

平成31年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「フラクタル構造加工技術及び新たな親水機能樹脂開発による
超親水性医療用光学樹脂部品の研究開発」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局 東北経済産業局
補助事業者 公益財団法人山形県産業技術振興機構

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2-1 フラクタル構造の設計
- 2-2 フラクタル構造の加工
- 2-3 ナノコンポジット樹脂材料開発及び形状転写
- 2-4 事業化における市場調査、顧客開拓、顧客獲得

最終章 全体総括

- 3-1 研究開発成果
- 3-2 研究開発後の課題・事業化展開

第 1 章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

一刻一秒を争う医療現場において、外気と体内の温度差により内視鏡レンズ部に曇りが発生する 경우가多々ある。手術時間が長くなるほど患者への負担が増大し、手術自体の安全性の低下が懸念されるほか、救急救命士、医師、看護師へのストレスも大きくなると言われている。

人の生死に関わる医療現場で使用する機器であるにも関わらず、従来技術では防曇性能が不十分であり、かつ防曇性能を維持することも困難である。医療現場において、内視鏡は医師、看護師、救急救命士の目となる必要不可欠な医療機器であり、内視鏡支援ロボットが手術する時代になっても、映像を人間の目で確認する行為は無くならない。このレンズ部の曇りによる問題を早急に解決する新たな技術に対し、医療現場からの改善要求は非常に強い。

中小ものづくり高度化指針における課題とニーズ

三) 精密加工に係る技術に関する事項

1 精密加工に係る技術において

達成すべき高度化目標

(4) 川下分野特有の事項

1) 医療・健康分野に関する事項

①川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）

ア. 高衛生・信頼性・安全性向上

イ. 生体親和性向上

カ. 手術手技の簡素化（操作性向上）

九) 複合・新機能材料に係る技術に関する事項

(3) 川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ
ア. 高機能化

レンズカバー表面の曇りを防止し、曇り止め機能を容易に維持できるようにするため、レンズカバー表面を親水化（水になじみやすく）し、かつ視認性を確保するためのレンズカバーの透明性を維持可能な光学樹脂部品を開発する。これら 2 つの機能を実現するため、かたつむりの殻を模した親水構造と、この親水構造による回折、乱反射を防止する為の、蛾の目を模した反射防止構造をミックスしたフラクタル構造の加工技術開発、及び透過率に影響を与えないナノコンポジット樹脂材料開発による、新たな親水機能性樹脂部品の開発により、曇らない超親水性医療用光学樹脂部品の研究開発を行う。

- ・曇りを無くすために必要なスペック、目標値・・・透過率（光学特性）87%、接触角（親水性）5° 以下
- ・実際に試作品が曇るまでの時間の目標値・・・10分以上

【1. 親水性、高透過率を実現するフラクタル構造の設計】

【1-1】 透明性（高透過率、反射防止）を実現する構造の設計

【1-2】 親水性（防曇）構造の設計

シミュレーションによるフラクタル構造設計+ナノコンポジット材料の目標値は、

- ・透過率（光学特性）87%以上
- ・接触角（親水性）5° 以下 とする。

【2. 親水性、高透過率を実現するフラクタル構造の加工】

【2-1】 透明性（高透過率、反射防止）を実現する構造の加工

【2-2】 親水性（防曇）構造の加工

フラクタル構造のみの目標値は、

- ・透過率（光学特性）87%以上
- ・接触角（親水性）15° 以下 とする。

【3. ナノコンポジット樹脂材料開発及び形状転写】

【3-1】 ナノコンポジット樹脂材料開発

ナノコンポジット樹脂材料のみの目標値は、

- ・透過率（光学特性）87%以上
- ・接触角（親水性）55° 以下 とする。

【3-2】 ナノコンポジット樹脂材料への形状転写

フラクタル構造金型を用い、ナノコンポジット樹脂材料に形状転写させたものを評価する。【2-1】【2-2】【3-1】の目標値を合わせたフラクタル構造+ナノコンポジット樹脂材料の目標値は、曇りを無くす為に必要なスペック、目標値である、

