

科研費
KAKENHI

学術変革領域研究(A)

Molecular Cybernetics Newsletter

分子サイバネティクス ニュースレター

第17号
vol.17

2025.03

進化する分子サイバネティクス研究
研究の足跡とこれからの航路
研究プロジェクトの歩み
新プロジェクト始動中
国際シンポジウム告知



Molecular
Cybernetics

進化する分子サイバネティクス研究

領域代表 村田 智 東北大学大学院工学研究科ロボティクス専攻

季刊で発行してまいりました分子サイバネティクスニュースレターも今回の第17号で最終号となりました。これまでご愛読いただいたみなさまに心より御礼申し上げますとともに、寄稿して下さった領域関係者の皆様、編集・発行の中荻先生にも改めて御礼申し上げます。

このプロジェクトが始まったのは4年半前ですが、今思えばその間に本当にいろいろな事があり、隔世の感に堪えません。発足当時はまだコロナ禍の真っ最中で、ミーティングはすべてオンラインでした。頻繁にミーティングができたのはよいのですが、何か物足りなかったのも事実。その後、社会活動が次第にもどってきて、今ではコロナ禍などなかったかのように自由な研究活動ができるようになりました。

本領域は、計画研究メンバー17名、第1期公募研究者25名、第2期公募研究者25名（うち15名は第1期から継続）で、総勢52名の研究者が参画しています。これまでの主な研究成果については、本ニュースレターを通して、出版されたばかりの論文の解説やトピックなどの形で紹介させていただきました。リレーエッセイでは、毎回一人の研究者にご登場いただき、普段知ることのできないものの考え方や生活のあれこれなどなど披露していただきました。また、ニュースレターの別冊では、作家の藤崎慎吾さん（本領域ジャーナリスト・イン・レジデンス）にSF短編集「30年後のナノワールド物語」をご執筆いただき、分子サイバネティクスの未来イメージを共有していただきました。

本領域には関連行事が数多くあり、その状況についてもこのニュースレターで随時報告させていただきました。主催行事としては、分子サイバネティクス領域キックオフシンポジウム、領域会議、分子サイバネティクス国際ワークショップなどがあり、共催行事としては、発動分子科学領域、超越分子システム領域など他の領域と合同で開催したワークショップやDNA Computing and Molecular Programming 国際会議（2023年、仙台）などがあります。昨年4月からは、ほぼ毎月、ラボビジットと称しまして、岡山大学、九州工業大学、九州大学、三重大学、北陸先端科学技術大学院大学、北海道大学、群馬大学、東北大学、国立がんセンターにある領域メンバーのラボを見学し、あわせて分子サイバネティクス研究会（その後の懇親会がメイン？）を行いました。

プロジェクトの前半、コロナで思うように交流できなかった分、後半では研究者同士が対面で交流する機会をたくさん設けたことで、本領域や周辺領域の研究コミュニティの基盤強化に役に立ったのではないかと思います。このほか、リポソーム作製技術やDNAオリガミ設計のブートキャンプ（講習会）や、学生・初学者向けのオンライン講習会「分子ロボティクス夏の学校」、学部生向けの国際分子デザインコンペティション（BIOMOD）などを主催・後援し、分子サイバネティクスのすそ野を広げる活動を展開してまいりました。領域の若手メンバーにはBIOMODの出場経験者や、夏の学校の修了生もおり、こうした活動の意義は大きいと考えています。これらは、領域終了後も継続してまいります。

