から鉛直上向きに噴出された風によって、布が空中に保持されて静止している時を考える。このとき、布およびテグスには図3のように力が働いている。布は十分に軽いものとし、布に働く重力を考えないとすると、このときは、下から噴出される風を布が受け止めることによる鉛直上向きの空気による抗力（揚力）と、それを抑えようとするように四方向からテグスが布を引く力が釣り合っている状態である。この状態のまま風の吹き出し口を手などの遮蔽物を用いてさえぎると、図4のようにファンから噴出された空気は遮蔽物を避けるようにして吹

き出し口を通り抜けようとする。そのため、遮蔽された反対側に空気の流れが移動し、噴流の向きを斜めに変化させることができる。次に、噴流が斜めに変えられた時、布に働いている力を図5に示す。このときは布が空気の流れに対して垂直に風が当たるように変形して膨らみ風を捕らえるため、空気による抗力も空気の流れと同方向に斜めに働く。するとこの力を分解した時に、地面に対して鉛直上向きの力が生じ、これが揚力となってテグスが布を引く力と釣り合うため、空中に浮かび続けることができる。一方で、空気による抗力を分解したときには地面と平行な横方向の力も生じる。この力が布が横方向に移動する力である。以上の力により、布は浮かんだまま横方向に動くことができる。

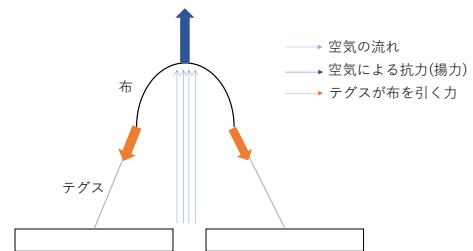


図3 布が上空で静止している時に働く力

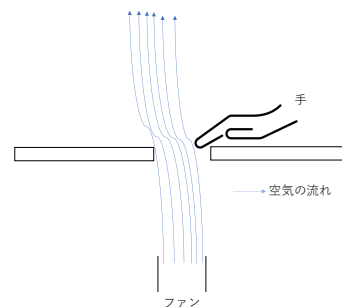


図4 手で空気の流れを変えた時の様子

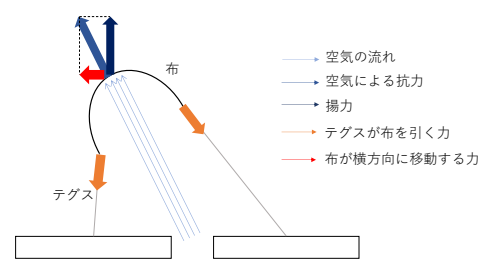


図5 布が上空で移動する時に働く力

3.3 システム検証実験

3.2で述べた原理が実際に再現できるか、2種類の検証実験を行った。本実験では、プロアファン、電源、スイッチ、開口部のある台、テグス、テグスと結ばれた布、開口部をさえぎる遮蔽物によりFloathを構成している。実験全体の構成を図6に示す。

具体的な布の種類やサイズ、ファンの型などは、Floathシステムを用いて実装したい表現や状況によって異なるが、今回の実験では、一番簡単な正方形の布が浮遊する表現を

再現し、ブローファン(高工伸器, DC AIR BLOWER MODEL NO.DC-P-R-3), 布は 13 cm 四方の正方形に切ったポリエチレン 100%のエアオーガンジー, テグスはトアルソン社製ナイロン 0.4 号テグス (直径 0.104 mm) 25 cm を使用した. テグスは布の 4 つの頂点付近と結ばれており, ファンには電源から定格電圧である 12 V が入力され, 台に開けられた 4 cm 四方の正方形の穴 (開口部) を通って鉛直上向き方向に風が噴出される. また, 開口部はスチレンボード製の遮蔽物 (制御板) によって隠すことで, 開口部の遮蔽と開口を制御する. 図 7 に実験装置の外観を示す.