- ・透過率（光学特性）87%以上
- ・接触角（親水性）5° 以下
- ・レンズカバーが曇るまでの時間 10分以上 とする。

中小ものづくり高度化指針における高度化目標

三) 精密加工に係る技術に関する事項

1 精密加工に係る技術において達成すべき

高度化目標

(4) 川下分野特有の事項

1) 医療・健康分野に関する事項

②高度化目標

ア. 精密・微細加工技術等の向上

イ. 複雑形状加工対応

九) 複合・新機能材料に係る技術に関する事項

(3) 川下分野横断的な共通の事項

②高度化目標

ア. 高性能・高機能な材料及び

複合技術の向上

1-2 研究体制

事業管理機関 山形県産業技術振興機構

研究等実施機関

株式会社 IMUZAK：フラクタル構造設計、事業化における市場調査

【PL】 代表取締役 澤村 一実

山形県工業技術センター：フラクタル構造金型加工

【SL】 主任専門研究 小林 庸幸

他 企業 A、企業 B、大学 C：フラクタル構造金型加工、樹脂材料開発、形状転写
アドバイザー

1 医療機関、2 企業、2 大学、1 研究機関

1-3 成果概要

【1. 親水性、高透過率を実現するフラクタル構造の設計】

透過率（光学特性）

目標値 87%以上 → 実績値 95%以上達成

接触角（親水性）

目標値 5° 以下 → 実績値 5° 以下達成

【2. 親水性、高透過率を実現するフラクタル形状の加工】

透過率（光学特性）

目標値 87%以上 → 実績値 94%以上達成

接触角（親水性）

目標値 15° 以下 → 実績値 46° 未達成

【3】と合わせ、本事業全体として実績値 5° 達成

【3. ナノコンポジット樹脂材料開発及び形状転写】

透過率（光学特性）

目標値 87%以上 → 実績値 90%以上達成

接触角（親水性）

目標値 55° 以下 → 実績値 5° 達成

曇るまでの時間

目標値 10分以上 → 実績 10分以上達成

【4. 事業化における市場調査、顧客開拓、顧客獲得】

内視鏡カバーより早期の事業化が見込まれる医療分析機器用製品について、事業の早期実現を目指す為に、医療分析機器用製品の材料である樹脂材料 B ナノコンポジット材での試作品の提出を行おうとしたが、樹脂材料 A の材料が先行して開発が進んだ。樹脂材料 B に関しては、継続開発として今年度 9 月までに開発、試作を完了しサンプル提出を行い 2 年後の量産化に結びつける。

手術用内視鏡用レンズカバーとして海外内視鏡メーカーに対して本事業開発品である樹脂材料 B への新たな樹脂親水処理方法は勿論であるが、早期事業化を行いとの意向でガラス系材料への新たな樹脂親水処理方法の適用、及びガラス系材料表面へのフラクタル構造加工の試作品の提供を行った。今後共同開発に結び付け、4 年後の量産化を目指す。

医療分析機器用製品、手術用内視鏡用レンズカバー以外、iPS 細胞自動大量培養装置用リアクター用途と、車載ヘッドランプ用途、バックビューカメラレンズ用途、LiDAR カバー用途等、国内外の大手メーカーより試作品の依頼を受けており、今後共同開発に結び付け事業化を実現する。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社 IMUZAK 代表取締役 澤村一実

TEL: 023-665-5131 E-mail: k_sawa@imuzak.co.jp

第2章 本論

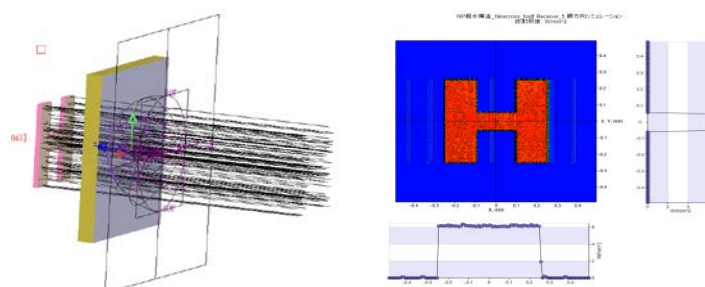
本事業では、フラクタル構造の設計、切削工具開発、フラクタル構造の金型作製、ナノコンポジット樹脂の開発、及びフラクタル構造の開発樹脂への形状転写を行うことにより、透明性と親水性を持つ曇らない内視鏡樹脂レンズカバーの開発を行った。また、事業化における市場調査、顧客開拓、顧客獲得を目指した。