分子サイバネティクス領域としての公式行事はこのあと2025年6月に予定している国際ワークショップだけとなりますが、分子サイバネティクスの研究はまだ道半ばです。新学術領域分子ロボティクスで提案した「分子ロボットの進化シナリオ」（2012年）では、単分子ロボット（第0世代）、アメーバ型単細胞分子ロボット（第1世代）、スライム型分子ロボット（第2世代）、多細胞分子ロボット（第3世代）を経て、ハイブリッド分子ロボット（第4世代）に進化するというビジョンが示されています。分子ロボティクスで第1、第2世代の技術を確認し、今回の分子サイバネティクス領域では、主に第3世代の分子ロボットの研究開発に取り組んだこととなります。もちろん、これまでの研究が、必ずしもこのシナリオに沿うものばかりではないわけですが、振り返ってみて、大きな流れとしてはおおむねこの通りになっているのではないかと思います。残るは第4世代、ハイブリッド型分子ロボットです。そこでは、分子技術と電子技術の融合、分子ロボットへのさまざまな機能の組み込み、水溶液環境からの脱出（上陸）などが想定されています。昨今のタンパク質デザインのブレイクスルーなどもあり、こうした「分子を設計して、ボトムアップにシステム化する方法論」の研究は今後ますますその重要性を増していくことは間違いありません。

分子ロボットの進化はこれからも続きます。これまで分子ロボティクス・分子サイバネティクス領域を中心にして形成された研究者のコミュニティも進化を続け、さらなる高みを目指したいと思います。今後とも、みなさまからのご支援、ご鞭撻をお願い申し上げます。



第4回分子サイバネティクス領域会議（2024年11月29 - 30日、北九州国際会議場）

豊田 太郎 (東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻)

計画班の A01 統合班として、大きく 2 つの研究課題を遂行しました。1 つは、細胞サイズのリポソームの一斉配列技術の確立です。圧力制御ポンプと精緻に加工したマイクロ流体デバイスによって、百個程度の細胞サイズのリポソームを一斉に配列したり再配列したりできるプロトコルを開発しました。これにより、リポソームで構成される SPA ユニットのよう、リポソーム間での DNA 反応のダイナミクスやリポソーム形態変化を顕微鏡下で統計的に評価できるようになりました。もう 1 つは、IoT 技術を活用して、上記の操作観測実験を遠隔操作可能とするプラットフォームを構築しました。この遠隔操作プラットフォームとオンライン会議システムを使うことで、場所に制約されずに、研究者どうしの共同研究だけでなく、企業や一般の方との協創的研究をシームレスに展開する基盤体制を提供できるようになりました。

本プロジェクトで得られた成果には、細胞モデルであるリポソーム間の通信と連携の可視化、そして、研究者や企業・一般の間の通信と連携のシームレス化という特徴があります。今後は、今回の成果をもとに、細胞モデルとしてリポソームそのものを用いた薬剤スクリーニングプラットフォームの確立、SPA ユニットなどリポソームを連結した多細胞モデルの構築、リポソームと細胞との通信や連携を可視化して細胞レベルの化学サイボーグ(細胞などの生命体と人工細胞との融合体)の開発を目指します。

東 俊一 (京都大学 大学院情報学研究科)

本プロジェクトでは、古典的条件付けを模擬する化学的な素子の開発をマイルストーンのひとつとしていました。そのような素子が実現されると、それをネットワーク状に結合することで種々の情報処理システムを実現することが可能となります。一方、そのようなネットワークの条件付け(それを学習と呼ぶ)の方法は知られてはいませんでした。そこで、本研究では、古典的条件付けを模擬する分子素子のネットワークの学習方法を開発しました。本成果は、古典的条件付けを模擬する素子に基づいてミニマル人工脳を実現するための主要な成果となります。

本プロジェクトで得られた成果は、パブロフの犬の実験で示された古典的条件付けを想定しました。これは、2つのブール関数「論理和」と「射影」に対する切り替え系としてモデル化されます。一方、「論理和と射影」以外のブール関数に対しても古典的条件付けを考えることができます。今後は、そのような視点から成果の一般化を目指します。また、化学的な実証を目指します。

儀川 悌次郎 (兵庫県立大学大学院 工学研究科 電子情報工学専攻)

