

任意の服をスマートウェア化できる 着脱可能な機能性アップリケの提案

加藤 敬太^{1,a)} 山岡 潤一^{1,b)}

概要：既存のファッションテックの多くが専用の服と機能が対になっているためファッションの自由性を損なってしまうという課題がある。そこで、本提案では機能をアップリケ型デバイスとして服から分離し、幼稚園のスモッグをかわいくカスタマイズするキャラクターアップリケのように必要な機能を任意の服の任意の部位に簡単に着脱可能にして、その日着る服をスマートウェア化するプラットフォームを提案する。よって、「各家庭でアイロンを用いた熱圧着で服に付け、洗濯によって外すことが可能なアップリケ型デバイス」を材料の特性を活かして 3D プリンタで実装した。

1. はじめに

コンピュータが小さくて高性能になるにつれて、コンピュータとユーザーのインターフェースはマシンに付随するものから個々のユーザーを中心としたものに移り変わっている。服というのはユーザーが必ず常時身につけている広いインターフェースとして注目されており、服を介して情報の入出力をおこなうことはユーザーが新しいデバイスを携帯しないので、生活に溶け込みやすい。

服をインターフェースとして扱うファッションテックの多くはある機能と専用のウェアが一組になっている [1][2] ため、この機能が使いたいときはこの服を着ないといけないというようにファッションの自由性を損なっている課題がある。そこで本提案では、機能を有する部分をアップリケ型のデバイスとして分離することで、「LED やタッチ入力などデジタル入出力機能」や「色や形の変化が制御する機能」のようなユーザーがその時必要な機能をその日に着る服に付加してスマートウェア化できるプラットフォームの開発を目指す。

2. 提案手法を活用するシーン

本提案では次のようにデザイナーのプロトタイプ時と量産時の家庭利用の2つの使用シーンを想定して設計した(図1)。

2.1 シーン1：デザイナー

電子回路に疎いデザイナーでも服にインストールしやすいようにされた設計されたファッションテック用「LilyPad Arduino[3]」や velleman 社「ESP32 WEARABLE DEVELOPMENT BOARD VMW101」などがあるが、一度ボードやセンサーを縫い込むと試行錯誤が大変だったり硬い基板が服に馴染まない。本手法では、プロトタイプ時に貼り剥がしがしやすいため試行を繰り返しやすかったり、3D プリンタを用いて貼り付ける部位にあわせて形状や機能を工夫することができる。よって、ファッションテックを開発するテクノロジーに疎いデザイナーでもその服に最適化された機能を簡単にプロトタイプできることを実現する。

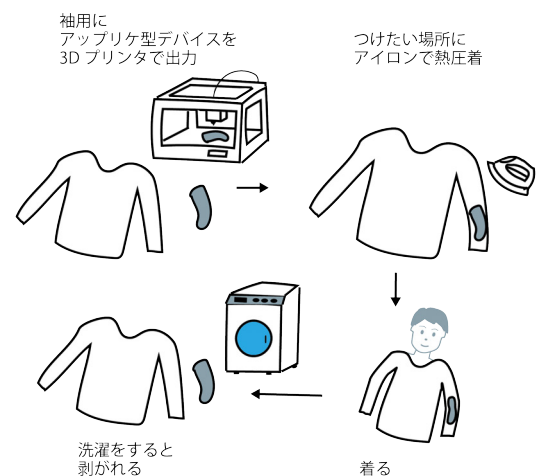


図1 使用シーン

¹ 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

^{a)} keita.kato@kmd.keio.ac.jp

^{b)} yamaoka@kmd.keio.ac.jp

2.2 シーン2：各家庭

各家庭では量産されたアプリケ型デバイスを購入してきて、使いたい機能を自分が持っている服に家庭用アイロンを用いて熱圧着をおこなうことを想定している。使用し終わったあとその服を洗濯するとワッペンが剥がれて、毎日違う服にその日使う機能を付け替えらる。

