

フジシール財団 研究助成事業
成果報告書

公益財団法人フジシール財団
理事長 岡崎 裕夫 殿

報告日 2022年 5月 31日

| | | |
|-------|---|------------------------|
| 研究課題 | 熱可塑性プラスチック上へのセンサ・IoT 端末配線実装技術の開発と“なんでも IoT 化パッケージ”への応用 | 助成金額 |
| | | 300 万円 |
| ふりがな | たかまつ せいいち | 研究助成申請年度 |
| 研究者氏名 | 高松 誠一 | 2019年度 ・ 2020年度 |
| 所属機関 | 東京大学大学院工学系研究科 精密工学専攻 | 研究期間 |
| | | 2021. 4. 1～2022. 3. 31 |
| 役職 | 准教授 | |
| 連絡先 | 〒113-8654 東京都文京区本郷7丁目3-1 工学部14号館731室 TEL 03(5841)6312 E-mail takamatsu@pe.t.u-tokyo.ac.jp | |

下記の通り、研究成果を報告いたします。

記

1. 研究成果の概要（こちらに報告いただいた内容はそのまま当財団ホームページ上で公開します。）

図1に示すように、本研究では、熱可塑性プラスチック上へセンサ、無線IoTチップを配線実装する技術を開発してきた。さらにこのフィルムをさまざまな複雑な3次元構造をもつ対象物に巻いて熱収縮させることでなんでもIoT化するパッケージの実現を目指した。具体的には熱接着フィルムとして用いられるホットメルトシート上に配線及びMEMS素子を実装し、この機能性フィルムを熱収縮フィルムを用いてペ

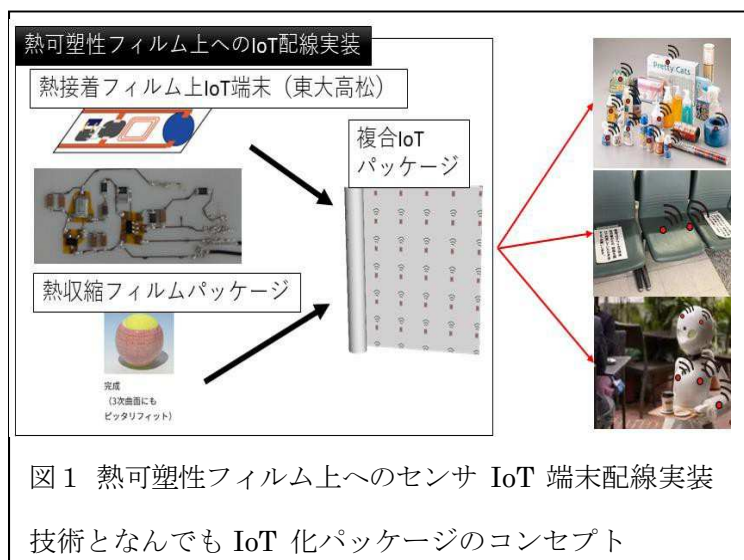


図1 熱可塑性フィルム上へのセンサ IoT 端末配線実装技術となんでもIoT化パッケージのコンセプト

ットボトルのような非平面的な構造を有する物体に貼り付けた。この際に課題になるのは主に

1. 熱可塑性フィルム上（特に熱接着性フィルム）への配線実装技術
2. 熱可塑性フィルム上（特に熱接着性フィルム）の配線へのMEMES機能素子実装技術

である。

まず1について、現在主流である金属配線の印刷技術であるスクリーン印刷やインクジェット印刷による

配線印刷では、金属インクを（この場合は熱可塑性フィルムに）印刷したのち、加熱を行うことでインクの溶媒をとばし、導電性を獲得する仕組みである。しかし熱可塑性フィルムはその融点の低さからこの加熱プロセス中に溶けてしまい溶媒がとぶ前のインクと混ざってしまうという問題があった。そこで本研究では、銀ナノ粒子インクをインクジェット印刷し、加熱条件を最適化することで適度にフィルムと金属が混合したフレキシブル配線を作成した。

次に2についてはFPC（フレキシブルプリント基板）に素子を実装した上で、配線とFPCを銀ペーストと熱可塑性フィルムを用いて接合することを検討した。この時伸縮性のある熱可塑性フィルムと伸縮性のないFPC基板（ポリイミド）の境界部分への応力集中が課題になった。そのため両面FPCを用いた多層構造を提案し応力集中箇所から配線および接合部の銀ペーストを離す構造を実現し壊れない実装を実現した。

最後に提案した配線及び素子実装技術を用いてガラス瓶のIoT化を試みた。図2に熱可塑性フィルムに実装した配線構造を示す。加速度、ジャイロ、地磁気、温度が測定可能なIMUセンサ（ICM20948, Invensense）を熱接着フィルム上に実装した。またこのフィルムを図3に示すようにガラス瓶へ熱収縮フィルムを用いて貼り付けた。なおここでは視認性向上のために熱収縮フィルムと熱接着フィルムの上に白い布を一枚挟んでいる。図4は作成されたデバイスからの信号をマイコンで取得し、瓶内に充した水の温度を測定している様子である。今後マイコン及びワイヤレス通信機能もフィルム上に実装することで完全なIoT化を図る予定である。またここでは温度の測定を示したが、加速度センサの出力などから瓶の開閉検知なども可能である。