本プロジェクトでは、分子規模の情報処理機構を実現する一つの方法として、分子ロボット群による計算モデルを提案しました。これは自由運動をするロボット群によりブラウン回路素子という非同期回路の動作を模擬することにより計算を行うというシステムとなっています。本成果は機械的な相互作用に基づく計算手法において新たな方向性を与えるものと考えられます。本プロジェクトを行うにあたり、実分子を対象とした実験を行っている先生方から様々なアドバイスや示唆を頂くことができ、理論系の研究者からは得られないフィードバックが得られました。

本プロジェクトで得られた成果を基にして、今後はさらに実分子系で動作する情報処理システムの構築を目指していきます。今回構成したシステムは、計算万能性を有するシステムの実現という点に限られたものでありますが、ニューラルネットワークのような脳情報処理を行うシステムや数値計画問題などの実問題を解くことができるシステム、またパターン形成などの別の種類の情報処理を行うことができるようなシステム設計を行っていきたいと考えております。さらに実分子系の動作から情報処理機構を創り出してゆくようなアプローチを用いた研究も展開したいと考えております。

浜田 省吾 (東京科学大学 情報理工学院 情報工学系)

本研究では、実験機器のIoT化・半自動化を通じ、遠隔地からでも操作可能なマイクロ流路内SPAユニット配列化プラットフォームにおける基盤部分を構築し、東北大学でのインテグレーション拠点の形成に寄与した。異動後は東京科学大でサブ拠点を設置し、実験設備の整備を行うとともに、リポソーム内などを含む、さまざまな環境下で活用しうる「RCA反応で成長するDNAゲル」に関する基礎的なデータ蓄積と新たな応用の両面で成果を得た。また、教育面や今後に向けた展開に関しても、国際生体分子デザインコンペティション (BIOMOD) の国際大会再開、および本大会と今後の分子サイバネ各拠点運営を担う「生体分子デザイン研究所」をCBI研究機構内に設置するに至った。

本プロジェクトで得られた成果の中でも、特にRCA反応によるDNAゲルや、それを基盤としたスライム型分子ロボットの展開には、多様な応用が期待される。本研究を通じて、材料・医療・環境・農業など、多くの分野における社会実装につながる基盤的な知見が得られている。さらに、領域内外の共同研究を通じて蓄積されたこれらの知見は、分子サイバネティクスおよび関連分野における汎用技術として広く活用されることが期待される。今後も研究を発展させ、実用化に向けた展開を進める計画である。また、新たに設立した生体分子デザイン研究所の活動を通じて、産学連携や社会実装に向けたコミュニティの支援を本格的に推進していく。

野村 M. 慎一郎 (東北大学大学院 工学研究科ロボティクス専攻)

B01 班の野村 G では、ssDNA の配列情報を人工細胞 GUV の膜を介して伝える新しい分子デバイス (通称「茶柱」) を構築しました。特定の配列を有する DNA のみを膜透過させる機構はユニークなもので、「分子サイバネティクス」ならではの新技术と自負しております。その確率には核酸、そしてペプチド合成拠点による協力が欠かせませんでした。デモンストレーションとして、茶柱での入力、GUV に内包させた (C01 班の小宮らの開発した) 酵素反応を含む DNA 等温増幅回路を起動することに成功しています。さらに現在、C01 班代表の中荻らと共同で GUV 内の Entropy Driven DNA 増幅回路の起動にも成功し、GUV 内の記憶学習回路の起動に挑戦中です。この成果はボトムアップな人工細胞の構築と、人工細胞間通信、さらに環境との通信を用いた多彩な実空間応用へと可能性を大きく広げるものと確信しています。

この膜透過機構の長所として、分子がシンプルであるため業者に修飾オリゴ DNA として発注すれば手に入る点、取り扱いが容易 (アニーリングや前処理がほぼ不要) である点が挙げられます。現在、この核酸の膜透過機構をさらに追求することで、膜を介した GUV への分子ポンプ現象を見出し、研究を続けています。「茶柱」を含む本プロジェクト全体で確立した人工細胞間での分子情報処理技術を基盤に、多彩な分子に晒される実空間での利用を目指した基礎研究の展開が期待されます。

