

実績報告書（創成特定研究事業）

大学院工学研究院教授 佐藤 敏 文

■プロジェクト研究構想名：

サステナブルプロセスの創成ー現行の石油化学産業からの転換・脱却ー

1. 研究成果

1) “超”重合法によるフレキシブルデバイスの調製（佐藤、磯野、海外連携研究者ら）

伸縮自在かつ可能な限りバイオベースな有機電子デバイスの開発を目指し、フレキシブルな基材となり得るバイオベース高分子の合成を行った。すなわち、植物から入手可能なラクトンモノマーとセルロース誘導体等をブロック共重合体の形で組み合わせた熱可塑性エラストマーを設計・合成した。さらに、セルロース部位の分子特性に基づいて材料物性の制御を達成できることを見出した。本研究成果について3報の学術論文を発表した。また、令和3年度には本学海外招聘教員制度を利用し、本テーマに関連する分野に精通する国立台湾大学（台湾）の Guey-Shen Liou 教授と植物高分子研究所・Université Grenoble Alpes（フランス）の Redouane Borsali 教授を北大に招聘し、研究に関する議論を行った。これに加え、フレキシブルデバイスの構成要素として極めて重要な半導体性カーボンナノチューブの単離精製に向けた検討を進めた。すなわち、超重合法のコンセプトをもとにポリフルオレンを含有するブロック共重合体を系統的に合成し、カーボンナノチューブの可溶化特性を調査したところ、ポリカプロラクトンとポリフルオレンからなる星型ブロック共重合体が半導体性カーボンナノチューブを特に高純度で抽出できることを見出した。本成果について現在論文を準備中の段階にある。

2) “超”重合法による配列制御高分子の調製（佐藤、磯野、Xia ら）

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。本研究では、複数のモノマー混合後物から高度に配列制御された高分子をワンステップ・ワンポットで合成する手法を開発した。特に、エポキシド、オキセタン、環状酸無水物の混合物から非常に多岐にわたる配列を持った高分子を合成することに成功した。本研究成果は論文4報（*J. Am. Chem. Soc.* IF=15 など；国際共著4報）で発表した。そのうち1報の論文について本学から日本語及び英語でプレスリリースを行ったところ、日刊工業新聞や日本経済新聞などを含む多くの国内外メディアに取り上げられた。その結果、特に産業界から大きな反響があり、本重合を活用した機能性材料創出に関するテーマで1社の企業との共同研究を2022年11月から開始した。本産学連携テーマに関し、現在1報の特許申請の準備中である。また、新たに配列制御重合に応用可能なモノマー種としてアジリジンに着目し、ポリ(アミド-エステル)含有コポリマーの合成にも成功した。本成果は1報の論文で既に報告し、さらにもう1報の論文を投稿中の段階にある。

3) “超”重合法による核酸デリバリー用高分子の調製（佐藤悠、磯野）

超重合法のコンセプトをもとに、簡便な重合反応をモノマー、重合開始剤、重合度の3つを変数とした膨大なアミノ化ポリエステルライブラリーの構築へと応用した。これらを一成分とした mRNA 内包脂質ナノ粒子を調製し、マウスを用いた *in vivo* スクリーニングを行うことで肺または脾臓に対して選択的に mRNA を送達できるナノキャリアの開発に成功した。本研究成果について北海道大学より1件の特許申請を行った（特願 2022-076251）。特に肺に対して特異的に mRNA を送達できるナノ粒子は製薬メーカーからの反響が大きく、産学連携推進本部の協力を得て、いくつかの国内外製薬メーカーとオプション契約などを締結した。

また、超重合法のコンセプトによりアミノ化ポリエーテルライブラリを構築した。それらを構成要素として用いた脂質ナノ粒子を調製し、mRNA 送達への応用も行った。100 種類を超える膨大なサンプルについて検討を行った結果、ポリエーテル主鎖の立体規則性及び末端のステロイド構造が mRNA 送達性能に影響を与えるという興味深い結果を得た。本成果について 1 報の論文を *Advanced Functional Materials* (IF = 19.0) に発表した。

