

実績報告書（創成特定研究事業）

氏名：佐藤 敏文

■プロジェクト研究構想名：

“超”重合法の創成—高機能性高分子材料の“超”高効率合成法の開発—

1. 研究構想概要

高分子材料は暮らしを支える物質として多種多様な用途で使用されている。しかしながら、マイクロプラスチックなどの環境問題や生成プロセスで使用する有害化学物質の問題など、数多くの問題を抱えた分野でもある。そこで本研究構想では、従来から行われている多段階での高分子合成法を、ワンステップあるいはワンポットで行う“超”重合法（スマート重合法・スマート合成法）の確立を目指す。具体的には、今後必要とされる高機能性高分子材料の高効率合成法を開発することで、使用する試薬や溶媒の使用量を大幅に削減し、性能評価からの再分子設計にも応用可能でサステナブルな“超”重合法を創成する。

2. 今年度の進捗、成果

本年度は下記の4つのテーマについて検討を進めた。

1) “超”重合法によるフレキシブルデバイスの調製

伸縮自在な有機電子デバイスの迅速な開発を目指し、導電性高分子とゴム状高分子からなる特殊構造高分子のスマート合成法を確立した。この効率な合成法を用いることで、導電性を有する特殊構造高分子を簡便に得ることができ、伸長下でも機能するストレッチャブル有機発光ダイオード（OLED）等を実際に作製することに成功した。本研究成果は台湾の Chen 教授や Kuo 教授らと共同で論文にまとめ、原著論文3報の成果を挙げた。また、オリゴ糖を用いたデバイス材料に関する Borsali 教授との研究で原著論文3報の成果を挙げた。

2) “超”重合法による配列制御高分子の調製

生体を作るタンパク質や核酸などは精密にモノマー配列が制御された高分子であるが、現在の合成技術では調製が困難である。本年度は、このようなモノマー配列制御高分子の合成をワンポットかつワンステップで達成する手法を検討した。例えば、環状酸無水物、エポキシド、ラクトンの3成分をフラスコに入れ、触媒を入れるだけで決まった配列の高分子を与えることに成功した。本研究成果に関する論文1報（*ACS Catalysis*, リバイス中）を Xia 講師と共に現在投稿中である。また、Zhang 教授との共同研究についても現在2報の論文（*Organometallics* と *Bioorganic Chemistry*）を投稿中である。

3) “超”重合法による核酸デリバリー用高分子の調製

近年、遺伝子を医薬品とする核酸医薬が実用化されつつある。しかし、その実用化への大きな課題は狙った組織への選択的な遺伝子の送達である。脂肪族ポリエステル（APE）からなるナノ粒子が肺特異的に蓄積される現象に着想を得て、APE をベースとした肺特異的遺伝子デリバリー用ナノキャリアを開発した。このAPEからなるナノ粒子に mRNA を封入し、マ

ウスに投与する実験を行ったところ、肺特異的に投与遺伝子の発現が確認できた。本研究成果について北海道大学より特許申請（特願 2021-007461）を行い、また、1 報の論文を投稿中（*Materials Horizons*）である。

#### 4) “超” 重合法による刺激応答性プラズモン基材の調製

柔軟な高分子材料により金属ナノ粒子の優れた光機能の制御を可能にする「刺激応答性プラズモン基材」の“超”重合法の開発に取り組んでいる。具体的には、①基板に固定化する高分子を刺激応答性分子にするための“超”重合法と②表面被覆により金ナノ粒子に刺激応答性を賦与する“超”合成法の2つのアプローチで研究を推進した。②の研究については原著論文1報の成果を挙げた（*Nanoscale Advances*）。

### 3. 今後の計画

次年度以降も“超”重合法の確立と他種多様な用途の機能性高分子材料創製への応用に取り組む。1)のテーマにおいて、“超”重合法によりストレッチャブル OLED の開発に成功しており、今後はストレッチャブル有機メモリデバイスなどへの展開を目指す。また、2)のテーマにおいては、さらなる精密なモノマー配列制御重合法の確立を目指す。3)のテーマについては、“超”重合法により、肺以外の臓器へ特異的に遺伝子デリバリーできる新規高分子材料の迅速開発に取り組む。4)のテーマで開発した金ナノ粒子はドラッグデリバリーへの応用が期待できるため、プロジェクト内での共同研究により実用化検討を行う。