村山 恵司 (名古屋大学大学院 工学研究科)

本プロジェクトの中で新たに開発した膜貫通型人工核酸は、プロジェクトを完遂するために必要な分子デバイス候補の一つであるだけでなく、新たな分子マシンや核酸医薬分野への応用が期待されます。更に、この人工核酸の合成過程において確立した技術を利用することで、人工核酸の擬似的な翻訳反応など、様々な応用展開も進めており、今後、関連技術をさらに発展させていきたいと考えています。また、今回のプロジェクトでは普段接点のない異分野の研究者の皆様と関係を築くことができ非常に有意義でした。核酸合成拠点も皆様にご利用いただき、共同研究として成果報告させていただけたこと、大変ありがたく思います。

私はこれまで、主に核酸化学・生物有機化学を中心とした研究に注力してきましたが、本プロジェクトでは、これまで扱ったことのないリポソームを使用した研究に取り組むことになりました。領域の皆様にはアドバイスをいただきながら、何とかリポソームを安定的に調製できるようになり、それを利用することで膜貫通型人工核酸の機能評価を実現できました。このような分野を超えたコミュニケーションからも多くのことを学ぶことができました。この貴重な体験と得られた研究成果、本プロジェクトで構築することができたネットワークを活かし、更に発展的な研究を進めていきたいと考えています。

佐藤 佑介 (九州工業大学大学院 情報工学研究院 知的システム工学研究系)

計画班として参画する中で、これまで交流のなかった研究者と知り合い議論を交わす機会を得たことは貴重な経験となった。領域という共通の目標があることで、分野が異なっても共通認識を見出し、研究について議論できたことは大きな財産である。また、新たな技術を学び、これまで扱ったことのない材料に触れる機会を得たことも重要な成果である。特に、化学合成の技術を多少なり自身の研究に取り入れることができた点は、今後の発展につながると考えている。

本領域の研究活動を通じて、異動および昇進の機会を得ることができた。この経験は、本領域に参画したことが大きく寄与していると感じる。また、上述のように新しい技術を学び、未知の材料を扱う機会を得たことは、研究の視野を広げる上で重要であった。本領域としての活動は終了するが、これまでに築いた研究者とのつながりや新たに得た技術・知見を魅力的な研究へと発展させ、日本のアカデミアを盛り上げていきたい。

松浦 和則 (鳥取大学 学術研究院 工学系部門)

本プロジェクトでは、ライジングスター学生の梁 応冰君とともに、光に応答してジャイアントリポソームを可逆的かつ劇的に変形するペプチドナノファイバーシステムを開拓しました (*Front. Mol. Biosci.*, **2023**, *10*, 1137885 に発表済み)。フォトクロミック色素であるスピロピラン (SP) / メロシアニン (MC) を修飾した β -sheet 形成ペプチドを合成し、SP 修飾ペプチドは β -シート構造によるナノファイバーを形成するのに対し、MC 体に光異性化するとランダムコイル構造となり、ナノファイバーが解離することを見出しました。この MC 修飾ペプチドを POPC 脂質からなる GUV 内に内包し、SP 体に光異性化すると、興味深いことに、GUV 内のナノファイバー形成により、球状 GUV からワーム状ベシクルへの可逆的かつ Dramatic な変形が観察されました。さらに、このシステムを相分離 GUV に搭載することで、天然のアメーバのように、相分離 GUV の無秩序液体相での局所的な変形を光で誘起することにも成功しました (論文作成中)。

本プロジェクトで得られた成果を基に、今後は、DNA などの情報分子を GUV 外部から入力し、それに応答して相分離 GUV の局所変形が誘起されるような、より高度な分子システムの構築にチャレンジします。また、アクチン繊維や微小管などの細胞骨格と相互作用する光応答性 Dramatic ペプチドナノファイバー創製、細胞骨格を光制御するなどして細胞をもてあそんでみたいと思います！