4) “超”重合法による刺激応答性プラズモン基材の調製（三友、磯野）

高分子と金ナノ粒子の複合化による「刺激応答性プラズモン基材」の“超”合成法として、新たに刺激応答性プラズモニックナノ粒子の開発を行った。また、これまでに開発してきた合成高分子電解質ブラシの改良により、実際にこのプラズモン基材が溶媒の極性やイオン強度に基づいた刺激応答性を示すことを確認した。これにより、簡便な合成操作で多様な機能性を自在に付与できる刺激応答性プラズモン基材を構築する基盤技術を確立することができた。本研究成果は *Adv. Mater. Interfaces* (Front Cover に採択) に報告した。また、粒子に温度応答性を賦与することで、基板上に自己組織化で並べたロッド状金ナノ粒子の配向を維持したまま温度に応答した集合・脱集合を可能にし、新奇なプラズモン制御システムの創製にも成功した。本研究成果は、現在 1 報の論文を投稿中である。

2. 若手研究者のプロジェクトへの関与の状況、若手研究者育成への効果及び参画によるプロジェクトへの効果

若手研究者として、電子科学研究所の三友准教授、工学研究院の磯野准教授（アンビシャステニユアトラック准教授）及び Xia 博士研究員（2022 年 7 月で退職し、現在米国で勤務中）、生命科学院（薬学系）の佐藤助教が従来から参画しているほか、令和 4 年度からは工学研究院の Li 助教が本プロジェクトに新たに加わった。若手研究者の参画によるプロジェクトへの最大の効果として、複数のテーマの大きな前進があげられる。例えば、磯野と佐藤悠介の専門性を融合することで肺特異的遺伝子デリバリーキャリアの開発に成功し、薬-工連携で特許出願や論文投稿、さらには研究費（科研費挑戦的研究（萌芽）及び寿原記念財団研究助成）の獲得を行った。この研究成果について国内外の製薬メーカーから大きな反響があり、オプション契約などを進めている。また、磯野・Li と三友の共同研究により、合成高分子ブラシに基づいた刺激応答性プラズモン基材の開発に関して大きな進展を遂げている。これらの部局間（工学-薬学、工学-電子研）の連携を行うにあたり、実験を担当する学生を共同で育成する体制が確立されている。このような研究体制は若手間の共同研究を大きく進めるキーとなっている。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、関係する学生も積極的に議論に参加できる環境が形成できた。その成果として、それぞれの連携研究に携わった大学院生の学位取得や学会発表での受賞など、学生の育成にも極めて大きな効果を挙げている。

3. 業績（プロジェクト開始以降）

（1）研究構想に記載した論文等に係る目標値の達成状況

◆原著論文の数：33 報（R4 年度） 33 報（R5 年度）

※目標値＝年間 25 報 →目標達成

◆原著論文の国際共著比率：20/33＝61%（R4 年度） 18/33＝55%（R5 年度）

※目標値＝50% →目標達成

【参考】プロジェクト開始以降出版された査読付き原著論文数 119 編（うち国際共著論文数 58 編）

（2）特許申請・取得状況

特願 2022-121626、特願 2022-115015、特願 2022-115017、特願 2022-061002、PCT/JP2023/003844、112104164（台湾）、PCT/JP2022/020849、特願 2022-076251、特願 2023-014747、特願 2022-186472、特願 2022-186471、PCT/JP2023/020375、PCT/JP2023/020385、特願 2023-090454、特願 2023-

(3) 外部資金獲得状況 (代表的なもののみ記載)

