

補助事業番号 2020M-164

補助事業名 2020年度 固相拡散接合を応用したマイクロプラスチック除去デバイスの開発
補助事業

補助事業者名 横山 奨

1 研究の概要

海洋マイクロプラスチックを効率的に除去可能なアクリル樹脂製「完全3次元」マイクロ流体デバイスを開発する。具体的には、平均粒子径が50 μm のマイクロプラスチックを50%以上の回収率を維持しつつ、1ヶ月以上連続で稼働できるシステムを目指す。また、設計と素材において新機軸を導入することで、マイクロ流体デバイスの実用化に向けた足掛かりを得ることも目標としている。マイクロ流体デバイスの研究開発は盛んに行われているが、一部の医学的研究用途の使い捨てデバイス以外では、実用化・商業化された事例は極めて少ない。これは、既存のマイクロ流体デバイスの大半がシリコン樹脂の一種であるポリジメチルシロキサン(PDMS)で製造されているためである。PDMSは、フォトリソグラフィおよびソフトリソグラフィと相性がよく「2.5次元」マイクロ流体デバイスを容易に作製することは可能であるが、「完全3次元」マイクロ流体デバイスを作製することは難しく、シリコンゴムであるが故に耐久性は期待できない。固相拡散接合装置を導入しアクリル樹脂製マイクロ流体デバイスの製造技術を確認することで、既存のマイクロ流体デバイスにおける低耐久性・短寿命の欠点を解消し、マイクロ流体デバイスの幅広い実用化の一助とする。本申請では、大別して以下の2つのテーマに分かれて研究を遂行する予定である。

【海洋マイクロプラスチックを効率的に除去可能な完全3次元マイクロ流体デバイスの設計】

マイクロ流体デバイスの設計に着目し研究を遂行する。従来の「2.5次元」のマイクロ流体デバイスとは一線を画した「完全3次元」マイクロ流体デバイスの設計を確認し、高効率なマイクロプラスチックの除去を実現する。また、将来の3Dプリンタ製マイクロ流体デバイスに向けた「完全3次元」マイクロ流体デバイスの設計指針を確認する。

【固相拡散接合を用いた「完全3次元」マイクロ流体デバイス製造技術の確認】

マイクロ流体デバイスの素材に着目し研究を遂行する。従来の樹脂製マイクロ流体デバイスの欠点である、低耐久性・短寿命を克服すべく固相拡散接合装置を用いたマイクロ流体デバイス製造技術を確認する。海洋マイクロプラスチックを効率的に除去可能な完全3次元マイクロ流体デバイスの製造・量産を実現する。

2 研究の目的と背景

海洋マイクロプラスチックを効率的に除去可能なアクリル樹脂製「完全3次元」マイクロ流体デバイスを開発する。安価で長期間運用可能なマイクロプラスチックの除去・回収手法を提供し、グローバルな環境問題である海洋マイクロプラスチック問題の解決に貢献する。人々に安全な水環境を提供することが最終目標である。

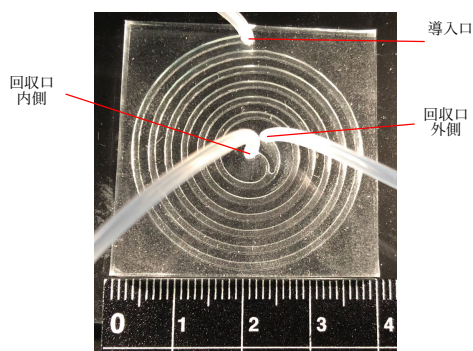
3 研究内容

(1) 固相拡散接合を応用したマイクロプラスチック除去デバイスの開発

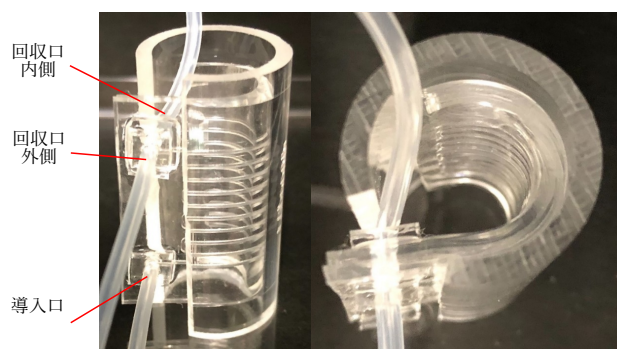
拡散接合装置の改修については、拡散接合の精度向上に直結する電気炉の性能向上と加圧プレートへのガイドを追加した。この除去により、ヒートプレート全面での均一な加圧が可能となり、従来は困難であったガラス転移温度が低い高分子樹脂(ABSやPLA)に対しても安定した拡散接合が可能となった。