中 荃 隆 (九州工業大学 大学院情報工学研究院 知的システム工学研究系)

分子サイバネティクスの学術的な問いは、記憶や学習を分子反応系という OS 上で、どのように実現するかという命題であった。プロジェクトでは、マイルストーンとして条件反射を獲得する DNA 回路の開発を目標としたが、5 年間の研究成果として、理論的な枠組みを確立し、実験的な検証を概ね達成することができた。特に、記憶を司るコア回路として、汎用性が高い記憶モジュールを開発し、特許出願まで到達することができた。

この 5 年間、研究者として大変恵まれた条件で研究に集中することができた。研究そのものの展開としては、DNA コンピュータの社会実装を本格的に検討したい。また、システム生物学との学術的な融合を制御理論の観点から検討し、「分子システム創成学」のような体系的な理論的枠組みを構築したい。今後は、シニア研究者として、分野を牽引する力を持てるように精進したい。

川 又 生 吹 (京都大学 大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻)

本領域において、DNA ナノテクノロジーの技術を基盤とし、分子ロボティクス・分子サイバネティクスに関する様々な研究にチャレンジすることができました。特に、リポソーム、ゲル、タンパク質等の、これまで馴染みの薄かった分子素材を扱うことができた上、分子動力学などの数値シミュレーションも実践することができ、研究者としての成長を実感しました。また、生物や化学、制御工学、ELSI 等、私自身の専門とは異なる知識を持つ研究者と交流し、各分野の考え方を学ぶことができたため、以前より知見が広がったように感じます。

本領域の期間中に、東北大学 工学部の助教から京都大学 理学部の准教授に昇進することができ、すでにキャリアへ大きな影響があったと言えます。これは本領域期間中に発表した研究論文に加え、DNA オリガミに関する書籍を出版したことも評価されたためだと考えています。また本領域において、研究分野に近い先生方とネットワークを行えたことも財産だと感じています。今後の共同研究や会議の共同開催等を通して、分野のさらなる発展に貢献したいです。

小宮 健 (国立研究開発法人海洋研究開発機構 超先鋭研究開発部門 超先鋭研究開発プログラム)

本プロジェクトでは、機能性分子群をシステム化する上で課題となる濃度のギャップを克服し、細胞サイズのリポソームに内包されたシステムの1分子レベルの応答を実現するという、分子サイバネティクスの標準技術となるようなDNA分子の等温増幅反応系の開発にまず取り組んだ。使用する上で制約ができる限り少ない反応系を確立するため、人工核酸を用いることで指数増幅時のリーク反応を抑制していた従来の反応設計を見直し、リーク反応が起こりにくいカスケード増幅で十分な増幅性能を達成した。これにより、任意の入力もしくは出力核酸配列に対して増幅反応系を容易に使用できるようになり、少数分子の反応の進行を可視化するツールとしての利用が広がるとともに、他の研究者が開発している様々な反応系と接続することで、分子サイバネティクスを実装する分子システム機能設計の自由度や多様性が大きく向上した。

本プロジェクトでは等温DNA増幅反応系の開発とともに、1分子のDNAに多段階の情報処理プロセスを符号化するDNAコンピュータの動作にも成功した。今後はこれらの成果を組み合わせることで、反応系が入力情報を自律的に処理して応答する分子システムの機能を発展させて、診断用分子システム構築などの応用研究にも取り組む。溶液中での反応とリポソーム内包時の反応の違いを検証するとともに、目的のシステム機能に応じた応答反応系との統合を進め、分子サイバネティクス研究を基礎・応用の両面から探求していく。

嶋田 直彦 (東京科学大学 生命理工学院)

分子ブースターはDNA鎖置換反応を大幅に加速し、同時にDNAに作用する酵素の活性を抑制することが知られています。本プロジェクトでは、構造最適化を行うことにより従来の活性を大幅に上回る分子ブースターを開発しました。また光刺激によって分子ブースターを活性化させる新たな化合物を開発し、DNAコンピューティング分野において従来困難だった酵素系論理回路と非酵素系論理回路を光刺激によってスイッチングすることを可能にしました。これにより時空間的に論理演算が切り替え可能となり、より複雑なDNAデバイスの構築に繋がると考えています。

