

PTFEナノファイバーのフレキシブルデバイスへの活用

1. はじめに

当社ではこれまでにPTFEナノファイバーを活用した様々なアプリケーションの検討を進めてきた。

今回は、コネクテックジャパン株式会社とともにPTFEナノファイバーの活用についてアイデア出しの段階から検討を進めた。コネクテックジャパンは独自の低温実装技術を有しておりフレキシブルデバイスの作製経験が豊富である。

いくつかの候補の中から、PTFEナノファイバーの通気性・柔軟性、そしてPTFE素材の絶縁性、撥水性などに着目し、フレキシブルデバイスとしての活用可能性について検討した。

フレキシブルデバイスとしては、ヘルスケア用途やウェアラブル用途を想定し、PTFEナノファイバー上への直接配線形成を含む技術開発を行い、フレキシブルデバイスのコンセプトモデルを作製出来たので紹介する。

2.PTFEナノファイバーの特徴

最初にPTFEナノファイバーの概要を説明する¹⁾。

PTFEナノファイバーは不織布構造を持つ素材であり、直径約600～700ナノメートルのPTFE繊維の集合体である(Figure1)。特殊なエレクトロスピンニング法によりPTFE dispersion(分散液)から作製された繊維であり100%PTFEで構成される。

PTFE素材、ナノファイバー構造としての特徴から、PTFEナノファイバーは以下の特徴を持つ。

- ・耐薬品・耐候性・耐熱性(260℃)・難燃性
- ・人体に対して使用できる(非侵襲性、クリーン性)
- ・撥水性
- ・高い電気抵抗、低い誘電率
- ・柔軟素材である
- ・通気性が良好
- ・熱変形しづらい

PTFEナノファイバー不織布の一般的な物性をTable1に示す。気孔率は80～90%であり、水を弾くが通気性を有する素材である。類似の構造と特徴を持つ素材として延伸PTFEが存在するが、こちらは260℃に暴露すると大きく収縮するのに対して、PTFEナノファイバー不織布はほとんど熱収縮しない(Figure2)。

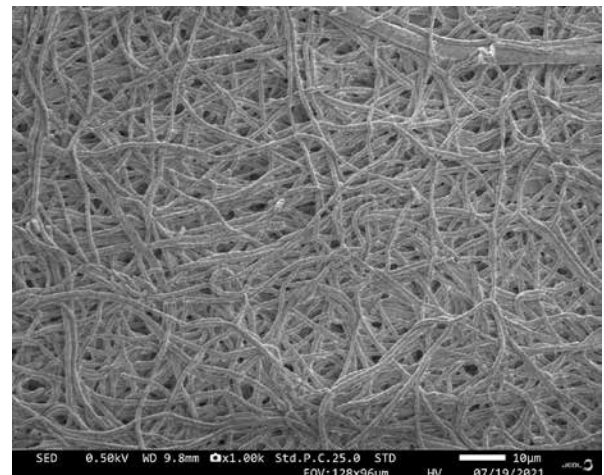


Figure1 PTFEナノファイバーの構造

Table1 PTFEナノファイバー物性(代表値)

物性	値
目付 [g/cm ²]	16.7
厚さ [um]	56
体積抵抗値 [Ω・cm]	10 ¹³
比誘電率 (@6 GHz)	1.14
水接触角 [°]	140
通気性 [L/mim/cm ² /psi]	4.3



Figure2 PTFEナノファイバー不織布(左)と延伸PTFE(右)の熱収縮性の違い

3. PTFEナノファイバーへの配線形成

3-1) 配線形成

フレキシブルデバイスとして利用するために、PTFEナノファイバーそのものを回路基板として利用すること検討した。PTFEナノファイバー上への配線形成は印刷法で行った。一般に電気回路の配線形成方法としては、フォトリソグラフィ法、インクジェット印刷法、スクリーン印刷法、グラビアオフセット印刷法などが挙げられるが、今回は、スクリーン印刷法、ジェットディスペンス法にて行った。

制御パラメータとしては、導電インク種類(導電粒子種・径、溶剤、粘度)、印刷速度、ジェットディスペンスの場合は吐出圧力などが挙げられる。これらを最適化することによってPTFEナノファイバー上に配線形成することが出来た。

Figure3, 4にスクリーン印刷及びジェットディスペンスで作成した回路の印刷事例を示す。いずれの手法においても、最適条件で印刷した場合は導電インクのにじみが発生することなく配線を形成することが出来た。