2-1 フラクタル構造の設計

【1. 親水性、高透過率を実現するフラクタル構造の設計】

【1-1】透明性（高透過率、反射防止）を実現する構造の設計（IMUZAK）

初年度は、フラクタル構造の設計を行う上で特に重要な工具に関して、工具メーカー、アドバイザーからの技術的なアドバイスを取り入れて設計を実施した。又、【2-1】で述べるナノペッカーの加工軌跡をシミュレーション化することで加工後の形状を容易に正確に検証できるようにした。2年目に透明性、親水性を満足するフラクタル構造の最終形状を考案、設計した。光学シミュレーションソフトを用いて解析したところ、最終設計形状において透過率目標値 87%以上、実績値 95%以上となり、目標を達成することができた。



光学シミュレーション結果
透過率 96.2%

【1-2】親水性（防曇）構造の設計（IMUZAK）

フラクタル構造の最終設計形状に関し、平面形状と比較した面積比をもとに接触角の計算を行ったところ、接触角目標値 5° 以下に対し実績値 5° 以下で目標を達成することができた。

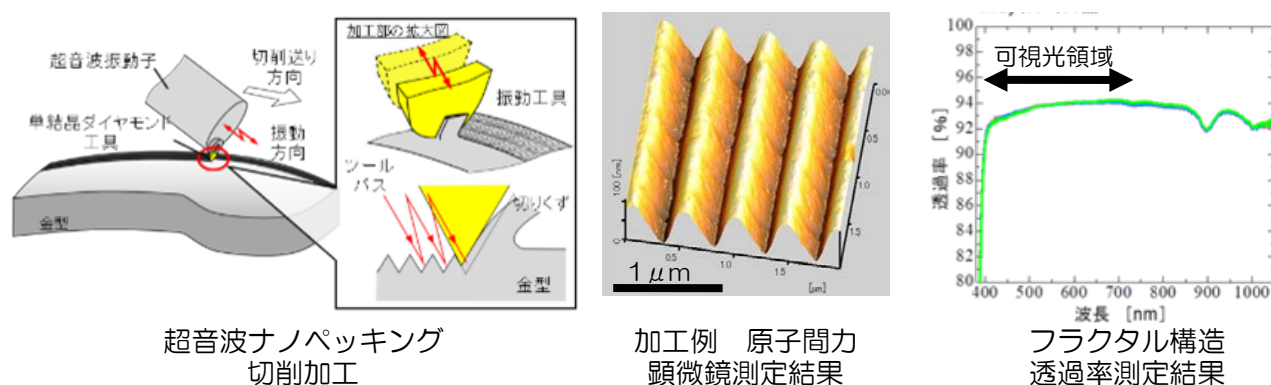
2-2 フラクタル構造の加工

【2. 親水性、高透過率を実現するフラクタル構造の加工】

【2-1】透明性（高透過率、反射防止）を確保する構造の加工

（山形県工業技術センター、企業 A、IMUZAK）

数百 nm オーダーの形状を含むフラクタル構造を、従来比約 50 倍の速度で高能率に加工できる超音波ナノペッキング切削加工（特開 2017 - 217720）を用い、金型表面に加工した。この金型をナノインプリントにより樹脂に転写したところ、透過率目標値 87%以上に対し実績値 94%を達成した。



【2-2】親水性（防曇）構造の加工

（山形県工業技術センター、企業 A、IMUZAK、企業 B）

【2-1】に記載の実験を実施した。その結果、接触角は 46° となった。本事業においてフラクタル構造だけでは【2-2】の目標値 15° 以下には達するのが困難であることが分かった。