本プロジェクトで得られた成果を基に、今後はDNA回路が搭載された分子ロボットやDNAコンピューティングの動作の高速化を目指します。さらに、今回開発した光応答性分子ブースターを酵素系論理回路と非酵素系論理回路が統合されたデバイスに適用することで、光照射によって動作が変化するかを検証します。本プロジェクトで得られた成果を積極的にアピールすることで様々な研究グループとの共同研究に発展させ、同時に社会実装を視野に展開していく予定です。

葛谷 明紀 (関西大学 化学生命工学部)

本プロジェクトでは、発光タンパク質のスプリット体に DNA を結合することで、自在に生物発光を制御する技術を新たに開発することができました。DNA には様々な蛍光色素を導入できるので、DNA を足場とした生物発光共鳴エネルギー移動 (BRET) およびフェルスター共鳴エネルギー移動 (FRET) を自由に組み合わせることができます。これにより、電気エネルギーを使わず化学エネルギーで駆動する、フルカラー表示が可能な生物発光ディスプレイデバイスへの応用が期待される「多色生物発光素子」や、数十ナノメートルの距離まで発光タンパク質で生じた励起エネルギーを伝送する「DNA 足場エネルギー伝送系」を提案しています。

本プロジェクトでは上記の DNA 足場生物発光素子の他に、リポソームを使った研究にも着手する機会を得ることができました。DNA オリガミを吸着させてリポソームを変形させる技術や、向きを揃えて脂質 2 重膜に DNA を貫通させる技術などが生み出されました。今後は、DNA オリガミを使って機能化したリポソームによるドラッグデリバリーシステムや、DNA 足場生物発光素子とリポソームを組み合わせることで、脂質 2 重膜を超えた光エネルギーの伝送によるリポソーム内外での光情報通信システムなどの実現につながるのではないかと期待しています。

瀧口 金吾 (名古屋大学大学院 理学研究科 理学専攻 生命理学領域)

Bottom-up の再構成アプローチを採る生命科学。以前は、生体由来か人工合成かに関わらず、分子間の生化学的な特異な結合に着目し利用することで、細胞に見られる現象や機能の再現を目指すものでした。本プロジェクトでは、生物学に加え、理論も含む物理や化学からの多様な視野から、理工学の垣根を越えた幅広い方法論を駆使した学際研究が進められました。その成果の 1 つとして、従来の生化学的な描像を超えた分子機構、特異的な相互作用が無くても多数の高分子が共同することで現れる動態 (液晶形成や相分離 / 相転移など) の重要性が示唆されました。得られた知見は、生命を支える分子機構の真の理解に繋がると同時に、生命の起源、地球上に生命がどのように誕生したのかの問題にも迫るものです。

本プロジェクトでは、人工細胞の筐体としてリポソームを用いる所は以前と同じですが、異なる機能を持つ複数の人工細胞が組合わさる系の構築に挑戦する過程で、生細胞に見られる現象や機能を再現するための様々な手法が開発されました。中には、光刺激によって反復操作可能な変形応答の実現や人工膜チャンネル / 受容体の創出など、手本にした生物を超えたかのような系も存在します。今後も生命への理解を深めるために、本物の細胞により一層迫る再構成系の構築に取り組むと共に、生物に学びながらも唯の模倣を超えた反応系・分子機構を見出すことで、これまでに無かった産業応用への展開にも繋げて行きたいと考えています。

遠藤 政幸 (関西大学 研究推進部)