1. 佐藤敏文 (主たる共同研究者) 「高分子弾性のホモロジー的トポロジー理論の構築と環状混合デバイス」、JST-CREST (トポロジー) 出口チーム、2019 年 10 月～2025 年 3 月、1180 万円/年
2. 佐藤敏文 (分担) 「金沢大学 COI-NEXT: 再生可能多糖類植物由来プラスチックによる資源循環社会共創拠点 共同研究「課題 3: セルロース樹脂リデザイン及び課題 4: 多糖類バイオプラスチック複合材」、2021 年 10 月～2030 年 3 月、830 万円/年
3. 三友 秀之 (代表) 「新奇ナノポアデバイスの創製に向けた金ナノ構造の精密制御技術の構築」、日本学術振興会 科学研究費助成事業 基盤研究 B、2021 年 4 月～2024 年 3 月 (直接経費 1370 万円)
4. 三友 秀之 (代表) 「光刺激に応答して基板上で集合状態が変わる金ナノロッドアレイの創製」、日本学術振興会 科学研究費助成事業 学術変革領域(A) 公募研究、2021 年 4 月～2023 年 3 月 (直接経費 800 万円)
5. 三友 秀之 (代表) 「金ナノ粒子の表面デザインを駆使したプロテインコロナの光制御法の開発」、日本学術振興会 科学研究費助成事業 挑戦的研究 (萌芽)、2022 年 4 月～2025 年 3 月 (直接経費 500 万円)
6. 佐藤悠介 (代表) 「全身投与型 Cas9 RNP 搭載脂質ナノ粒子製剤による脳でのゲノム編集」、日本学術振興会 科学研究費助成事業 基盤研究(B)、2023 年 4 月-2026 年 3 月 (期間全体 1420 万円)
7. 佐藤悠介 (代表) 「in vivo 好中球エンジニアリングを可能とする核酸搭載脂質ナノ粒子」、日本学術振興会 科学研究費助成事業 挑戦的研究 (萌芽)、2023 年 4 月-2025 年 3 月 (期間全体 500 万円)
8. 佐藤悠介 (代表) 「ゲノム編集因子搭載脂質ナノ粒子製剤による血友病モデルマウスの作出と治療の実証」、公益財団法人持田記念医学薬学振興財団 2022 年度持田記念研究助成、2022 年 11 月～2023 年 10 月 (期間全体 300 万円)
9. 佐藤悠介 (分担) 「LNP とスマートポリマーが創るコアシェル構造を有する活性型 mRNA 送達システム」、日本学術振興会 科学研究費助成事業 基盤研究(S)、2023 年 4 月～2028 年 3 月 (期間全体 3136 万円)
10. 佐藤悠介 (分担) 「難治性肝疾患に対する画期的な小児ゲノム編集治療の創出」、日本医療研究開発機構 再生・細胞医療・遺伝子治療 研究開発課題 (非臨床)、2023 年 6 月～2028 年 3 月 (期間全体 3500 万円)
11. 佐藤悠介 (分担) 「CRISPR-Cas3 mRNA-LNP モダリティによる安全な in vivo ゲノム編集治療基盤の構築」、日本医療研究開発機構 再生・細胞医療・遺伝子治療 研究開発課題 (非臨床)、2023 年 6 月～2028 年 3 月 (期間全体 5000 万円)
12. 佐藤悠介 (分担) 「新規ゲノム編集技術とナノ DDS 探索によるダウン症候群の知的発達障害に対する遺伝子治療法の開発」、日本医療研究開発機構 再生医療実現拠点ネットワークプログラム、2022 年 7 月～2025 年 3 月 (期間全体 1500 万円)
13. 磯野拓也 (代表) 科学研究費補助金 基盤研究(B)、令和 2～4 年度、「超精密・超微細ナノ加工を指向した単分散ブロックポリマーの創製」、(期間全体 1400 万円)
14. 磯野拓也 (代表) 第 33 回 2021 年度 公益財団法人江野科学振興財団 研究助成、令和 4 年 4 月～令和 5 年 3 月、代表、「環状トポロジー高分子からなる (擬) ロタキサン構造に着目した高分子材料強化」、(期間全体 200 万円)
15. 磯野拓也 (代表) 科学研究費補助金 国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化 (B))、令和 3～6 年度、代表「糖鎖導入を鍵とする高機能バイオベース高分子材料の開発」、(期間全体 1470 万円)
16. 磯野拓也 (代表) 公益財団法人 寿原記念財団、令和 4 年 4 月 ～ 令和 5 年 3 月、「カチオン性 脂肪族ポリエステル ライブラリーの迅速構築に基づく肺選択 的遺伝子送達ナノキャリアの探索」、(期間全体 150 万円)

17. 磯野拓也（代表）科学研究費補助金 挑戦的研究（萌芽）、令和 4～5 年度、「組織選択的に核酸送達可能な高分子－脂質ハイブリッドナノ粒子の戦略的創出」、（期間全体 500 万円）
18. 磯野拓也（代表）第 37 回 東京応化科学技術振興財団 研究費助成、令和 5 年 4 月～令和 6 年 3 月、代表、「エントロピー駆動型の高分子ロタキサン形成を基盤とした新規材料創出」（期間全体 130 万円）
19. 磯野拓也（代表）JST さきがけ、令和 5 年 10 月～令和 9 年 3 月、「多糖の分解と再構成による資源循環型オリゴ糖ベース材料の創出」（期間全体 4000 万円）
20. 磯野拓也（代表）住友財団基礎科学研究助成、令和 5 年 11 月～令和 6 年 11 月「巨大環状成分からなるロタキサンの構築と機能開拓」（期間全体 100 万円）
21. 磯野拓也（代表）JST 次世代のための ASPIRE、令和 6 年 2 月～令和 9 年 3 月、「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イナブル材料の国際共同開発」（期間全体 6900 万円）
22. Li Feng（代表）2023 年度 公益財団法人藤森科学技術振興財団 研究助成、令和 5 年 4 月～令和 6 年 3 月、「植物原料由来の資源循環型光学活性ポリアセタール材料の合成」、（期間全体 100 万円）
23. Li Feng（代表）第 10 回 公益財団法人ヒロセ財団 研究助成、令和 5 年 12 月～令和 8 年 3 月、「脱炭素を志向とするポリマー材料の合成開発——植物資源の有効利用と二酸化炭素分離膜への応用」、（期間全体 200 万円）