しかしながら、後述の【3-1】樹脂材料開発により、プロジェクト全体としての目標値 5° 以下を達成することができた。

量産化に向け、フラクタル構造金型加工技術の改善に取り組んだ結果、金型の品質向上及び金型加工の安定化を図ることができた。

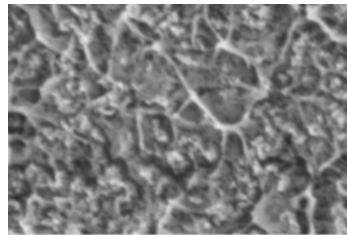
2-3 ナノコンポジット樹脂材料開発及び形状転写

【3. ナノコンポジット樹脂材料開発及び形状転写】

【3-1】ナノコンポジット樹脂材料開発（大学 C、IMUZAK、企業 B）

樹脂材料 A 及び樹脂材料 B において 2 軸押出機を用いてナノ粒子及びベース材との

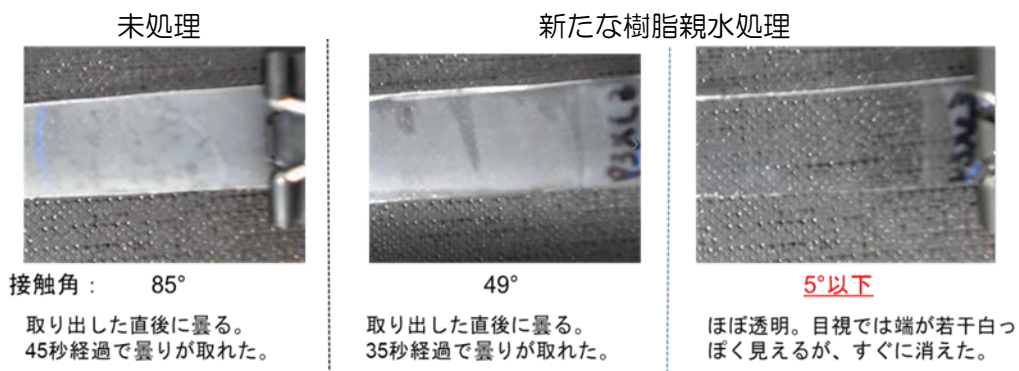
混練り条件、配合比の検討を行いナノコンポジット樹脂の作製を行い、透明性、親水性の評価を行った。又、大学Cにて別アプローチである“新たな樹脂親水処理方法”を確立し、樹脂材料A ナノコンポジット成形品表面にて、透過率90%以上、接触角5°以下の超親水性を得、樹脂材料目標値である透過率87%以上、接触角55°以下だけでなく、フラクタル構造成形品目標値である透過率87%以上、接触角5°以下をも達成した。



x50000
樹脂材料A ナノコンポジット
表面SEM画像

【3-2】ナノコンポジット樹脂材料への形状転写（大学C、企業B、IMUZAK）

ナノコンポジット樹脂、新たな樹脂親水処理方法を使って形状転写開発品における接触角の評価結果及び射出成形における転写率、離型性に関して設計にフィードバックし、設計での光学評価を行った。この結果、透過率（光学特性）は目標値87%以上に対し実績値90%以上、接触角（親水性）は目標値55°以下に対し実績値5°を達成した。また、実情に即したデモ機での評価を行い、最終開発品において曇るまでの時間を目標値10分以上に対し実績10分以上をそれぞれ達成した。



樹脂材料B プレートの親水処理及び接触角の違いによる曇り比較
7°C → 25°C 湿度65%

2-4 事業化における市場調査、顧客開拓、顧客獲得

【4. 事業化における市場調査、顧客開拓、顧客獲得】

国内外内視鏡メーカーへの直接面談、日本内視鏡外科学会での試作品デモ展示での面談を実施し、令和3(2021)年3月をめぐりに試作品の提供を行い、共同開発に結び付ける予定である。

内視鏡カバーより早期の事業化が見込まれる医療系分析機器用の製品について、継続開発を行い、令和2(2020)年中をめぐりに試作品サンプルを川下企業に提供する予定である。