本プロジェクトでは、分子サイバネティクスのアクチュエーションとなるニューロイドの変形操作の展開を図りました。具体的には、分子シグナルによる転写活性化と RNA オリガミ構造体をカップルすることでリポソーム変形の操作を行いました。新規に設計したファイバー状と束状の RNA オリガミをリポソーム内部に固定化しアセンブルすることでリポソームの硬さの局所的な変化を誘導し、RNA オリガミの構造によって時間依存的にリポソームを変形することに成功しました。この成果は、新規に RNA オリガミのアセンブル構造を設計することで転写系と RNA ナノ構造体をカップルさせたニューロイド変形に利用することが可能で、転写をオンにするシグナルでニューロイドの形態操作誘導へ展開できると考えています。

本プロジェクトで得られたニューロイド形態操作の成果を基に、本プロジェクト中に開発した分子シグナルの入力による転写開始系を導入し、RNA オリガミの構造体のアセンブルとニューロイド変形まで一貫して行えるシステムの構築を目指し研究を進めます。分子シグナルを伝送するナノポアの開発へも発展させます。今後は、開発したニューロイド形態操作を基盤とし、分子や環境シグナルのセンシング応用研究へと発展させていきたいと考えています。また、本研究で構築した研究ネットワークで新たな情報分子システム研究を展開したいと考えています。

水内 良 (早稲田大学理工学術院 先進理工学部 電気・情報生命工学科)

たくさんありますが、一つは化学の素養です。私は生命の起源を専門とし、生命が非生命からどのように誕生しうのかを研究しています。バックグラウンドは生物学（進化生物学・合成生物学）ですが、生命の起源は本質的に化学的なプロセスであるため、その謎を解き明かすためには化学の素養が不可欠です。一方、分子サイバネティクスの基盤は化学であり、実際に多くの化学者の先生が参画されていました。本領域でそういった先生方と議論を交わし、また共同研究をさせていただき、有機化学や核酸化学のセンスを磨くことができました。多くの生命の起源研究者のバックグラウンドは化学ですが、私は生物学を基盤としつつ、化学でも戦っていきたくです。

本領域ではゲノム複製や代謝などの機能をもつ人工多細胞を開発しました。今後はこれを活用し、例えば人工多細胞の進化を検証したいです。生命の起源では、最初から多機能な細胞が存在していたとは限らず、異なる機能に特化した細胞が相互作用しながら進化した可能性があります。このような細胞間の協力が生命システムの進化にどのように関わるかを検証したいです。また領域内共同研究では、人工核酸という新たな領域に足を踏み入れました。人工核酸は分子操作のツールとして有用である他、原始生命の遺伝情報を担っていた可能性もあります。こうした新たな視点や経験を領域終了後も活かし、より多方面から生命の起源や人工細胞の研究を推進していきたいです。

竹澤 悠典 (東京大学大学院理学系研究科)

本研究では、金属イオンを入力刺激として作動する DNA 分子回路の開発を行いました。特に、修飾核酸塩基である 5-ヒドロキシウラシル (U^{OH}) が、水素結合を介した U^{OH} -A 塩基対と、ガドリニウム (Gd^{III}) イオンなどの金属配位結合を介した非天然塩基対 U^{OH} - Gd^{III} -UOH の双方を形成することを利用して、 Gd^{III} イオンにตอบสนองする可逆な DNA 鎖置換反応を実現しました。さらに、 Gd^{III} イオンの添加・除去により開閉する DNA 分子ピンセット構造体や、活性をアロステリックに制御できる DNAzyme (DNA 触媒) の開発にも成功しました。本研究の分子設計は他の金属種にも拡張できると考えられ、金属イオンにตอบสนองする DNA 分子機械や分子演算への展開が期待されます。

本研究で得られた知見をもとに、金属配位結合を駆動力として構造変換できる DNA ナノ構造体の構築や、様々な化学種にตอบสนองして作動する DNA 分子回路の開発を進めます。すでに、金属イオンを外部刺激とした DNA ナノチューブ構造体の形成・分解の制御に取り組んでおり、分子アクチュエータへの応用も目指しています。本領域のネットワークを活かして、より複雑な DNA 演算回路の構築や人工細胞への実装にも取り組みたいと思っています。多様な化学シグナルを入力として作動する DNA 分子システムを合理設計することで、分子サイバネティクス分野へのさらなる貢献を目指します。