3. プロトタイピング

本提案では、貼り付けたい服の部位や実装したい機能にあわせてアプリケ型デバイスの最適な形状・マテリアルを変更できるように、FDM 式 3D プリンタ (flashforge 社 Creator3) を用いて試作をおこなった。Pérez らの 3D プリンタを用いて布に直接立体物を印刷する研究 [4] や Huaishu らの布に 3D プリンタで布に樹脂の骨格を印刷して布の立体形状を変形させる研究 [5] などは 3D プリンタを用いた新しい手法であるのに対して、本提案では造形された樹脂をユーザーが服の任意の場所に貼り付けられることを目的であり、プロトタイピング時は開発の効率化のために 3D プリンタを用いるが量産時には押し出し成形など別の手法をとる。

FDM 式 3D プリンタで使用する樹脂の成形温度は主に 180~210 °C のものが多いため、家庭用アイロンを用いて熱圧着をおこなうことができる。図 2 のように、3D プリンタで出力した厚さ 0.5mm のポリ乳酸 (Creality 3D 社 PLA, 成形温度 190 °C-210 °C) 樹脂は家庭用アイロン (パナソニック社 NI-S55-A) の中温度 (160 °C) を用いて布側から 15 秒程度熱圧着をおこなうと造形が崩れない程度に布と接着され、高温度 (220 °C) の場合は樹脂が融解して厚みが潰れるほど強く接着された。圧着後は布に浸透しているため圧着前よりしなやかになっており、圧着前では簡単に割れるような 170° 折り曲げでも剥がれたり割れたりすることがなかった (図 3)。以降の実験では、接着面をよく融解させて布と強く接着するためにすべて高温度 (220 °C) で熱圧着を行った。



図 2 PLA のアイロンを用いた熱圧着

この結果を応用して、PLA 以外の様々な特性があるマテリアルを用いてアプリケ型デバイスを 3D プリンタで特性を活かすような構造に成形し、アプリケ型デバイスに機能性をもたせられないか次の 2 つの実験をおこなった。



図 3 熱圧着後の剥がれ・割れ耐性

3.1 洗濯で取り外せるアプリケ型デバイス

図 4 左のように 1mm の水溶性樹脂 (PVA, 成形温度 190-220 °C) の層を布とアプリケの界面としたアプリケ型デバイスを熱圧着して、それを 40 °C のお湯に 1 分間つけるとワッペンが布から分離した (図 4 右)。布に浸透した水が PVA 層と布の界面より PVA 層を少し溶かすだけで剥がれ落ちるため PVA 層の大部分は残る。よって、PVA 層が残っていれば何度も熱圧着で繰り返し貼り付けることが可能である。これによって、洗濯をトリガーとして服からアプリケ型デバイスを取る外せることができるようになり、毎日違う服にその日使う機能を付け替えることが可能となる。



図 4 アプリケの構造

3.2 回路を内蔵したアプリケ型デバイス

3D プリンタで出力した導電性樹脂 (protopasta 社 Conductive PLA, 成形温度 215 °C-230 °C) を導線として電子部品と一緒にアプリケ型デバイスの中に封入して、熱圧着の熱ではんだ付けなしに回路に作成させ、熱圧着をトリガーとして回路のスイッチをオンにすることができないかを検討した。

220 °C のアイロンを用いた熱圧着では布と 1mm の弾性樹脂樹脂 (TPU, Pxmation 社 Flexible TPU, 成形温度 190-230 °C) 層を挟んだ内部まで熱が十分に伝わり、導電性樹脂が解けて電子部品と電気的に接続されていた (図 5 のワッペン型デバイスの上側)。つまり、熱圧着によって回路のスイッチをいれることできた。しかし、使用した導電性樹脂の体積抵抗は 15 $\Omega \cdot \text{cm}$ であり、図 5 のワッペン型デバイス下側に内蔵した 5 × 25 × 1mm の導電性樹脂導線でも 1k Ω と、導線として使うには電気抵抗は大きすぎるという課題がある。今後より体積抵抗の小さい導電性樹脂を用いて試作をおこなう予定である。しかし、導電性樹脂

