

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

中原健一[†] 鳴海紘也[†] 川原圭博[†] 浅見徹[†]
[†] 東京大学大学院情報理工学系研究科

1 はじめに

熱源によって駆動する印刷可能なアクチュエータ VaPack を提案する。VaPack は、印刷したパウチの内部に封入された低沸点の液体を熱することによって、相転移と体積変化で変形する。空気圧アクチュエータの利点である、大きな体積変化を起こす点・強力である点・軽量である点を継承しつつ、熱源としてインクジェット印刷した電熱線などを用いることで、センサ・アンテナ・電気回路・骨格構造といった空気圧のみでの実現が難しいインターフェイス及びロボットの構成要素を一括印刷できる。また、複雑な配線を要するエアポンプを必要としないために配線が容易である。本稿では、VaPack の関連研究との位置付け・基本動作・作製手法について論じた後、VaPack をインクジェット印刷回路と組み合わせたインタラクティブなインターフェイスや二次元の構造変化などのアプリケーションを提案する。

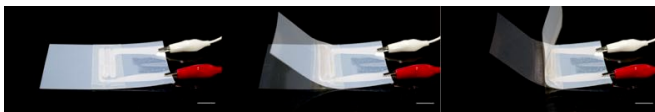


図1 VaPack の動作の様子。スケールバー: 1cm.

2 VaPack の概要

2.1 関連研究との位置付け

近年、空気圧駆動のアクチュエータは HCI 及びソフトロボティクスにおいて広く利用されている。例えば PneuUI では、空気圧アクチュエータの形状を大きく変化できる・強力である・軽量である・駆動が高速であるといった利点が論じられ、多岐にわたるアプリケーションが模索された [1]。また、作製・制御が困難であるという問題点を解決するため、樹脂フィルムを熱溶着することによって容易に空気圧アクチュエータを印刷する手法や、動作シミュレーション・制御の手法も提案されている [2,3]。

しかし、これらの手法では空気圧アクチュエータの動力源を巨大なエアポンプに依存しており、複雑な配線・ポンプの重量・大きい駆動音などは根本的に解決が難しい。これらの課題はウェアラブル・ユビキタスデバイスへの空気圧アクチュエータの搭載の障壁となりうる。

本稿で提案する VaPack は液体の相転移によって駆動するため、空気圧駆動のアクチュエータと同様の形状で同程度のトルクを発揮しつつ、エアポンプを必要としない動作が可能であり、作製も容易である。熱源として電熱線をインクジェット印刷することで、配線及び電気回路によるセンシング機能を一括で容易に試作できる。

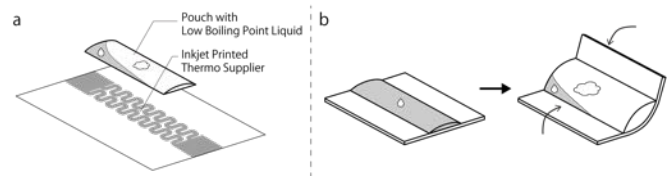


図2 VaPack の概要. a: 構成. b: 基本動作の概要. 液体が気化することで、パウチの両端に張力が発生する。

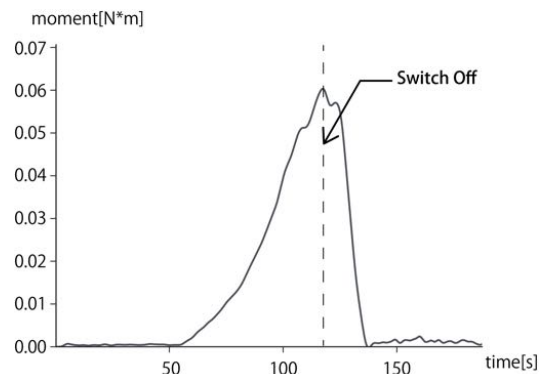


図3 VaPack の動作特性.

2.2 基本動作

VaPack の実際の動作の様子を図 1 に、動作機構の概要を図 2 に示す。VaPack は、低沸点の液体が封入されたパウチを接着した熱源によって駆動するアクチュエータである。パウチが熱せられると、中の液体が揮発して体積が変化し、パウチの両端に生じる張力によって、電熱線がインクジェット印刷された紙を最大 90 度まで曲げることができる。

80 mm×25 mm のナイロンパウチにアセトンを封入した VaPack のモーメントの時間応答を図 3 に示す。このモーメントの最大値は、Pouch Motors [2] における同サイズの空気圧アクチュエータのモーメント測定結果と同程度である。

2.3 作製手法

VaPack 及び熱源の作製方法を図 4 に示す。電熱線の作製には、銀ナノ粒子インクのインクジェット印刷 [4] を利用し、印刷パウチはナイロンフィルムを Pouch Motors [2] に則った CNC の熱溶着及び手動のヒートスタンピングにより作製した。低沸点の液体としては、不燃性かつ実用上無害である 3M Novec™7000 を用いた。パウチ内部への液体の注入はシリンジによる注射で行った。これらの材料を利用し大量生産を想定した場合、印刷にかかる時間及び費用は、それぞれ 1 つ 10 分程度及び数百円程度である。

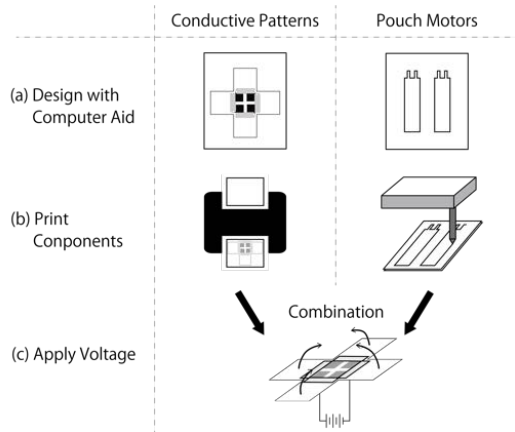


図4 VaPack の作製手法.