（４）その他特筆すべき業績

- 1) 佐藤教授：令和 6 年度に基盤研究(A)（一般）「迅速分解性評価とデータ駆動型解析の融合による環境低負荷な海洋生分解性高分子の創製」を獲得（3 年・3740 万円）。
- 2) 磯野准教授：令和 5 年度に 2 件の大型予算を獲得（令和 5 年 10 月から JST さきがけ（3.5 年・4000 万円）、令和 6 年 2 月から JST 次世代のための ASPIRE に採択（3 年・6900 万円））
- 3) 三友准教授：2022 年 8 月より国立陽明交通大学（台湾）の客員准教授に就任（～2025 年 7 月まで）、2023 年 9 月より東北大学多元物質科学研究所の准教授（クロスアポイントメント）に着任（～2024 年 3 月まで）
- 4) 佐藤助教：令和 4 年度教育研究総長表彰（2023 年 2 月）及び日本ゲノム編集学会第 7 回大会 ポスター賞（2022 年 6 月）の受賞
- 5) 学生の受賞
 1. ナノ学会第 20 回大会 若手優秀ポスター発表賞：○関澤祐侑、三友秀之、与那嶺雄介、磯野拓也、田島健次、佐藤敏文、居城邦治「合成高分子ブラシの構造変化を利用した金ナノロッドの配向変化」
 2. 日本化学会第 103 春季年会 (2023) 学生講演賞：○Jingyan Yang, Hideyuki Mitomo, Yu Sekizawa, Yusuke Yonamine, Kuniharu Ijio 「Thermo-responsive Gold nanorods reversibly assemble flexible control with uniform orientation using DNA brushes」
 3. APNFO14 (The 14th Asia-Pacific Conference on Near-field Optics) BEST poster award：○Han Lin, Hideyuki Mitomo, Yusuke Yonamine, Zhiyong Guo, Kuniharu Ijio 「Discrete chiral gold nanorods with tunable chiroptical activities by pH and electric potential dual modulation」
 4. 日本化学会第 104 春季年会 (2024) 学生講演賞：○Tianxu Gao, Hideyuki Mitomo, Xu Shi, Yusuke Yonamine, Kuniharu Ijio 「Ultra-sensitive SERS at Single-Protein Level via a New Delivery Technique for Analytes into Hotspots」
 5. 日本核酸医薬学会第 8 回年会 川原賞：○鈴木裕一、佐藤悠介、原島秀吉「新規脂質を