### 4. 若手研究者のプロジェクトへの関与の状況、および、若手研究者育成への効果

チームメンバーの若手研究者である磯野、佐藤悠介、三友はそれぞれの得意とする研究テーマを進める一方、若手を中心としてチーム内での緊密な共同研究を実施してきた。その顕著な効果として、例えば、上記3)のテーマに関して磯野と佐藤悠介で学内共同研究予算を獲得したことが挙げられる。この他、磯野が工学研究院の令和2年度若手教員奨励賞を受賞し、また、来年度からアンビシャステニユアテニユアトラック准教授として採用されることが決まった。さらに、佐藤悠介は2021年度日本薬学会奨励賞を受賞し、関連する研究テーマで代表および分担者として競争的資金や大型の産学連携研究経費を獲得している。

### 5. 若手研究者が参画したことによるプロジェクトへの効果

若手間の共同により本プロジェクトが大きく前進した。例えば、上記3)のテーマは磯野と佐藤悠介の専門性を融合することで実現されたものであり、この相乗効果により共同で特許申請および論文投稿に至った。また、磯野と三友の共同研究により4)の共同研究が大きな進展を遂げている。これらの部局間（工学-薬学、工学-理学）の連携を行うにあたり、実験を担当する修士および博士学生を共同で育成する体制が確立された。これにより若手間の共同研究が大きく進捗している。また、バックグラウンドが異なる若手間での意見交換が活発にできるようになり、関係する学生も活発に発言できる環境が形成できた。

## 6. 研究チーム構成

PI：●佐藤 敏文（工学研究院、教授）

中堅・若手研究者：

◎磯野 拓也（工学研究院、助教）、◎佐藤 悠介（薬学研究院、助教）

◎三友 秀之（電子科学研究所、准教授）

海外協力研究者

○Wen-Chang Chen（国立台湾大学、教授・工学院院长、台湾）

○Chi-Ching Kuo（国立台北科技大学、教授、台湾）

○Redouane Borsali（植物高分子研究所 CERMAV-CNRS・グルノーブルアルプス大学、教授、フランス、令和3年度外国人招聘教授）

○Chunhong Zhang（ハルビン工程大学、教授、中国）

○Xiaochao Xia（重慶理工大学、講師、中国、現在、北大客員博士研究員）

## 7. 若手研究者が使用した経費の使途と金額

費目	内訳	金額（概算）（千円）
事業費 （旅費、雑役務費、 消耗品費等）	1) 消耗品（使用者：磯野、佐藤悠介、三友）	2279.640
	2) 修繕費（使用者：三友）	95.920
	3) その他（使用者：三友、磯野）	307.793
設備費	1) Frontier デスクトップパソコン（使用者：磯野）	259.050
	2) 狭帯域U励起バンドパスミラーユニット（使用者：三友）	724.700
	3) キーエンス社 Plan Apochromat 20× (BZ-PA20)（使用者：佐藤悠介）	269.500
	合計	3936.603 千円

## 8. 出版された原著論文数（プロジェクト開始以降）

原著論文19編（うち国際共著論文12編）、総説2編

PIの業績：2020年原著論文26編（うち国際共著論文17編）

2021年原著論文5編（うち国際共著論文5編）

## 9. 著名な学術雑誌への掲載論文が含まれている場合、当該論文の書誌情報

*ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2021, 13, 2932–2943, DOI: 10.1021/acsaami.0c18820.

*Carbohydrate Polymers*, 2021, 255, 117528, DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.117528.

*Chemical Engineering Journal*, 2021, 418, 129421, DOI: 10.1016/j.cej.2021.129421

上記の学術論文はChen教授、Borsali教授、Kuo教授との国際共著論文