マイクロビーズを作製したマイクロ流体デバイスを用いて除去することで、機能評価と最適化を実施した。マイクロビーズの密度を変更しつつ除去率を調査したところ、密度が 1.05g/cm^3 の除去率は21%、 2.50g/cm^3 の除去率は23%となることを確認し、ビーズの密度が変化してもマイクロビーズを除去可能であることを証明した。また、同一のマイクロビーズを用いた場合は、ディーン数の向上に比例してマイクロビーズの除去率が改善することを確認した。以上の知見を複合的に判断し内外吸引流量比率を調整、内側と外側の吸引流量比を1:10にすることで、図3に示す通りマイクロビーズ濃度が除去口内側で69.9%、外側で112.1%となり、差分にして42.2%の除去率を実現した。

<2.5次元マイクロ流体デバイス>



<3次元マイクロ流体デバイス>

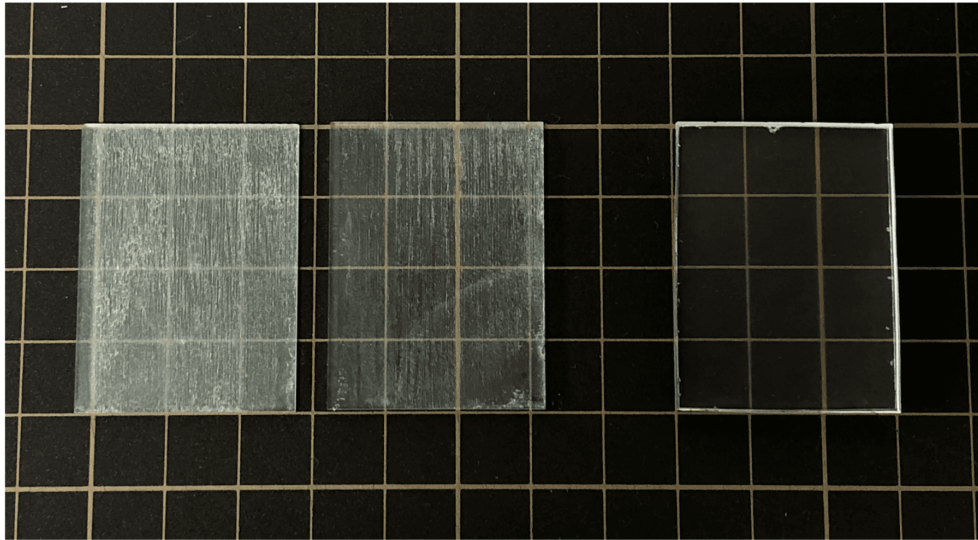


PDMS製デバイスによる初期検討

(2) 樹脂製マイクロ流体デバイスの量産に向けた拡散接合装置の開発

(<https://www.research.oit.ac.jp/oitid/seeds/seeds-9388/>)

従来のマイクロ流体デバイスで主に用いられてきたポリジメチルシロキサン(PDMS)は、各種タンパク質の吸着や高いガス透過性などから、理想的なマイクロ流体デバイス用材料とは言い難い。また、PDMS製マイクロ流体デバイスの製造工程は手作業が多く、量産には不向きで、高コストなデバイスになりがちである。そこで当研究室では、高分子樹脂製マイクロ流体デバイスへの移行を目指し、拡散接合技術を用いたマイクロ流体デバイス量産技術の確立を目指している。拡散接合装置の試作機の開発を進めており、 $500\ \mu\text{m}$ までの流路を閉塞することなく接合することに成功した。今後も、装置の改良や接合条件、デバイス設計の最適化を進め、各種マイクロ流体デバイスの開発に貢献するとともに、様々な応用研究を遂行する予定である。



- ・拡散接合による界面の一体化により、切削痕が消失
- ・PMMA樹脂本来の透明度が復活

開発した拡散接合装置によるアクリル平板の接合

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本事業の結果、マイクロビーズを連続的に42.2%の効率で除去することが可能となった。この除去率は今回開発したデバイス単体での効率であるため、今後デバイスの多重化や流路全長の延長などにより更に除去率を向上させることが可能である。理論的には、本デバイスを5つ連結すれば除去率は90%を上回ることが期待され、十分に実用可能な効率であると言える。