3 アプリケーション

VaPack の有効性を検証するため、印刷回路とアクチュエータを組み合わせた動的インターフェイスを提案する。

3.1 ハエトリソウ

アクチュエータをセンシング回路と一括造形可能であるという特徴を示すため、ハエトリソウを模したアプリケーションを作製した。概要を図5に、動作の様子を図6に示す。葉の部分にはアクチュエータを駆動するための電熱線及びタッチパッドが印刷されている。タッチパッドと人体との間に発生する静電容量を CapacitiveSensor (<https://github.com/PaulStoffregen/CapacitiveSensor>) によって測定し、指を回路に触れると、本物のハエトリソウのように葉が閉じるようになっている。

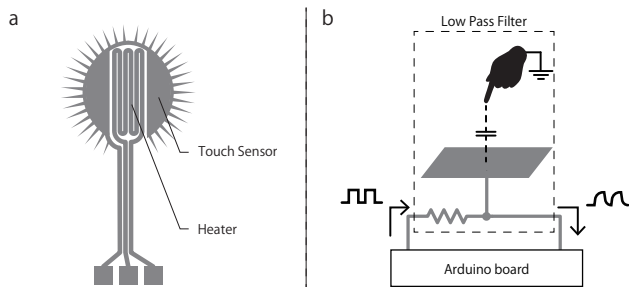


図5 ハエトリソウの概要。a: インクジェット印刷された回路の平面図。電熱線とタッチセンサが同時に印刷される。b: タッチセンサの動作原理。人体と印刷回路間の静電容量を測定しタッチを検出する。



図6 ハエトリソウの動作の様子。a: 全体図。b: アプリケーションの動作の様子。タッチパッドを指で触れることによって電熱線が駆動し、葉が閉じる。

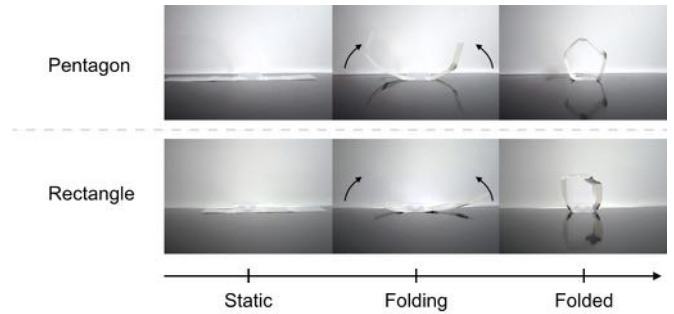


図7 多角形に折りたたまれる平面紙の概要.

3.2 多角形型に折りたたまれる平面紙

パウチの形状の設計によってアクチュエータのトルクを制御可能であるという特徴を示すため、多角形型に変形する平面紙を作製した。概要を図7に示す。本稿では、正方形及び正五角形に折りたたまれるパターンを作製した。パウチ内部の気圧には、大気圧と応力から定まる上限が存在するため、内部の液体を最大限揮発させた時のトルクを計算することによって、折り曲げる角度をコントロールすることができる。これにより、折り紙ロボットをはじめとした骨格構造を伴うアプリケーションへの適性が示された。

4 おわりに

本稿では、躯体・センサ・電子回路・アクチュエータの一体印刷に適した相転移アクチュエータである VaPack を用いた数例のロボットや動的インターフェイスを提案することにより、その有用性を示した。一方で、液体の相転移の速度が熱伝達効率に大きく左右されるため、即座に駆動可能なエアポンプを用いた空気圧アクチュエータと比較して駆動が遅いという欠点が挙げられる。低沸点の液体の選定及び印刷回路・パウチの作製方法・アプリケーションの設計によって改良する可能性があり、今後の課題とする。

参考文献

- [1] Yao, L. *et al.*: PneuUI: Pneumatically actuated soft composite materials for shape changing interfaces, *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*, ACM, pp. 13-22 (2013).
- [2] Niiyama, R. *et al.*: Pouch motors: Printable soft actuators integrated with computational design, *Soft Robotics*, Vol. 2, No. 2, pp. 59-70 (2015).
- [3] Ou, J. *et al.*: aeroMorph- Heat-sealing In atable Shape-change Materials for Interaction Design, *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, ACM, pp. 121-132 (2016).
- [4] Kawahara, Y. *et al.*: Instant inkjet circuits: lab-based inkjet printing to support rapid prototyping of UbiComp devices, *Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing*, ACM, pp. 363-372 (2013).