

## 【短期在外研究】

|                   |                                                                                                                         |         |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 研 究 者             | 山形大学 大学院有機材料システム研究科 博士後期課程 逸見 悠大                                                                                        | 2256003 |
| 研 究 課 題 名         | 折り紙・切り紙構造を活用した高生体適合性基板による次世代生体センサの研究開発                                                                                  |         |
| 共同研究者／<br>所 属、職 名 | Jeroen van den Brand/NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR TOEGEPAST<br>NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK (TNO), Research Manager |         |
| 在 留 地 域           | オランダ / アイントフォーヘン                                                                                                        |         |
| 渡 航 期 間           | 2025 年 5 月 16 日～2025 年 7 月 18 日（64 日間）                                                                                  |         |

## 【在外研究の目的・意義】

近年、日本発祥とされる折り紙・切り紙技術を工学分野へ応用する研究が盛んに行われており、ソフトロボティクス、伸縮性エレクトロニクス、光学レンズ、繊維材料など、多岐にわたるマルチスケール分野においてその有用性が示されている。これらの応用は、柔軟でありながら外部刺激に応答して形状変化が可能な新規機能性材料を導入することで実現されてきたものである。折り紙・切り紙工学の基盤となる考え方は、張力下に置かれた薄膜状の有機能材料に意図的に切り込みを入れることで、外部刺激に対して非線形的な変形応答を誘発し、その結果、もともとは二次元的であった薄膜から三次元形状を創出するという極めてシンプルな原理に基づいている。これまでに、生体組織に追従可能な切り紙工学を応用したデバイスも複数開発されてきたが、その多くにおいては基板材料としてポリエチレンテレフタレートやポリイミドが使用されており、これら剛直な基板が生体組織に損傷を与える可能性が懸念されてきた。さらに、十分な生体適合性を有し、かつ温度や光などの外部刺激に応答可能な機能性材料が未だに不足している点も課題として指摘されている。このような背景を踏まえ、本共同研究では、TNO の Jeroen van den Brand 教授の研究グループが強みを持つ折り紙・切り紙構造設計技術と、液晶性エラストマー（LCE）を用いた機能性基板の設計・作製技術の習得を目的とした。さらに、申請者がこれまでに培ってきた有機光アドレス電位差センサをこの基板に集積化することで、これまでの課題を克服し、真に人体に優しい次世代型の生体センサの創出を可能とすることを目指した。

## 【成果】

短期在外研究先であるホルストセンターでは、主に LCE の化合物組成の最適化に取り組んだ。LCE フィルムの主成分である液晶性材料は全体の 70～80 wt% を占めるが、残りの 20～30 wt% を構成する 3 種類の材料が、フィルムの硬さや形状の復元率、柔軟性、さらには相転移温度を左右する重要な因子となっている。これら 3 種類の材料の組み合わせは極めて多様であり、その最適化がフィルム特性の制御に直結する。

LCE フィルムは 2 段階の重合プロセスで作製した。形状記憶機能を担う液晶性材料として RM257 を、膜の伸縮性・柔軟性・転移温度を調整する材料として TEGDA、EDDET、PETMP を用いた。第 1 段階はアミン触媒 DPA によるチオール-エン反応で、数時間かけて進行し初期の網目構造を形成する。第 2 段階はラジカル重合で、360 nm 光照射により開始剤 HHMP がラジカルを生成し、残存するアクリレート基を重合させる。これにより分子間架橋が進み、形状記憶機能が付与される。膜厚を制御するため、一次架橋前にスペーサーを挟んだガラス板で反応溶液を封入し、乾燥させて LCE 薄膜

を成膜した（図 1）。

合成・成膜した LCE フィルムを切り紙エレクトロニクスと組み合わせた例を図 2 に示す。通常のフィルムは二次元の平面性を維持するため、図 2 のように立体構造へ変形することはできない。しかし、切り紙構造を適用することで、高さ約 1 cm の立体構造物を作製することに成功した。さらに、この構造物は RM257、TEGDA、EDDET、PETMP の組成比を精密に調整することで、相転移温度を約 40℃ に制御することが可能となった。また本研究では、LCE フィルムの形状記憶に用いる光源の波長と強度にも着目した。従来手法では 360 nm を含む UV-A、UV-B、UV-C、UV-V を照射していたが、360 nm 以外の波長は架橋に寄与せず、むしろ過剰な短波長エネルギーはフィルムの劣化を引き起こす可能性があった。そこで、365 nm 単一波長の LED を用いたところ、変色や破断を抑制しつつ、安定した形状記憶特性を得ることに成功した。

## 【今後の発展性】

今回の短期在外研究では、切り紙エレクトロニクスの手法を応用し、柔軟性と機能性を兼ね備えた LCE フィルムの作製に成功した。今後は、このフィルムを有機光アドレス電位差センサと組み合わせることで、人体に優しい次世代型の生体センサを実現することを目指す。さらに、生体センサにとどまらず、環境センサなど幅広い応用に展開することで、従来は困難であった三次元構造物へのセンサ配置を可能にし、新たな機能性デバイスの創出につながると考えられる。

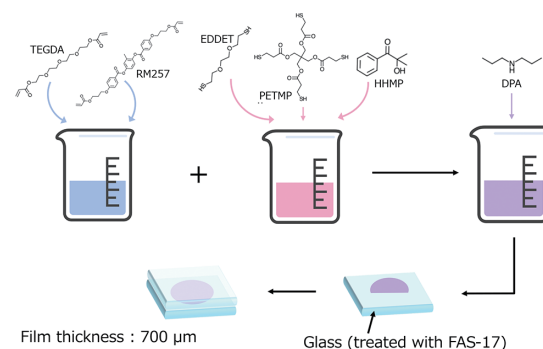


図 1 LCE の合成と成膜

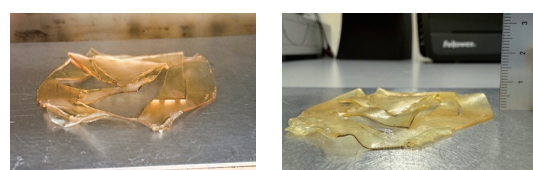


図 2 相転移温度以上で変形する LCE フィルム