

衣類型ウェアラブル製品の開発支援技術の研究(第3報)

帰山千尋^{*}、辻堯宏^{**}、伊與寛史^{**}、笹山秀樹^{**}、芦原将彰^{***}

A study of support technology for development of clothing-type wearable devices (Report3)
Chihiro KAERIYAMA, Takahiro TSUJI, Hirofumi IYO, Hideki SASAYAMA and Masaaki ASHIHARA

We investigated design techniques for electrical wiring using conductive paste and a new durability evaluation method in order to support the development of clothing-type wearable products. As a result, a new cyclic bending test method and a washing durability test method were developed to design electrical wiring using conductive paste, and could be applied to the electrical wiring of clothing-type wearable products.

1. はじめに

近年、さまざまな形で身に着けることができるウェアラブル製品が開発されている。その中でも誰もが身に着ける衣類にセンサーなどの電子部品を実装した衣類型ウェアラブルについては、将来性を期待されているが、現時点では、腕時計型や眼鏡型と比べて製品化されているものは少ない。一方で、介護施設や危険な作業現場などでは、余計なものを身に着けることなく、体調の管理や生体情報をモニタリングできることが求められており、衣類型ウェアラブルはそれを実現できる可能性を秘めている。しかし、その開発では、形態が不安定な繊維製品を取り扱うことになるため、所要のものを設計するにもパラメータが多くトライアンドエラーを繰り返さねばならないなど、設計に時間がかかることがネックとなっている。

そこで本研究では、これら衣類型ウェアラブルの開発の効率化を図るため、衣類型ウェアラブルに必要な電気配線のひとつである導電性ペーストに着目した設計技術と、できた試作品の評価に必要な新たな耐久性評価方法について検討を行った。第1報では、電気配線を形成する導電性ペースト材の配合条件の検討および新たな洗濯耐久性評価試験機の試作について¹⁾、第2報では、配合した導電性ペーストを用いて作製したテキスタイル上の電気配線を伸長させたときの電気的特性評価および新たな屈曲耐久性評価試験機の試作・評価について報告した²⁾。本年度は、引き続き電気配線を形成する導電性ペースト材の配合条件を検討し、新たな耐久性評価試験機を用いて評価を行った。また、それらの結果をもとに衣類型ウェアラブル製品の試作を行った。

エステル系樹脂(柔軟タイプ)、ウレタン系樹脂の3種類、導電性粒子には、フレーク状銀粒子1種類と銀ナノ粒子3種類を使用した(表1)。まず、バインダーの諸条件をパラメータとし、3種類のバインダー樹脂にフレーク状銀粒子を90wt%それぞれ添加した導電性ペーストを作製した。また、導電性粒子の諸条件をパラメータとし、ウレタン系樹脂をバインダーに固定して90wt%添加するフレーク状銀粒子のうちの10wt%を銀ナノ粒子(3種類)に置き換えた導電性ペーストをそれぞれ作製した。その後、作製したそれぞれの導電性ペーストを用い、スクリーン印刷で伸縮性のあるウレタンフィルム(シーダム(株)製DUS605-CD PT5S)上に、幅5mm×長さ50mmの電気配線を印刷した。次に、そのウレタンフィルムをホットメルトフィルム(シーダム(株)製SHM107-PUR)を用いてポリエステル製のニット生地に貼り合わせ、試料とした(図1)。

表1 導電性粒子の種類

フレーク状銀粒子	$\phi 1.0 \sim 3.5 \mu\text{m}$
AgC-271B(福田金属箔粉工業製)	
銀ナノ粒子A	$\sim \phi 0.2 \mu\text{m}$
MDot CF112(三ツ星ベルト製)	
銀ナノ粒子B	$\sim \phi 0.3 \mu\text{m}$
AgC-G(福田金属箔粉工業製)	
銀ナノ粒子C	$\phi 0.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$
AgC-161T(福田金属箔粉工業製)	



図1 試料の例(生地上に電気配線を形成したもの)