新たな樹脂親水処理に関する特許出願を早期に実施する。

最終章 全体総括

3-1 研究開発成果

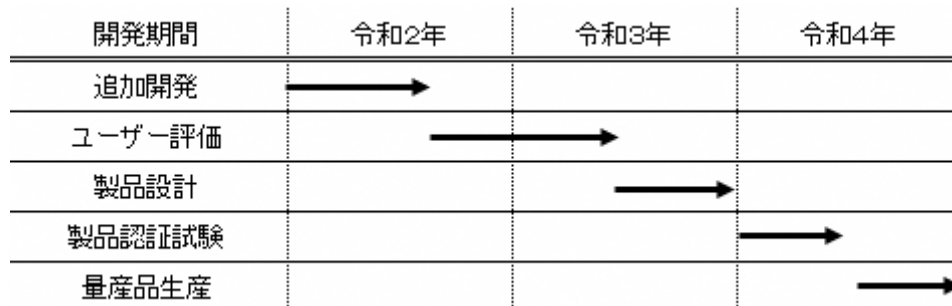
初年度は、フラクタル構造の設計を行う上で特に重要な工具に関して、工具メーカー、アドバイザーからの技術的なアドバイスを取り入れて設計を実施した。又、ナノペッカーの加工軌跡をシミュレーション化することで容易に正確に検証できるようにした。2年目に透明性、親水性を満足するフラクタル構造の最終形状を考案、工具の耐久性、精度等の検証の為にフラクタル構造の加工実験を行った。最終年度では樹脂材料 A 及び樹脂材料 B において2軸押出機を用いてナノ粒子及びベース材との混練り条件、配合比の検討を行いナノコンポジット樹脂の作成を行い、透明性、親水性の評価を行った。又、別アプローチである“新たな樹脂親水処理方法”における加工条件の検討、試作、評価を行った。このナノコンポジット樹脂、新たな樹脂親水処理方法を使って形状転写開発品における接触角の評価結果及び射出成形における転写率、離型性に関して設計にフィードバックし、設計での光学評価を行った。この結果を射出成形工程にフィードバックし、射出成形条件の再検討を繰り返したところ、目標である透過率 87%以上、接触角 5° 以下を実現することができた。又、実情に即したデモ機での評価を行い、最終開発品において曇るまでの時間 10 分以上を実現することができた。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

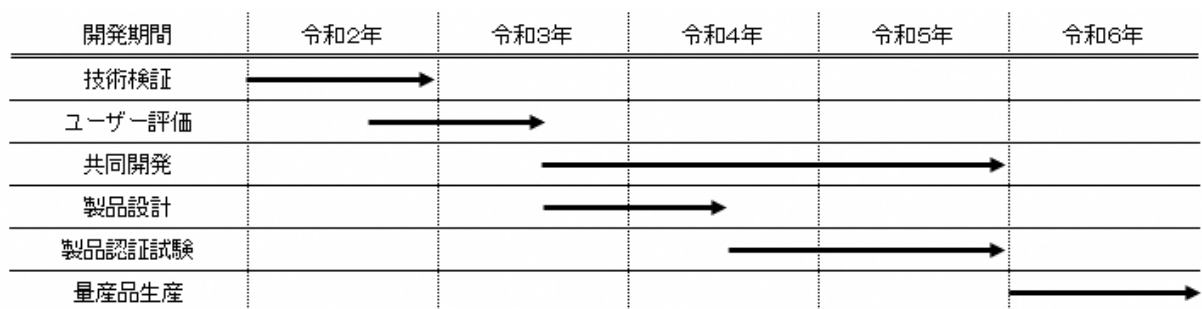
事業化に向けた取り組み

医療分析機器用製品の事業の早期実現を目指す為に、医療分析機器用製品の材料である樹

脂材料 B ナノコンポジット材での試作品の提出を行おうとしたが、樹脂材料 A の材料が先行して開発が進み、樹脂材料 B に関しては、継続開発として今年度 9 月までに開発、試作を完了しサンプル提出を行い2年後の量産化に結びつける。



手術用内視鏡用レンズカバーとして海外内視鏡メーカーに対して本事業開発品である樹脂材料 B への新たな樹脂親水処理方法は勿論であるが、早期事業化を行いとの意向でガラス系材料への新たな樹脂親水処理方法の適用、及びガラス系材料表面へのフラクタル構造加工の試作品の提供を行った。今後共同開発に結び付け、4年後の量産化を目指す。



医療分析機器用製品、手術用内視鏡用レンズカバー以外、iPS 細胞自動大量培養装置用リアクター用途と、車載ヘッドランプ用途、バックビューカメラレンズ用途、LiDAR カバー用途等、国内外の大手メーカーより試作品の依頼を受けており、今後共同開発に結び付け事業化を実現する。