用いた脾臓標的 mRNA 送達システムの開発」

6. 第 71 回高分子学会年次大会 優秀ポスター賞：○西村大輝、田島健次、磯野拓也、佐藤敏文「糖鎖-無機単分散ブロック共重合体の合成と自己組織化」
7. 第 71 回高分子学会年次大会 優秀ポスター賞：○曾我明日香、江部 陽、藤原魁佑、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文「多環状ポリジメチルシロキサンシリコーンゴムへのトポロジカルトラッピング」
8. 第 71 回高分子学会年次大会 優秀ポスター賞：○海老井大和、間藤芳允、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文「ロタキサン架橋を含むポリブチルアクリレートネットワークの合成と力学特性」
9. 日本化学会北海道支部 2022 年度夏季研究発表会 優秀講演賞：○西村大輝、田島健次、佐藤敏文、磯野拓也「無機高分子とオリゴ糖からなる単分散ブロック共重合体の合成と自己組織化」
10. 日本化学会北海道支部 2022 年度夏季研究発表会 優秀講演賞：○徐ハニョン、間藤芳允、Brian J. Ree、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文「任意の環状ユニット数からなる多環状ポリカプロラク톤の合成と物性評価」
11. 日本化学会北海道支部 2022 年度夏季研究発表会 優秀講演賞：○馬場江麻・堺榮那月・松山奈未・大崎流奈・小林三郎・橋本久穂・磯野拓也・佐藤敏文「糖ジオール由来芳香族ポリエステル系の系統的な合成と熱物性評価」
12. 2022 年度北海道高分子若手研究会 優秀ポスター賞：○馬場江麻、堺榮那月、橋本久穂、磯野拓也、佐藤敏文「糖ジオール由来芳香族ポリエステルの系統的な合成およびキラル材料としての評価」
13. 第 71 回高分子討論会 優秀ポスター賞：○水上湧太、Mahmoud M. Abd Elwakil、佐藤悠介、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、原島秀吉、佐藤敏文「アミノ化ポリ(ϵ -カプロラク톤)誘導体をベースとした脂質ナノ粒子による肺・脾臓選択的 mRNA デリバリー」
14. 第 12 回 CSJ 化学フェスタ 優秀ポスター発表賞：○海老井 大和、Li Feng、磯野 拓也、山本 拓矢、田島 健次、佐藤 敏文「ポリスチレンとポリラクチドの大環状ユニットからなる多環状コポリマーの合成」
15. 第 33 回エラストマー討論会 若手優秀発表賞：○江部陽、曾我明日香、Feng Li、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文「シリコーンネットワーク中における多環状ポリジメチルシロキサンのロタキサン形成能評価」
16. 第 57 回高分子学会北海道支部研究発表会 優秀講演賞：○海老井 大和、間藤芳允、Li Feng、磯野 拓也、山本 拓矢、田島 健次、佐藤 敏文「多環状ポリスチレンの系統的合成と物性評価」
17. 第 57 回高分子学会北海道支部研究発表会 優秀ポスター賞：○西村大輝、Hsin-Lung Chen、Li Feng、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文、磯野拓也「かご型シルセスキオキサンとオリゴ糖からなる単分散ブロック共重合体」
18. 化学系学協会北海道支部 2023 年冬季研究発表会 最優秀講演賞：○芦谷万葉、Mei-Nung

- Chen, Yu-Cheng Chiu, Li Feng、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文、磯野拓也「ポリフルオレン含有特殊構造ブロック共重合体の合成とカーボンナノチューブ可溶化剤としての応用」
19. 第 71 回高分子学会年次大会 優秀ポスター賞：○布川亮介、西村大輝、海老井大和、Li Feng、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文、磯野拓也「オリゴ糖とポリデカノラクトンからなるボトルブラシ型ブロック共重合体の合成とマイクロ相分離」
 20. 第 71 回高分子学会年次大会 優秀ポスター賞：○飯塚冬威、鈴木和重、宮城賢、太宰尚宏、Li Feng、磯野拓也、佐藤敏文「非対称ポリスチレン-*b*-ポリメタクリル酸メチル-*b*-ポリスチレンの合成とマイクロ相分離挙動」
 21. The 13th SPSJ International Polymer Conference (IPC2023) Poster Award (Polymer Journal Award)：○Tianle Gao, Xiaochao Xia, Feng Li, Takuya Isono, Toshifumi Satoh「Switchable Polymerization: from Complex Monomer Mixtures to Poly(ester amide)-based block copolymers」
 22. 2023 年度北海道高分子若手研究会 優秀ポスター賞：○水上湧太、寛祐人、Li Feng、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文「分解・回収可能なバイオマス資源由来ポリアセタールの合成」
 23. 2023 年度北海道高分子若手研究会 優秀ポスター賞：○江部 陽、曾我明日香、Feng Li、山本拓矢、田島健次、磯野拓也、佐藤敏文「多環状ポリジメチルシロキサンの特ポロジカルトラッピングによるロタキサン形成」
 24. 日本化学会北海道支部 2023 年夏季研究発表会 優秀講演賞：○太田伊代香、鈴木涼太、Gao Tianle, Xia Xiaochao, Li Feng、磯野拓也、佐藤敏文「オキセタンと環状酸無水物の開環交互共重合系の確立とセルフスイッチ重合への応用」
 25. 第 13 回 CSJ 化学フェスタ 優秀ポスター賞：○馬場江麻、Feng Li、山本拓矢、佐藤敏文、磯野拓也「アダマンタン修飾ポリスチレン-*block*-ポリメタクリル酸メチルの合成とマイクロ相分離構造」
 26. 化学系学協会北海道支部 2024 年冬季研究発表会 優秀講演賞：○水上 湧太、寛 祐人、Li Feng、磯野 拓也、山本 拓矢、田島 健次、佐藤 敏文「セルロース由来原料を用いたケミカルリサイクル可能な非天然型多糖類の合成」
 27. 2023 年度北海道高分子若手研究会 優秀ポスター賞：○辻 悠希、山本 拓矢、Li Feng、田島 健次、磯野 拓也、佐藤 敏文「ボールミルを用いたセロオリゴ糖の還元末端修飾」
 28. 2023 年度北海道高分子若手研究会 優秀講演賞：○曾我明日香、Li Feng、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文「ポリジメチルシロキサンからなる多環状ポリマーブラシの構築」