また、本事業で改良した拡散接合装置は従来のPMMA(アクリル)よりも遥かにガラス転移温度が低いプラスチックの接合を可能にした。より多様な種類のプラスチックの接合が可能となったことで様々な分野への応用が期待できる。更に、プラスチック最表面にのみ低分子量のプラスチックが集まるような挙動を確認しており、有機化学分野への応用の可能性が拓けた。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本助成事業は、前年度に実施した2019M158 フィルタレス血液分離用マイクロ流体デバイス接合技術の開発の発展であり、前事業の成果を利用した研究である。そのため、本助成事業も申請者の研究歴の中では珍しく、強く実用化や社会実装を意識しており異質なテーマと言える。

2つの助成事業により、開発・改良を実施した拡散接合装置は産業界からの評価が高く、多くの企業や財団に興味を持っていただける、ありがたい研究シーズに成長した。イノベーション・ジャパン2020～大学見本市&ビジネスマッチング～にも採択されなど、今までの研究の方向性と異なる研究展開を可能にする機会をいただいた公益財団法人JKAの多大なるご支援に対して感謝申し上げます。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

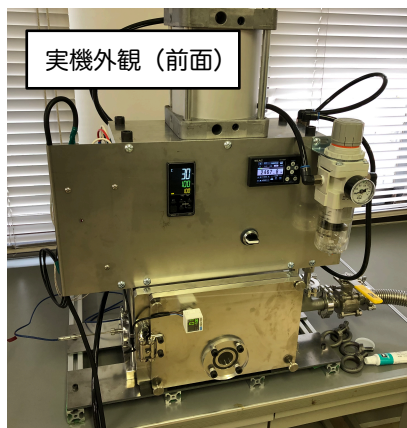
1) 横山奨, ウェブハンドリング技術に基づくLab-on-Foilの展開, 日本設計工学会誌、2020:55:11: 664-669

7 補助事業に係る成果物

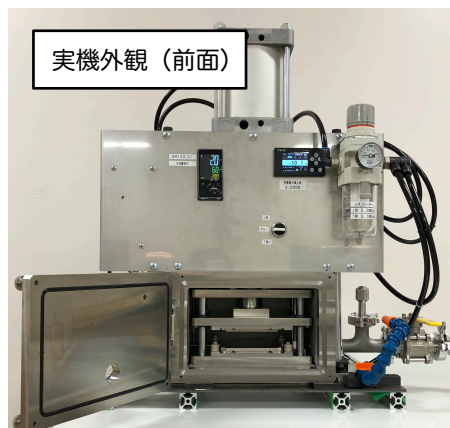
(1)補助事業により作成したもの

固相拡散接合装置(改良)

<改修前の拡散接合装置>

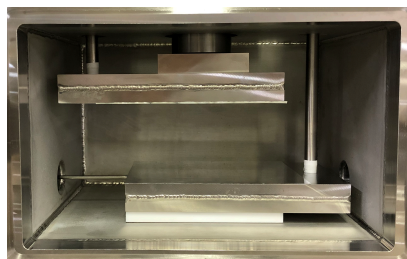


<改修後の拡散接合装置>

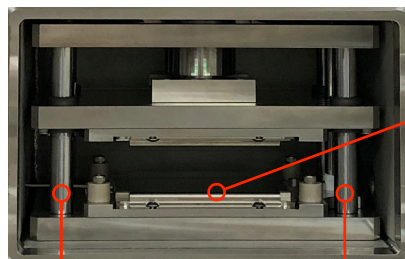


<拡散接合装置の炉内改修点>

改修前



改修後



電気炉の
性能向上

ガイド追加

電気炉の性能向上とガイド追加により、より正確な温調と加圧を実現

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

横山奨, ウェブハンドリング技術に基づくLab-on-Foilの展開, 日本設計工学会誌、2020:55:11: 664-669 (<https://www.jsde.or.jp/shuppan/2020/jl202011.html>)

別刷

設計工学

公益社団法人 日本設計工学会誌

2020年 第55巻 第11号

(P. 664 ~ P. 669)

ウェブハンドリング技術に基づくLab-on-a-Foilの展開

横山 奨

Development of Lab-on-a-Foil with Web Handling Technology

Sho YOKOYAMA

jsde

公益社団法人 日本設計工学会

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 大阪工業大学工学部(オオサカコウギョウダイガクコウガクブ)

住 所： 〒535-8585

大阪府大阪市旭区大宮5丁目16番1号

担 当 者： 講師 横山奨(ヨコヤマショウ)

担 当 部 署： 工学部機械工学科(コウガクブキカイコウガクカ)

E - m a i l: sho.yokoyama@oit.ac.jp

U R L: <http://www.oit.ac.jp/med/~yokoyama/mflab/index.html>

<https://www.research.oit.ac.jp/oitid/seeds/seeds-9388/>