

先端国際共同研究推進事業

2023 年度採択

次世代のための ASPIRE

マテリアル分野

2023 年～2024 年度

年次報告書（公開版）

研究課題名	糖質系ハイブリッドポリマーの精密設計を基盤とした次世代 サステナブル材料の国際共同開発
日本側研究代表者	磯野 拓也 北海道大学 准教授
相手側研究代表者	Redouane Borsali, Research Professor, Centre de recherches sur les macromolécules végétales (CERMAV)
研究期間	2024 年 2 月 1 日～2027 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

テーマ① 自在な物性発現を可能にする多糖誘導体の合成法確立

- ・オリゴ糖をベースとした熱成形可能なプラスチック材料の創出
- ・セルロースナノファイバーの表面改質

テーマ② 還元末端官能基化オリゴ糖の合成法開発当

- ・オリゴ糖還元末端へのプロパルギル基導入の検討
- ・キチンオリゴ糖およびヒアルロオリゴ糖の微生物生産法の開発

テーマ③ 糖質ベースの樹脂添加剤の創出

- ・樹脂添加剤として期待できる新規糖質含有ブロック共重合体の合成
- ・新規ブロック共重合体の自己組織化挙動に関する基礎検討

テーマ④ 糖質ベースのエラストマーや接着材料の創出

- ・バイオベースソフトセグメントとオリゴ糖を組み合わせたトリブロック共重合体の合成と物性評価
- ・糖質含有トリブロック共重合体が生ずる自己修復性の発現メカニズムの検討

テーマ⑤ 糖質ベースの着色材料の創出

- ・フォトニック結晶の候補となるバイオベースなブラシブロック共重合体の合成
- ・ブラシブロック共重合体のナノ構造解析と光学特性評価

<得られた成果>

テーマ① 自在な物性発現を可能にする多糖誘導体の合成法確立

- ・シクロデキストリンをオリゴ糖のモデルとし、熱成形可能な糖質系プラスチック材料を得ることに成功
- ・セルロースナノファイバーが本来持っている結晶構造を維持したまま、表面カルバメート化することに成功

テーマ② 還元末端官能基化オリゴ糖の合成法開発当

- ・種々の分子量のキシログルカンオリゴに対して還元末端へのプロパルギル基を導入することに成功
- ・微生物生産法によってキチンオリゴ糖のグラムスケール合成に成功

テーマ③ 糖質ベースの樹脂添加剤の創出

- ・種々のオリゴ糖と疎水性セグメントの組み合わせからなるブロック共重合体を樹脂添加剤候補として新規に合成することに成功
- ・新規ブロック共重合体の水中および固体中における自己組織化構造を解析し、多糖系樹脂へ添加した際の相挙動やモルフォロジーを理解するための基礎的知見を得ることに成功

テーマ④ 糖質ベースのエラストマーや接着材料の創出

- ・バイオ由来ポリエステルとオリゴ糖を組み合わせたブロック共重合体の合成に成功し、エラストマー様の性質を確認
- ・小角X線散乱から、糖質含有トリブロック共重合体の自己修復メカニズムに関する知見を得ることに成功

テーマ⑤ 糖質ベースの着色材料の創出

- ・バイオ由来ポリエステルとオリゴ糖を組み合わせたバイオベースなブラシブロック共重合体の合成に成功
- ・電子顕微鏡観察や超小角X線散乱により100 nmを超える長周期のマイクロ相分離構造発現を観測し、可視光を反射するフォトニック結晶としての性質を示すことを確認

② 国際頭脳循環の促進にかかる成果

＜実施したこと＞

- ・以下の合計 5 名をフランス CERMAV へ派遣し、共同研究を行った
博士研究員 A：2024 年 10 月 5 日～2025 年 3 月 5 日
博士研究員 B：2025 年 1 月 19 日～（2025 年 12 月までの予定）
博士課程学生 A、修士課程学生 A、B：2024 年 9 月 8 日～2024 年 11 月 6 日
- ・下記 1 名をフランス側でのワークショップ参加のために派遣した
修士課程学生 C：2024 年 10 月 11 日～2024 年 10 月 19 日
- ・下記 2 名をフランス CERMAV より北海道大学に招へいし、共同研究を行った
博士研究員 C：2024 年 6 月 8 日～2024 年 9 月 3 日
博士課程学生 B：2024 年 9 月 27 日～2024 年 12 月 1 日
- ・北海道大学および CERMAV で ASPIRE 共同研究に関してワークショップを 1 回ずつ開催
- ・本研究プロジェクトに関する成果を国内外の学会や海外研究機関にて発表