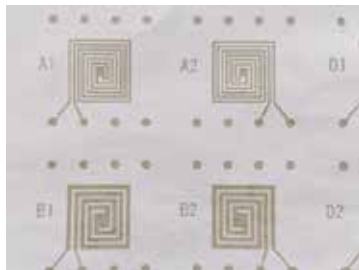


Figure3 スクリーン印刷の配線事例

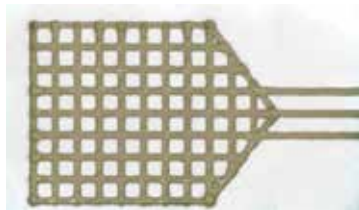


Figure4 ジェットディスペンサーでの配線事例

3-2) 微細構造

Figure5, 6にジェットディスペンス法にて形成した回路基板の断面写真を示す。一般にPTFE表面は撥水性や撥油性を有しており、導電インクを設計通り印刷することが困難な素材であるが、図に示すように、配線材料が所定の線幅でPTFEナノファイバー上に形成されており密着していることが分かる。また拡大図から、導電インク成分の一部がPTFEナノファイバーの微細孔に入り込むことによってPTFEナノファイバーとの密着性を確保しており、導電インクのにじみも認められない。

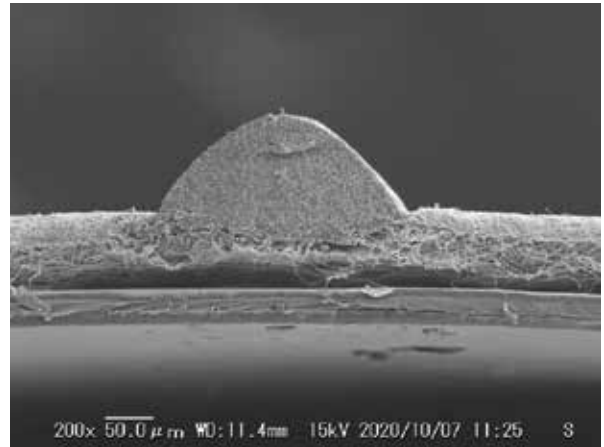


Figure5 PTFEナノファイバーと配線の界面

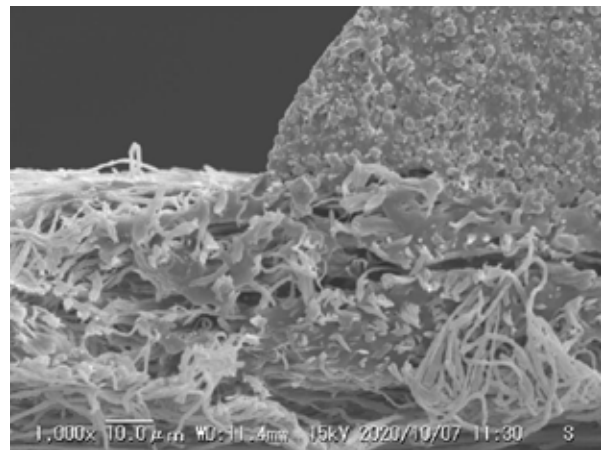


Figure6 部分拡大図

3-3) 耐久性試験

今回はMIT試験を使って導電インクとPTFEナノファイバーとの密着性確認と電気抵抗値の変化を確認した。

今回用いたサンプルは後述する筋電センサー用電極であり、線幅0.5mmで回路形成した後、回路上の絶縁性材料で被覆したものをを用いた。

MIT試験は、Figure7に示す装置を用いて実施した。試験条件はTable2に示すとおりである(JIS P8115参照。ただし、PTFEナノファイバーの強度を勘案して、規定の荷重の付与なし)。回路特性は試験前後の電気回路両端間の電気抵抗を測定した。

Table2 MIT試験条件

パラメータ	試験条件
試験速度	90 cpm
折り曲げ角度	135°
曲率半径	0.38 mm
試験回数	3,000回
荷重	—



Figure7 MIT試験装置

試験の結果、Figure8に示すように屈曲箇所(赤点線部)での断線は認められなかった。また、Figure9から電気抵抗値にも顕著な変化は見られず試験後も良好な電気伝導性を保持することが分かった。

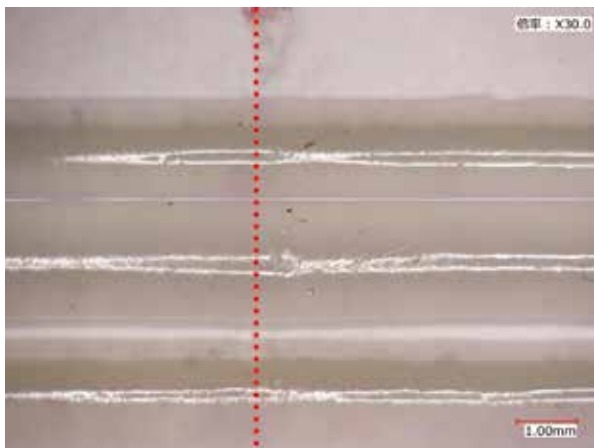


Figure8 折り曲げ箇所の外観写真(3,000回後)