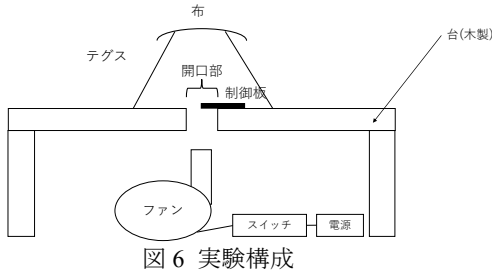


図 6 実験構成

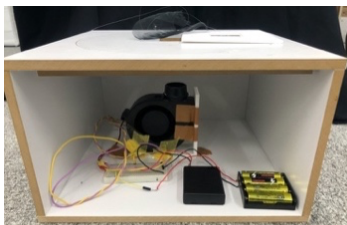


図 7 実験装置の外観

3.3.1 開口部を隠す位置と空間内の風速分布

開口部を制御板で遮蔽した時に, 台の上から鉛直上向きに 25 cm の高さにある, 開口部の上空を中心とした 25 cm 四方の正方形上での風速がどのようになるかを調べた. 具体的には, この正方形平面を 5 cm 四方のマスとして 25 箇所区切り, 風速計 (BENETECH GM8903) によって風速分布を測定した. 遮蔽条件としては, 4 cm 四方の正方形の開口部をどの方向から遮蔽するかを前・後・左・右の 4 条件, 遮蔽領域の大きさを 0.5 cm ずつ 2.0 cm までの 4 条件で, 合計 16 パターンを設けた. その結果を図 8 に示す. マス内の数値の単位は風速(m/s)であり, 風速の大きな場所を赤で, 小さな場所を青で表現している.

実験の結果, 開口部を隠すことによって, 前後左右いずれの方向から隠しても, 遮蔽方向の反対側に風速の大きな箇所の分布が移動することがわかった. この場合の風速の大きな場所というのは噴流の位置を表しているため, 開口部を隠したことにより噴流の風向が, 隠した側の反対側に斜めに変えられることが明らかになった. また, その斜め度合いは開口部をより大きく隠すほど, 大きくなることが判明した.

3.3.2 開口部を隠す位置と浮かぶ布の位置関係

開口部を制御板で遮蔽した時に, 布が最も上部に浮遊している場所の位置を, 背後に設置した目盛りによって布の真横から目視で測定した. 遮蔽条件としては, 4 cm 四方の正方形の開口部をどの方向から遮蔽するかを前・後・左・右の 4 条件, 遮蔽領域の大きさを 0 cm (全く隠さない) から 0.5 cm ずつ 2.0 cm までの 5 条件で, 合計 20 パターンを設けた. その結果を図 9 に示す.

実験の結果, 開口部を隠すことによって, 遮蔽方向の反対側に布が移動することがわかった. すなわち, 手を動かす方向に布も移動することになる. さらに, その時の布の移動距離 (0 cm から 8.8 cm (最大)) は, 手を動かす範囲 (0 cm から 2.0 cm) より大きいことが判明した.

この結果と 3.3.1 での実験結果を合わせると, 風速の大きい場所, すなわち噴流の方向が移動した場所に浮かんだ布の位置も移動することが明らかになった. これにより, 3.2 で述べた原理が, Floath システムで十分に再現できたとと言える.

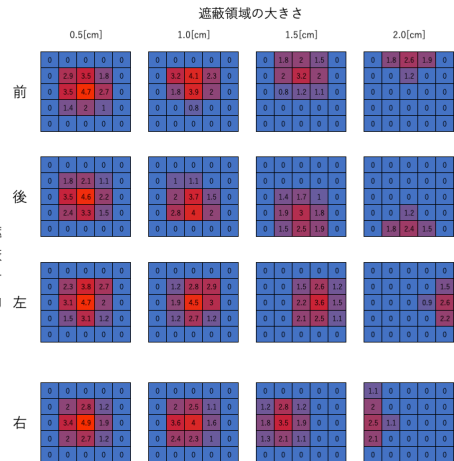


図 8 開口部を遮蔽した時の空間内の風速分布

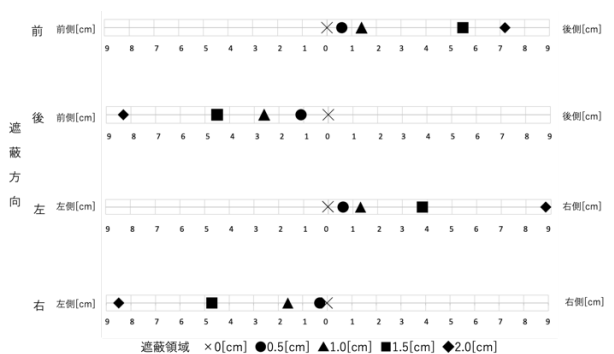


図 9 開口部を遮蔽した時の布の位置

4. 提案表現

この章では, Floath システムを用いて, 体や衣服の周りで面や立体となって浮遊し, 動的にその動きを変えられる表現を 2 種類提案する. 1 つ目は現実世界で体の周りに浮いて動く動的エフェクトである. これは, 実世界上で装着

した人に何らかの情報や意味を付加させようとした試みである。また、このときのエフェクトの操作は、装着者自身が開口部の制御を行うものであり、その手の動きに合わせてエフェクトが揺れる連動感が味わえる。2つ目は、服の模様そのものを体から少しだけ離れたレイヤーで浮遊させる動的テクスチャである。これは、開口部の制御をサーボモータによって行うことで、衣服の表面で浮きながら自動で動くようにし、衣服を着るだけで動的なテクスチャが現れる。