6) 報道など

1. 2022 年 10 月 5 日 日刊工業新聞「北大など 1 工程で精密重合」(※*J. Am. Chem. Soc.*, **144**, 39, 17905–17915 (2022))の論文に関する記事は他に日本経済新聞電子版、日経クロステック(xTECH)電子版、Chem-Station など国内外の多くのメディアで取り上げられた)
2. 2022 年 11 月 21 日 日刊工業新聞 (20 面)「生体内細胞に mRNA 北大・日東電工 分

岐脂質を開発」

3. 2023 年 3 月 23 日 NHK 総合「ほっとニュース北海道」“北大の研究グループ 「ゲノム編集」の新たな手法開発と発表”
4. 2023 年 3 月 23 日 NHK 北海道 NEWS WEB : <https://www3.nhk.or.jp/sapporo-news/20230323/7000056164.html>
5. 2023 年 10 月 15 日 Chem-Station「マクロロタキサン～巨大なリングでロタキサンを作る～」(※ *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, **62**, e202304493 の論文に関する記事は他に日刊ケミカルニュースなどで取り上げられた)
6. 2024 年 3 月 1 日 日刊工業新聞「北大、セルロース熱分解物の重合・解重合反応開発 ケミカルリサイクル可能に」(※ *ACS Macro Letters*, 2024, **13**, 252-259 の論文に関する記事は他に日経バイオテック、Yahoo Finance、Phys. Org など国内外の多くのメディアで取り上げられた)

サステナブルプロセスの創成 ー 現行の石油化学産業からの転換・脱却 ー

1) “超”重合法によるフレキシブルデバイスの調製：フレキシブルな基材となり得るバイオベース高分子を開発。また、半導体性カーボンナノチューブの新規抽出剤を開発。

3) “超”重合法による核酸デリバリー用高分子の調製：モノマー、重合開始剤、重合度の3つを変数とした膨大なアミノ化ポリエステルやアミノ化ポリエーテルのライブラリーの構築。肺または脾臓に対して選択的にmRNAを送達できるナノキャリアを開発。

2) “超”重合法による配列制御高分子の調製：複数のモノマー混合後物から高度に配列制御された高分子をワンステップ・ワンポットで合成する手法を開発。

4) “超”重合法による刺激応答性プラズモン基材の調製：高分子と金ナノ粒子の複合化による「刺激応答性プラズモン基材」の“超”合成法として、表面開始原子移動ラジカル重合による合成高分子電解質ブラシを開発。

代表論文

1. Xia, X., Gao, T., Li, F., Suzuki, R., Isono, T., Satoh, T. Multi-dimensional control of repeating unit/sequence/topology for one-step synthesis of block polymers from monomer mixtures, *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 17905–17915
2. Abd Elwakil, M. M.; Suzuki, R.; Khalifa, A. M.; Elshami, R. M.; Isono, T.;* Elewa, Y. H. A.; Sato, Y.; Nakamura, T.; Satoh, T.; Harashima, H. “Harnessing Topology and Stereochemistry of Glycidylamine-Derived Lipid Nanoparticles for in vivo mRNA Delivery to Immune Cells in Spleen and their Application for Cancer Vaccination” *Adv. Funct. Mater.* **2023**, *33*, 2303795.
3. Yu Sekizawa, Yuka Hasegawa, Hideyuki Mitomo, Chisato Toyokawa, Yusuke Yonamine, Kuniharu Ijiro “Dynamic Orientation Control of Gold Nanorods in Polymer Brushes by Their Thickness Changes for Plasmon Switching” *Advanced Materials Interfaces* **2024**, *11*, 2301066.

論文発表数（2年間合計）

原著論文：66報（年間目標の25報を達成）、原著論文の国際共著比率：58%（目標50%を達成）

特許（2年間合計）

申請：18件