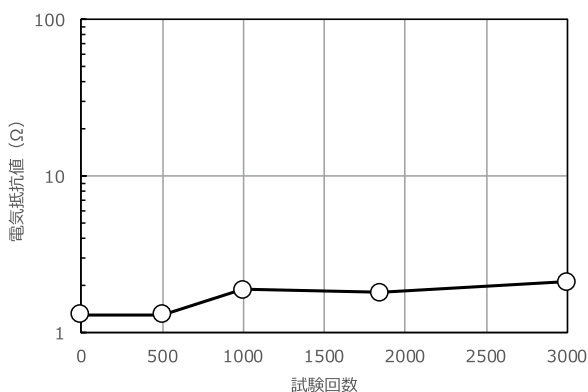


Figure9 MIT試験による導電性変化の関係グラフ

4. フレキシブルデバイスへの応用

Figure10に種々の配線パターンを形成したPTFEナノファイバーの写真を示す。印刷法を利用することで種々の配線パターンを形成することが出来る。



Figure10 種々の配線パターンを形成したPTFEナノファイバー

今回は、配線を形成したPTFEナノファイバーを利用したフレキシブルデバイスの一例として、筋電センサー、タッチセンサーを試作した。

一般的な筋電センサーは、パッチ型の電極で形成されており通気性がないことから連続装着が困難であることが想定される。一方、PTFEナノファイバーを利用したセンサーは、PTFE自身が持つ人体への安全性・非侵襲性、撥水性と、ナノファイバー構造が持つ通気性によって、連続装着しても人体に悪影響を及ぼしにくく、ウェアラブルデバイスに適していると考えられる。また、書面上ではお伝えすることは難しいが、肌に触れた風合いが心地よい素材と思われ、このような観点からも連続装着用としても好ましいと考えられる。

Figure11に筋電センサー試作品を示す。この図では3つの電極を個々に装着する仕様となっているが、Figure12のような一体化も可能であり、リストバンド型デバイスとしての活用も考えられる。



Figure11 筋電センサー試作品
(筋電アンプ及び表示ソフトは東京デバイス社製品を利用)

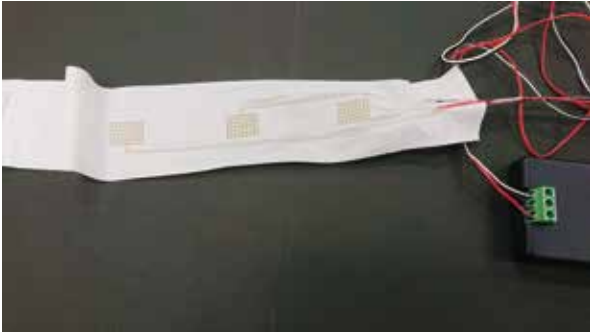


Figure12 筋電センサー一体化タイプ

Figure13にタッチセンサー試作品を示す。タッチセンサーは静電容量変化式のものを試作した。図に示すサンプルではマトリクスごとに検出感度の誤差が存在するものの静電容量式タッチデバイスとしての基本性能を有していることを確認している。

PTFEナノファイバー自体はストレッチ性を有していないが、一定程度の大きさを持つ自由曲面への追従性は有しているため、ウェアラブルを初めとする各種入力ユーザーインターフェースへの応用が考えられる。

Figure13 タッチセンサー試作品
(マイコンボード及び表示ソフトはルネサス社製品を利用)

5. 今後の展開

今回、PTFEナノファイバーのフレキシブルデバイスへの活用ということで検討を進めてきた。PTFEナノファイバー上へ配線形成することによって、素材そのものとしての活用以外への展開の可能性を示せたのではないかと考えている。今後、高齢化社会が進展する我が国においては、ますますヘルスケア領域でのウェアラブルデバイスの活用が進むと考えられる。また、折りたたみスマホなど、これまでになく形態のデバイスも登場し始めており、今後更に多様なユーザーインターフェースが求められるものと推測される。

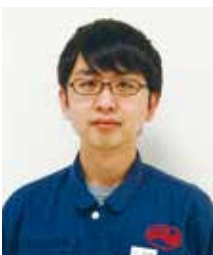
このような劇的な社会の変化に、素早くそしてナノファイバーのように柔軟に追従していけるよう、今回の事例を更に広げる取組を進めて社会に役立つ製品づくりを進めていきたいと考えている。

6. おわりに

今回、コネクテックジャパン株式会社との協業を通し、PTFEナノファイバーの新たな活用可能性を示すことが出来た。本報で紹介した活用事例はほんの一部に過ぎないと考えている。当社が持つPTFEナノファイバーというユニークな材料と、コネクテックジャパンが持つ独自の低温実装技術とのコラボレーションによって、未知のデバイス開発が可能であると考えており、読者の皆さまのアイデアを具現化するお手伝いを是非ともさせていただきたいと考えている。

7. 参考文献

- 1) 辻, 瀬戸口, バルカーテクノロジーニュース, No. 23, pp.13-15.



武藤 裕孝

研究開発本部
先行技術開発部
素材応用開発チーム



米田 哲也

研究開発本部
先行技術開発部
新領域開発チーム