2. 導電性ペースト材の電気的特性評価

2-1 試料作製

バインダー樹脂には、ポリエステル系樹脂、ポリ

2-2 評価方法

1) 電気抵抗値の測定

デジタルマルチメーター(INSTEC 製 GDM-8255A)を用い、4端子法(ピン形リード)にて試料の電子配線の電気抵抗値(初期値 R_0 Ω)を測定した。

2) 伸長時の電気抵抗変化

精密万能試験機オートグラフ(株式会社島津製作所製 AG-Xplus)を用いて、引張速度 20mm/min で引張伸長試

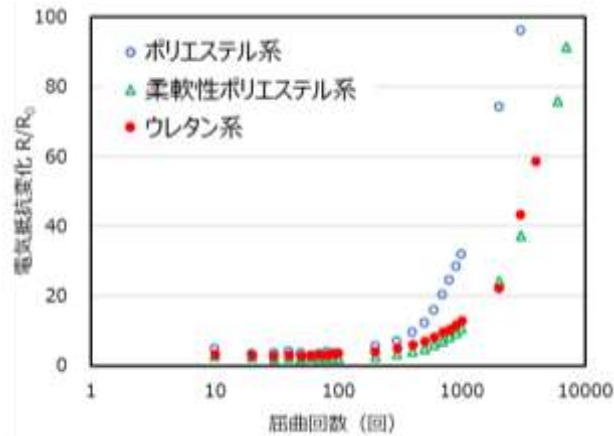


図2 バインダー樹脂を変えたときの試料の屈曲耐久性への影響

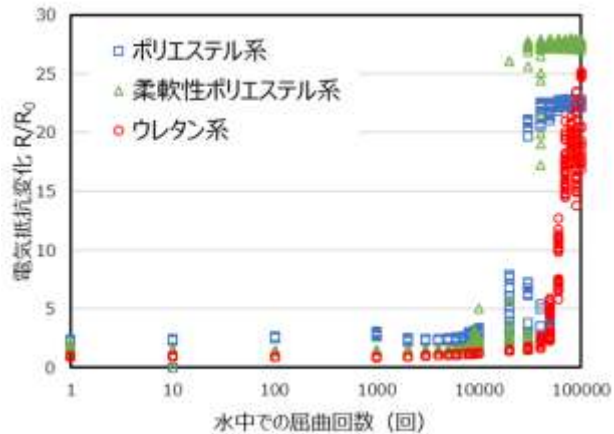


図3 バインダー樹脂を変えたときの試料の洗濯耐久性への影響

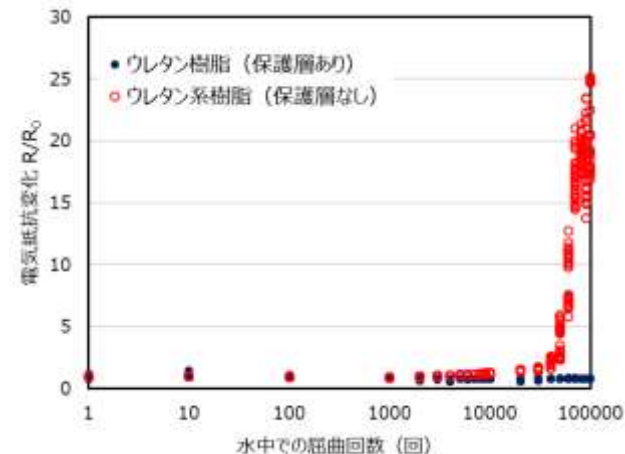


図4 洗濯耐久性における保護層の効果

験を行い、伸長時における試料の電気抵抗の変化を測定した。

3) 屈曲耐久性評価

新たに試作した屈曲耐久性試験機²⁾を用いて、曲げ半径 0.5mm、屈曲角度 $\pm 90^\circ$ 、屈曲速度約 94回/min で試料を 1万回屈曲させ、試験中の電気抵抗変化を測定した。

4) 洗濯耐久性評価

新たに試作した洗濯耐久性評価試験機¹⁾を用いて、水中で屈曲 10万回を繰り返し、試験中の電気抵抗変化を測定した。

2-3 結果と考察

バインダーの異なる3種類の導電性ペーストを用いて作製した試料の電子配線の耐久性試験結果を図2、図3に示す。屈曲、洗濯ともにウレタン系樹脂をバインダーにしたときの方が耐久性は高くなる傾向が見られた。これは、ウレタン系樹脂の柔軟性によって、銀粒子間の接触(導電パス)がある程度確保されているからだと考えられる。また、洗濯耐久性を向上させるには、電気配線を保護層で覆うことが効果的であることも確認した(図4)。

