

ハイグロモーフを用いた松かさアクチュエータ

Pine Cone Actuator Using Hygromorph

1w143076-3 田丸 純太朗 指導教員 橋田 朋子 准教授

Tamaru Juntaro

Assoc. Prof. HASHIDA Tomoko

概要： 松かさは湿気により開閉する性質（ハイグロモーフ）があることが知られている。本研究では特に松かさを1枚の鱗片に分解しても湿気により変態することに着目し、2枚の鱗片を組み合わせることで適切な水分の供給と乾燥を行うことで、所望の角度に開閉できる開閉アクチュエータを提案する。さらにこの2枚の鱗片による開閉アクチュエータを任意に組み合わせることで鱗片の高さを任意に変えられる高さ変化アクチュエータと、2枚の鱗片による開閉アクチュエータと凹凸の接触面を組み合わせることで鱗片を移動できる移動アクチュエータを実現する。本稿では鱗片の変態特性の計測実験の結果との知見に基づいた機構の詳細を示す。

キーワード： 松かさ、ハイグロモーフ、アクチュエータ

Keywords: pinecones, hygromorph, actuator

1. はじめに

松かさは湿度の多い環境ではかさを閉じ、乾燥した環境ではかさを開く性質があることはよく知られている。この性質はハイグロモーフと呼ばれる。最近ではこのような松かさの湿度による変態の仕組みに着目を得た様々な仕組みが提案されている。例えば服を着た人の汗によって濡れると開き、乾燥すると自動的に閉じることで服の中の湿度を調節するスマートファブリック（繊維）[1]や、雨が降ると天井が閉じ、晴れると天井が開く屋根（建築物）[2]などが挙げられる。しかし、松かさそのものを使用して、湿度による開閉の性質を生かし、新たなモノや機能を作り出す試みは活発に行われていない。また、開閉の機能をもったアクチュエータを用いて様々な機構を提案とした研究として、ペーパーメカトロニクス[3]があり、印刷した紙が自律的に折り曲がることを利用してロボットの構造を組み立てることが可能である。この研究に対し本研究は、素材が自然物である松かさであることや、印刷技術を必要とせず水分のみを必要とすること、開閉に可逆性を持たせることが可能である。

一方、筆者らは実験を重ねる中で、松かさを1枚の鱗片に分解しても湿気により変態（開閉）することに気が付いた。そこで本研究ではこのような鱗片の性質に着目し、2枚以上の鱗片を組み合わせることで適切な水分の供給と乾燥を行うことで、所望の角度に開閉できる開閉アクチュエータを提案する。この鱗片による開閉アクチュエータは、積層させることで高さを変えられる高さ変化機構に展開することや、凹凸の接触面を組み合わせることで鱗片そのものが移動していく移動機構に展開することも可能である。本稿ではまず、1枚の鱗片の水分量と時間変化に応じた変態特性を明らかにする実験の結果を報告した上で、松かさアクチュエータの基本原理と高さ変化アクチュエータや移動アクチュエータの詳細について述べる。

2. 松かさのハイグロモーフの原理

松かさがハイグロモーフにより開閉する原理を以下に示す。松かさの鱗片は内側と外側で異なる繊維で構成されている。外側の繊維は吸水性の維管束が厚いため、乾燥すると維管束が縮み強く引っ張る力を生じ、鱗片を開かせる。反対に、水分を得ることで外側の繊維の引っ張る力が緩み鱗片を閉じさせるような仕組みである。湿度変化により開閉するこの原理は、乾燥時に松かさの内側にある種子を遠くに飛ばせるようにするためである。

3. 鱗片の変態特性に関する基礎実験

ここでは1枚の鱗片の変態特性を明らかにするため、鱗片に与える水分量を変えた時の変態の角度や、開閉の時間特性などを検討する。図3に示すように、松かさの鱗片が水分を吸収する前の開いている時の角度と水分を得て閉じる角度のなす角を θ とする。

3. 1

実験1では、1枚の鱗片に与える水分量を変えた時の得られる角度の関係を明らかにするため、松かさの鱗片の外側に水分を0~1400mgまで200mgごとに増やしながらかさの鱗片の開閉角度 θ の計測をした（図1）。また、実験2では経過時間における開閉角度を明らかにするため、実験1の結果を元に鱗片に1000mgの水分供給を行い、水分吸収から乾燥までの経過時間と開閉角度の関係を求めた（図2）。