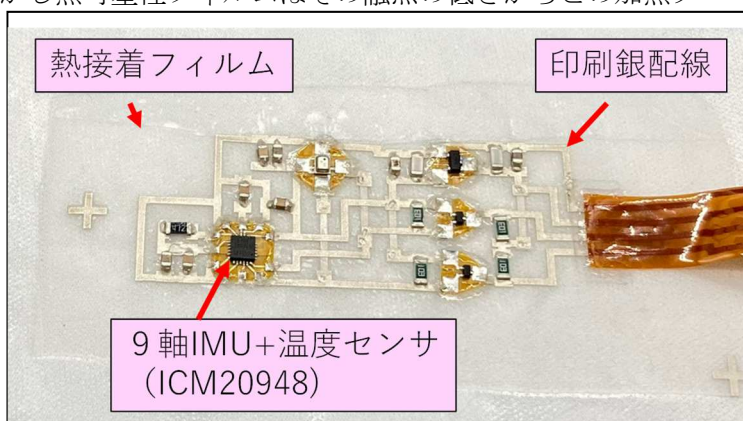


図2 熱可塑性フィルムに実装した回路



図3 ガラス瓶への貼り付け

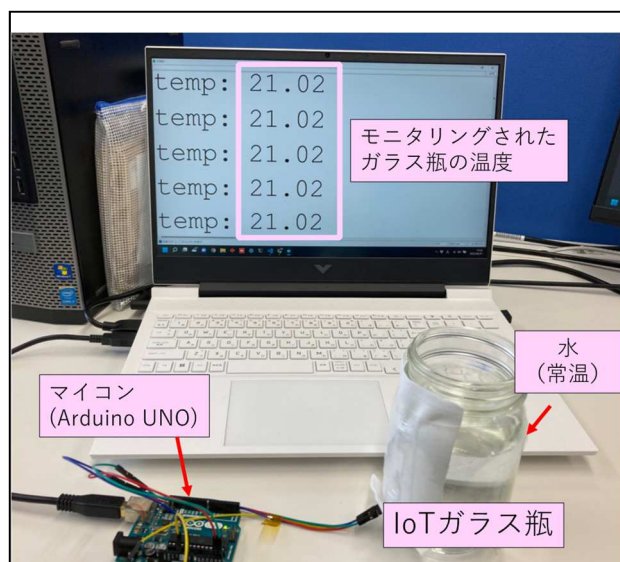


図4 ガラス瓶温度の測定の様子

2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性（こちらに報告いただいた内容はそのまま当財団ホームページ上で公開します。）

パッケージ分野への貢献と社会的な効果の例としては、IoT機能の付いたパッケージは、肉や魚、ワインや日本酒のような高級食材の安全やトレーサビリティや抗がん剤や糖尿病薬のような薬の飲み間違いなどを防ぐ情報管理に用いることができるため今後大きな需要がある。さらに、3次元複雑構造表面を電子的に包む、パッケージすることは、センサやIoTの新たな実装分野を作り出す。コロナ禍で増えている給仕ロボットの腕の表面にセンサ付きIoTをつけることができれば接触の危険が減り安全性が高まる。また、飲食店では、いすやテーブルなどはディスタンスをしながら使うことが求められており、簡単な静電容量式センサIoT付きフィルムを巻いてドライヤーの温風でシュリンクラベルのようにつけることができれば着席管理が楽になる。

また前項で示した例でいえば、温度センサをパッケージに統合することで、食品や飲料水の品質管理の精度が大幅に上昇することが期待されるほか、IMUセンサの統合により輸送中の扱いが可視化できる・開封済みかどうかが明確になる、といった応用が期待される。

3. 学会発表、学会誌等への論文掲載、産業財産権出願などの実績（現時点で未発表・未掲載・未出願のため、上記「1. 研究成果の概要」、「2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性」の当財団ホームページ上の公開の延期を希望される場合、その旨記載してください。）

1. Seiichi Takamatsu, Suguru Sato, and Toshihiro Itoh, "Stress concentration-relocating interposer in electronic textile packaging using thermoplastic elastic polyurethane film with via holes for bearing textile stretch," Scientific Reports, 2022 Accepted.
2. Junya Nakagawa, Maria Zymelka, Takahiro Yamashita, Takeshi Kobayashi, Natsumi Makimoto, Seiichi Takamatsu, and Toshihiro Itoh, "Mechanical modeling of ultra-thin MEMS piezoresistive strain sensor assembly," The 12th Japan-China-Korea Joint Conference on MEMS/NEMS, (2021)
3. Takuma Takagi, Junya Nakagawa, Seiichi Takamatsu, Toshihiro Itoh, "Study on Wiring and Mounting Structures for Smart Suits with Actuators," 2022 International Conference on Electronics Packaging (ICEP 2022), (2022)