4.1 動的エフェクト

体の周囲に浮遊しているものとして、まず思い浮かぶのは、ゲームやアニメのキャラクターの周囲に表現されるエフェクトである。多くの場合、そのエフェクトはキャラクターの所有物（アイテム）や感情などを表しているが、これを現実世界で再現し、生身の人間の周囲に浮遊させることで、装着した人に何らかの情報や意味を付加でき、それによる新たな表現が可能になると考えた。技術的には、服に設置するため Floath システムをできるだけ簡素化させ、小型化と軽量化をはかること、そして、布の部分を加工し、複雑な立体を作れることが必要となる。Floath システムの簡素化に関しては、実験の時に用いた木製の台ではなく、ファンの吹き出し口に取り付け可能なアタッチメントを3Dプリンタで製作することで、システムに必須の構造は保ちつつ、小型化と軽量化を行う。エフェクトの肝となる浮遊する布のデザイン部分においては、円錐状に布を縫い合わせることでより大きな揚力を得られるように工夫する。

動的エフェクト装置の構成を図10に示す。動的エフェクト装置は、プロアファン（高工申器、DC AIR BLOWER MODEL NO.DC-P-R-3）、トアルソン社製ナイロン0.4号テグス（直径0.104mm）、グラスオーガンジー布、エアーオーガンジー布、3Dプリンタで製作したPLA樹脂製の枠および制御板で構成する。ファンの噴出口には枠を設け、開口部を挟むような位置にレールとその上を動く制御板を設置する。これにより、図11のように、装着者は制御板をスライドさせ、開口部の遮蔽と解放を制御することができる。ファンの裏側にはマジックテープを取り付けており、装着者の背後の肩に取り付けることが可能である。このとき、第三者が正面から見た時には、浮いている布とテグスしか見えないため、あたかも人からエフェクトのみが出ているように見える。エフェクトのデザインは様々な形が考えられるが、今回は炎を取り上げ、布を層状に重ねることで炎を再現した。図1（左）に炎エフェクトの外観を示す。

以上より、ユーザーは自らの手で開口部の制御板を動かすことで、その手の動きと連動させて「ゆらゆら」と炎を揺らすことができる。また、今回は布のデザインを炎としたが、それ以外にも布自体にデザインを施すことで様々なエフェクトを製作することができる。さらに、エフェクトを設置する場所はテープでつけられる服の上であればどこ

でも可能なため、場所によってその意味づけを変えることもできる。

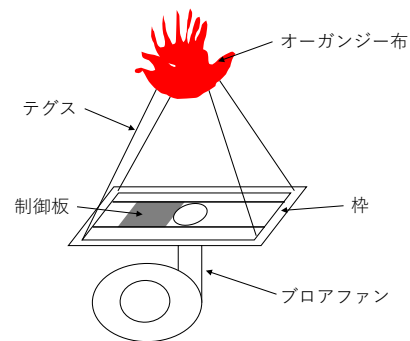


図10 動的エフェクト装置の構成

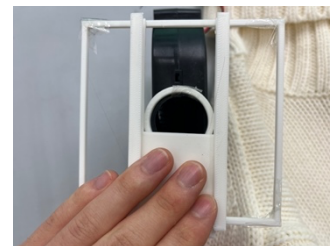


図11 制御板をスライドさせている様子

4.2 動的テクスチャ

動的テクスチャは、服の模様そのものを体から少しだけ離れたレイヤーで浮遊させつつ自動的に動かすものである。技術的には、小型で軽量であることは維持したままファンの吹き出し口の遮蔽と開口を自動で制御する構造を製作すること、正面から見た時の見栄えを考慮すると、浮遊する布をできるだけ平面に近い形にすること、また、装置のファン構造部分を服の中に隠すことが必要となる。開口部制御の自動化に関しては、サーボモータの回転運動を制御板の往復運動に変換するスライダ・クランク機構を製作することにより、簡素な構造で制御板を自動で動かせるようにする。また、浮遊させる布は風を捉えようと変形するため、凧のように布の外周部に3Dプリンタで製作した枠を取り付ける。これによって、ファンからの風を受け止めても布がふくらまず、より平面的に浮遊できるように工夫する。また、服内部でファンを垂直に立たせることにより、ファンの吸気口部分を塞がず空気を取り込める空間を作り、服の内部でも風力を弱まらせずファンを出力できるようにする。