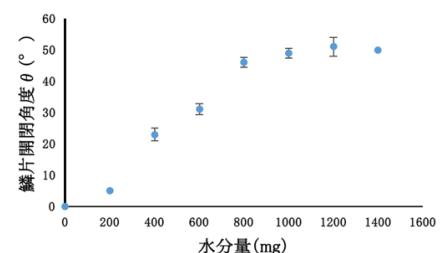


図1. 水分量と鱗片の開閉角度 θ の関係

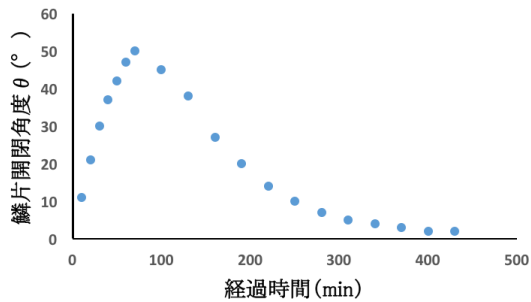


図2. 水分供給より経過時間と鱗片の開閉角度 θ の関係

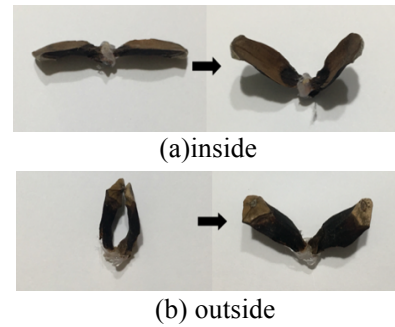


図3 開閉パターンとその動作

4. 松かさアクチュエータ

松かさの鱗片を組み合わせ接合することによって、開閉アクチュエータ、高さアクチュエータ、移動アクチュエータを提案する。接合に関して、基礎実験時で求めた鱗片1枚当たりの同条件の開閉角度から得られる角度を2倍にして算出した予測角度は 100° であるが、鱗片1枚の場合でも開閉角度の誤差は 5° 程度生じることから接合による開閉角度への影響は少ないと考えている。

開閉アクチュエータ 2枚以上の鱗片の末端を接合することにより、開閉アクチュエータを提案する(図3)。鱗片を接合する向きを変えることによって、開閉のパターンを変えることが可能である。

高さ変化アクチュエータ 3枚以上の鱗片の末端を接合することによって高さ変化アクチュエータを提案する(図4)。各鱗片に鱗片を積載させることにより、高さを増すことが可能である。

移動アクチュエータ 鱗片を2枚重ねたものと、その末端に防水加工された2枚の鱗片を接合することにより移動アクチュエータを提案する(図5)。緩やかな面と直角の面を交互に連ねた床面に設置することにより、水分吸収時に床面を緩やかに滑り、乾燥時に直角の面を押し出しながら移動することが可能である。

5. 松かさアクチュエータの応用例

高さ変化アクチュエータの応用例として、花壇の水やりのタイミングを提示する仕組みが考えられる。高さ変化アクチュエータをそのまま花壇の横に設置することにより、水やりが足りている時には高くなり、水やりが足りていない時には低くなることで水やりのタイミングをその高さでさりげなく提示することが可能である。また、移動アクチュエータの応用例として、雨の降った回数に応じて累積移動する仕組みが考えられる。屋外や、湿度変化の大きい場所に置くことによって、雨が降り湿度変化した際に前へ進む。末端とメモリの重なったところを読み取ることによって設置した日から雨が何回降ったのかを提示することが可能である(図6)。



(a) dry



(b) wet

図4 高さ変化アクチュエータ (1段・2段・3段)



図5 移動アクチュエータの動作 (左から乾燥1回目, 水分供給1回目, 乾燥2回目)



図6. 高さ変化アクチュエータ(左)移動アクチュエータ(右)

6. 参考文献

- [1] 加藤康平. スマートファブリックヒータの開発. トヨタ紡織, 7, 25-28. 2013. (2017/12/18 参照)
- [2] Water-Reacting Architectural Surface. https://www.gizmodo.jp/2015/07/post_17554.html (2017/12/12 参照)
- [3] 重宗宏毅. 有機アクチュエータを用いた印刷方による紙ロボットの製作: ペーパーメカトロニクスの提案. Proceedings of JSME annual Conference on Robotics and Mechatronics, 2A2-V05_1-2A2-V05_4. (2017/12/18 参照)
- [4] 中原健一, 鳴海紘也, 河原圭博. 電気回路と一体で印刷可能なアクチュエータによる動的インターフェイス及びロボットの試作. 情報処理学会第79回全国大会 4-327-4-328. (2017). (2017/12/18 参照)