＜得られた成果＞

- ・研究者をフランス側に派遣したことで、日本側では実施困難な実験をフランス側の専門家の協力を得ながら遂行することが出来た。これにより、新たな実験技術を習得することができた。また、フランス側研究者との議論を通じて、新たな共同研究テーマの創出に繋がった。さらに、派遣した 1 名がフランス側との共同研究テーマに関して国際共著論文 1 報を発表した。
- ・フランス側研究者を日本側へ招へいすることで、特に材料合成に関して彼らの研究の進捗に大きく貢献した。また、彼らとの議論を通じ、新たな研究の方向性を見出すことが出来た。さらに、研究室学生との相互作用で日本側学生の国際性かん養にもつながった。
- ・北海道大学にて 2024 年 7 月 3 日～6 日の日程で合同ワークショップを開催した。ワークショップ参加のため、フランス側メンバーの研究者 6 名を招へいした。また、北海道大学工学研究院 田島 健次准教授グループ、同農学研究院 鈴木 栞助教グループ、さらに JST COI-NEXT でバイオベースプラスチック開発に関して共同研究を行っている金沢大学 高橋 憲司教授グループのメンバーにも参加してもらい、共同研究を行っていた企業からの参加者も含めて合計約 40 名が一堂に会し、サステナブルな高分子材料開発に関して数日にわたって議論することができた。招へいした研究者や日本側の若手研究者・学生から口頭発表 16 件、日本側若手研究・学生によるポスター発表 20 件の研究発表があった。この間、日本側学生とフランス側研究者の交流や議論があり、来年度にフランスへ派遣するメンバーを決定し、そのテーマについて議論することも出来た。さらに、ワークショップ中の研究発表から議論を深め、その成果が 2 報の国際共著論文の発表に繋がった。
- ・グルノーブルにて 2024 年 10 月 14 日～15 日の日程で第 2 回合同ワークショップを開催した。ワークショップには、渡航した教員 3 名、修士課程学生 1 名に加え、CERMAV 滞在中の日本側博士研究員 1 名、学生 3 名が参加した。CERMAV や Grenoble Alpes University キャンパス内にある研究機関に所属する研究者、学生を含め合計 20 名程度が参加した。第 2 回ワークショップでは、若手研究者による研究発表・討論を中心とする狙いがあったため、シニア研究者 2 名による招待講演以外では、フランス側学生 3 名、日本側博士研究員 1 名、日本側学生 44 名が口頭発表を行った。特に、フランス滞在中だったメンバーはそれぞれ 1 時間の発表+質疑応答を行い、英語によるプレゼンテーション・討論の良いトレーニングとなった。さらに、このワークショップ期間中にフランス側博士課程学生と議論を深め、来年度に招へいして共同研究を

行う計画に繋がった。

- ・研究代表者は本研究プロジェクトの成果発表のため、国内学会、国際学会、海外大学などで積極的に講演を行った。これらの機会を通じて、海外研究者との新たなネットワーク形成を実現した。
- ・フランスへ派遣した博士研究員 A が、2025 年 4 月から神戸大学 特命助教として栄転した。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
研究テーマ1 自在な物性発現 を可能にする多 糖誘導体の合成 法確立	磯野 拓也	北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究テーマ2 還元末端官能基 化オリゴ糖の合成 法開発	磯野 拓也	北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究テーマ3 糖質ベースの樹 脂添加剤の創出	磯野 拓也	北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究テーマ4 糖質ベースのエラ ストマーや接着材 料の創出	磯野 拓也	北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究テーマ5 糖質ベースの着 色材料の創出	Redouane BORSALI	Centre de recherches sur les macromolécules végétales (CERMAV)・Research Professor

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

＜原著論文＞

- [1] Lang, W.; Watanabe, T.; Lee, C.; Fukushima, S.; Li, F.; Yamamoto, T.; Tajima, K.; Tagami, T.; Borsali, R.; Takahashi, K.; Satoh, T.; Isono, T. Self-assembly of malto-oligosaccharide-block-solanesol in aqueous solutions: Investigating morphology and sugar-based physiological compatibility. *Carbohydr. Polym.* **2025**, 352, 123207.
- [2] Lang, W.; Watanabe, T.; Lee, C.; Tagami, T.; Li, F.; Yamamoto, T.; Tajima, K.; Borsali, R.; Takahashi, K.; Satoh, T.; Isono, T. Fully biosourced amphiphilic block copolymer from tamarind seed xyloglucan and solanesol: synthesis, aqueous self-assembly, and drug encapsulation. *Carbohydr. Polym.* **2025**, 352, 123181.
- [3] Nishimura, T.; Lee, C.; Nunokawa, R.; Cheng, Y.-H.; Li, F.; Yamamoto, T.; Tajima, K.; Borsali, R.; Chen, H.-L.; Satoh, T.; Isono, T. Molecular Design of a Discrete Oligosaccharide-block-Oligodimethylsiloxane System: Toward Microphase Separation with 1 nm Domain Size and Angstrom-Scale Size Control. *Macromolecules* **2025**, 58(1), 266-278.