次に、添加する銀ナノ粒子が電気抵抗率、伸長時の電気抵抗変化、屈曲耐久性に及ぼす影響について、試験結果をそれぞれ図5、図6、図7に示す。電気

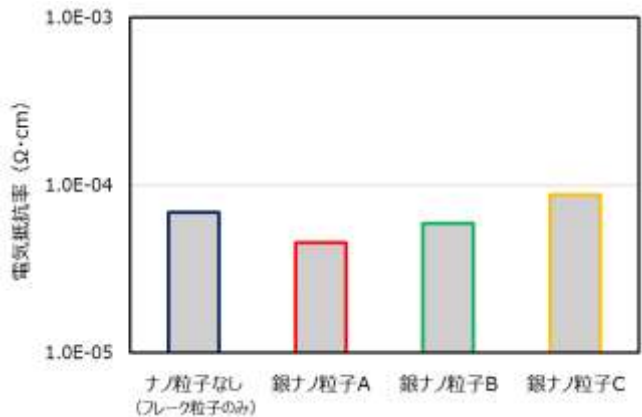


図5 添加する銀ナノ粒子の電気抵抗率への影響

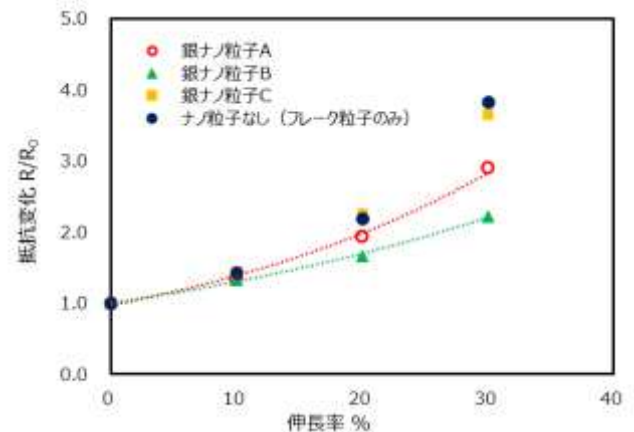


図6 添加する銀ナノ粒子の伸長時抵抗変化への影響

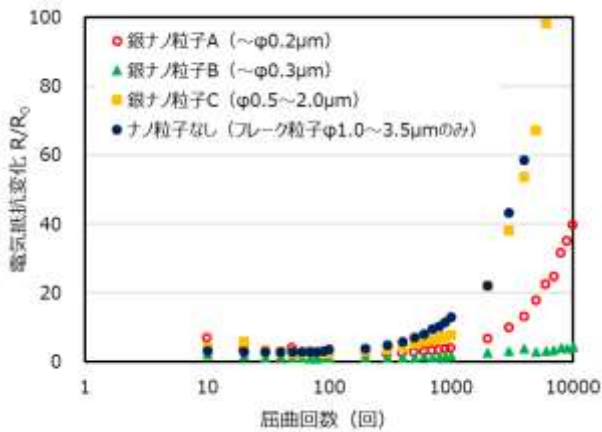


図7 添加する銀ナノ粒子の屈曲耐久性への影響

抵抗率は、銀ナノ粒子Aを添加したときに最も低くなるが、伸長時の抵抗変化が小さく屈曲耐久性が良好なのは、銀ナノ粒子Bを添加したときであった。本研究では、導電性粒子の種類について粒径に着目したが、粒度分布や粒子の形状などもこれら電気的特性に影響を及ぼすため、さらなる検討が必要だと考えられる。また、銀ナノ粒子Cは粒径がフレーク粒子と近いからか、電気的特性はナノ粒子を添加しない場合(フレーク粒子のみ)と似た傾向を示した。

3. 衣類型ウェアラブル製品への適用

蓄積してきたデータをもとに、空調服の電気配線、およびヒーター服の電熱線に必要な電気的特性が得られる導電性ペーストを設計・製作し、実際の衣類型ウェアラブル製品に適用した。手順は、製作した導電性ペーストを衣服の生地上に印刷した後、既存の電気配線、電熱線と置き換えた(図8、9)。試作した衣類型ウェアラブル製品は、既存のものと比較して軽量でフレキシブル性を有し、衣類によりなじむことを確認した。また、導電性ペーストを適用した電気配線部については、洗濯や屈曲の耐久性の向上も期待でき、衣類と同様に扱うことが可能になる。

4. まとめ

衣類型ウェアラブルの開発の効率化を図るため、衣類型ウェアラブルに必要な電気配線の材料のひとつである導電性ペーストに着目し、それを構成する導電性粒子、バインダー樹脂が電気的特性に与える影響について評価を行った。その結果、バインダー樹脂に柔軟性のあるウレタン樹脂を選択することで屈曲、洗濯ともに耐久性が向上することがわかった。さらに保護層を設けることで洗濯耐久性が大きく向上することを確認した。また、導電性粒子については、フレーク粒子に添加するナノ粒子の粒径が電気的特性に与える影響を検討した結果、粒度分布や粒子の形状などの他の因子も併せて評価する必要性は

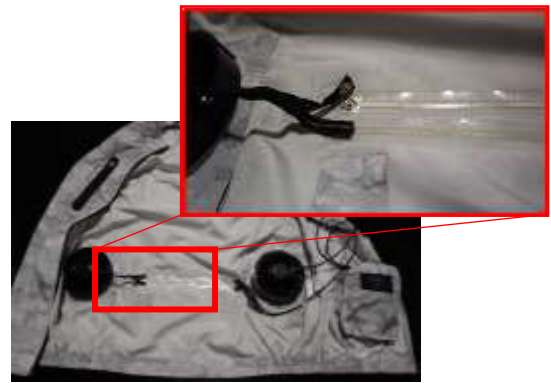


図8 空調服(試作品)



図9 ヒーター服(試作品)

あるものの、銀ナノ粒子 B(粒径： $\sim \phi 0.3 \mu m$)を選択すると、伸長時の電気抵抗変化や屈曲耐久性が向上することがわかった。さらに、これらの評価結果をもとに、衣類型ウェアラブル製品に必要な電気的特性が得られる導電性ペーストを設計・製作し、実際のウェアラブル製品(空調服、ヒーター服)に適用したところ、従来のものと比べてより衣類になじむ電気配線とすることができた。

<参考文献>

- 1) 帰山、他：福井県工業技術センター研究報告書、No. 36、61-63(2020)
- 2) 帰山、他：福井県工業技術センター研究報告書、No. 37、39-41(2021)