動的テクスチャ装置の構造を図12に示す。動的テクスチャ装置は、プロアファン（高工申器、DC AIR BLOWER MODEL NO.DC-P-R-3）、トアルソン社製ナイロン0.4号テグス（直径0.104mm）、サーボモータ（Tower Pro Pte社製SG-90）、グラスオーガンジー布、3Dプリンタで製作したPLA樹脂製の枠および制御板で構成する。図13のように、開口部はスライダ・クランク機構によって制御板がレール上を往復運動するため、それに伴って開口部が遮蔽および

解放されることにより、ファンから噴出される空気の向きを自動で制御することが可能となる。服に設置する際には、ファンに紐を取り付け、肩や首から背中側に垂直に装置をぶら下げる。図1（右）に動的テクスチャの外観を示す。

今回は、枠を正方形にしているが、円形などの形にデザインすることもでき、さらに布の色や材質を検討すれば、より多様な浮遊模様を製作できる。また、服内部でのテクスチャ位置は調節できるため、腹側や側面などの服のあらゆる場所で動的テクスチャを実現できる。

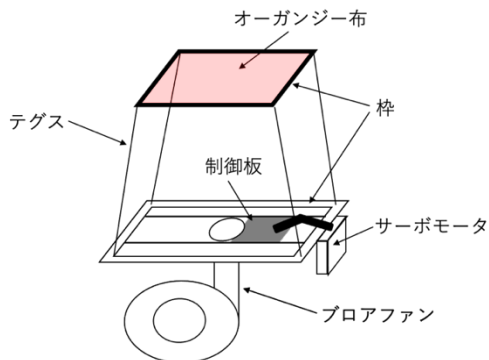


図12 動的テクスチャ装置の構成

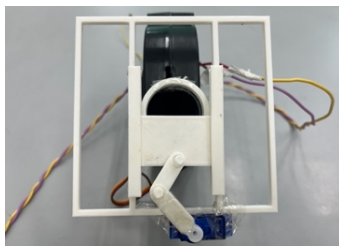


図13 スライダ・クランク機構

5. まとめと今後の展望

本研究では、面や立体の布を一定の位置に浮遊させることや、ユーザーがファンの風の吹き出し口の上を遮蔽物を用いてさえぎると、連動して浮かぶ布を動かすことができるシステムである Floath を提案し、体の周りに浮かせて漂わせることの特徴を活かした表現として、現実世界で体の周りに浮いて動く動的エフェクトと、服の表面で浮いて服の模様や装飾として機能する動的テクスチャを提案した。Floath によって、体から少しだけ離れた衣服の周りという手付かずな領域に、柔らかい布を面や立体として浮遊させ、動的にその動きを変えられる表現が実現できる。

今後の展望として、さらなる小型化と軽量化や、布と他の材質を組み合わせたインターフェースの実現が挙げられる。また、浮遊対象に導電性の布を利用することによる触覚検出や、LED の組み込みによって光らせるなど、ただ浮いて動くだけでなく、浮遊対象に電子的なアウトプットの機能も持たせることで、視覚、触覚ともに新たなインターフェースやディスプレイになり、より発展的な表現も可能になると考えられる。

参考文献

- [1] DENTSU DESIGN FIRM. “空気をファッションにするウェアラブルデバイス”. <https://dentsu-design-firm.com/pds/405/>, (参照 2022-12-07).
- [2] Artem Dementyev et al. Rovables: Miniature On-Body Robots as Mobile Wearables. UIST '16: Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology. October 2016. pp.111-120.
- [3] designboom. “ying gao's new pulsating robotic garments simulate the effects of virtual clothing”. <https://www.designboom.com/technology/ying-gao-2526-robotic-garments-10-20-2022/>, (参照 2022-12-07).
- [4] 横川卓矢, 渡邊恵太. PuppetCloth: 衣服の操り人形化システムの提案と制御手法と表現. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2022) . 2022年9月. pp.184-188.
- [5] Antonio Gomes, Calvin Rubens, Sean Braley, Roel Vertegaal. BitDrones: Towards Using 3D Nanocopter Displays as Interactive Self-Levitating Programmable Matter. CHI '16: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems May 2016. pp.770-780.
- [6] Jinha Lee, Rehmi Post, Hiroshi Ishii. ZeroN: Mid-Air Tangible Interaction Enabled by Computer Controlled Magnetic Levitation. UIST '11: Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology. October 2011. pp.327-336.
- [7] 河野通就, 星貴之, 笈康明. lapillus bug: 音響浮揚による粒子の空中移動制御とインタラクション. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2013) . 2013年10月. pp.41-46.
- [8] Toshiya Yui, Tomoko Hashida. floatio: Floating Tangible User Interface Based on Animacy Perception”, UIST '16 Adjunct: Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology. October 2016. pp.43-45.