はハンダのように電極に馴染むことはないので、衝撃などによって電極から導電性樹脂が剥がれ落ちてしまう可能性はあると予想される。そこで、導電性樹脂と電子部品の間にはハンダ (goot 社精密プリント基盤用はんだを一緒にアップリケ型デバイスに封入して、同じようにハンダを溶かして電子部品をはんだ付けできないかを検討した。熱圧着した場合、220 °Cのアイロンで60秒熱圧着した場合はハンダを溶かすほどの熱は伝わらなかった (使用したハンダの融点は183-190 °CはPLAのガラス転移温度55-60 °C, 155 - 170 °Cより高い)。導電性樹脂と電子部品の電極を安定して接続するために、Simonらは3Dプリントした導電性樹脂センサーに穴の空いたソケット部位を付けて長い金属ピン刺すことで抜けづらくしたり、Michaelはネジで丸型端子がついた導線と導電性樹脂を圧着するような工夫がなされている先行研究などがある [6] [7]。



図 5 回路を内蔵したアップリケ型デバイス

図 6 は表面実装用チップ LED(日亜化学工業社 NSSW157T) と導電性樹脂導線を内蔵した回路である。NSSW157T のリフロー時の推奨温度は前処理 200 °C 120 秒と 260 °C 10 秒であり、220 °Cのアイロンで60秒間熱圧着をおこなうことによって LED が故障するリスクは低いと考えられる。今後はバッテリーやマイコンをワッペン型デバイス上にアタッチするか、導電性糸が縫い込まれた服を通してバッテリー・マイコンに接続してワッペン型デバイスのスマート化を図る。



図 6 チップ LED を内蔵したワッペン型デバイス

4. まとめ

本研究では、任意の服の任意の部位に着脱可能な電子回路内蔵のアップリケ型デバイスを3Dプリンタを用いて作製した。今後は形状記憶樹脂を使った温度変化に反応して服の形状を変えるアップリケ型デバイスや導電性ゴムを用いた柔らかい歪センサでユーザの動きをセンシングするアップリケ型デバイスなどマテリアルの特性を活かしたセンサやアクチュエータなど実装して応用例を増やしていきたい。

また、電子工作やハードウェア作製に慣れていないデザイナーでもプロトタイピングできるように、GUI上でアップリケ型デバイスの形状・色などをデザインして、そこに実装したい機能を配置していくことでアップリケ型デバイスの機構を簡単に設計できるような設計支援ソフトウェアも作製していく。

参考文献

- [1] Jacquard™ by Google. <https://atap.google.com/jacquard/>.
- [2] REON POCKET . <https://reonpocket.sony.co.jp/>.
- [3] Leah Buechley, Mike Eisenberg, Jaime Catchen, and Ali Crockett. The lilypad arduino: Using computational textiles to investigate engagement, aesthetics, and diversity in computer science education. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '08, p. 423–432, New York, NY, USA, 2008. Association for Computing Machinery.
- [4] Jesús Pérez, Miguel A. Otaduy, and Bernhard Thomaszewski. Computational design and automated fabrication of kirchhoff-plateau surfaces. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 36, No. 4, July 2017.
- [5] Huaishu Peng, Jennifer Mankoff, Scott E. Hudson, and James McCann. A layered fabric 3d printer for soft interactive objects. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, p. 1789–1798, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [6] Razieh Hashemi Sanatgar, Aurélie Cayla, Christine Campaigne, and Vincent Nierstrasz. Morphological and electrical characterization of conductive polylactic acid based nanocomposite before and after fdm 3d printing. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 136, No. 6, p. 47040, 2019.
- [7] Michael. Adventures with solderless 3D printed circuits + conductive filament . https://youtu.be/_1FT77de5Es.