矢島 潤一郎 (東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻)

本プロジェクトでは、①細胞サイズの微小空間 (W/O 液滴およびリポソーム) において、膜分子-モータータンパク質-細胞骨格の相互作用を定量する新たな計測手法の開発、および、②モータータンパク質に物理・化学的に異なるリンカー分子 (dsDNA/ssDNA/PEG) を結合させて運動計測する手法の開発を行いました。特に、リンカー分子特性がモータータンパク質-細胞骨格の運動方向を制御するという発見は既存のモータータンパク質の分子機構に対して新たな示唆を与え、今後の研究に大きな影響を及ぼすと考えられます。また、得られた知見は生体高分子からなる微小スケールの人工分子モーター創出の設計指針となることが期待できます。

今後は細胞サイズ W/O 液滴やリポソーム内でモータータンパク質による細胞骨格運動の制御、および、液滴/リポソーム形態の変形の制御を実現するアクチュエータの開発を目指します。特に、今回開発したリンカー分子による運動方向制御法をより programmable 手法へと展開し、リポソーム内細胞骨格の振る舞いを制御する手法の開発が重要と考えています。現在、微小閉鎖空間内へのエネルギー分子や制御 DNA 分子の導入方法および除去方法が課題として残されていますが、これらを解決することで微小空間内でのアクチュエータの利用の実現が可能になります。細胞骨格によるリポソームの変形制御開発は国際的な競争が激化しており、一定サイズのリポソームを安定的に作成できる手法を開発する研究グループと連携しながら新たな研究展開を模索したいと考えています。

佐藤 浩平 (関西学院大学理学部化学科)

関西学院大学の佐藤浩平です。公募班としてI期・II期の4年間、大変お世話になりました。私は元々有機化学という、分子の合成自体に焦点を当てた研究を行ってきました。そのため、複数の分子を組み上げてシステムを構築する本領域での研究活動は、常に新しい学びを得ることができる大変刺激的なものでした。しかしなんといっても、異分野の魅力的な研究者の方々と出会えたこと、それこそが私が出ることのできた一番の財産であると感じています。

私自身は好き勝手にやらせていただいた4年間でしたが、計画班の皆様の目覚ましいご活躍を拝見し、実力のある研究者同士が手を組むとこれほどのパワーが出せるのか！ということに改めて思い知らされました。私だからこそできるサイエンスとは何なのかを改めて考えるとともに、研究者としてさらなる成長を重ね、近い将来に大きな研究チームの中心メンバーとして貢献できるように精進していきたいと思っております。

鈴木 勇輝 (三重大学大学院 工学研究科 応用化学専攻)

本研究期間では、リポソーム膜の変形操作や、リポソーム膜上に配置したナノポアやトランスデューサーの配列操作を目的としたナノアクチュエータの開発に取り組みました。DNA origami 技術を基盤に、スプリング型や二次元格子型など、さまざまな形状の分子アクチュエータを設計・構築しました。また、複数種の刺激に対する応答性やロジックゲート機能を兼ね備えた変形機構を実証することができ、インテリジェントな人工分子システムに向けた新たな要素技術を構築できたと考えています。さらに、領域内外の多くの研究者との共同研究も立ち上がり、ものづくりの視点からの課題に加え、生物学的な問いにアプローチする機会も増えました。その過程で、新たなバイオコンジュゲーション技術を習得し、天然の生体分子機械と人工の分子機械の融合に向けた道筋を立てることができました。

開発済みの各種 DNA ナノデバイスを用いて、引き続きリポソーム膜の変形や透過性の制御を検討していく予定です。また、本プロジェクトの成果をもとに、DNA バンドルの曲げ変形を利用した新しいケージ・アンケージ機構を着想することができました。現在、この機構を活用したナノカプセルの開発も進めています。医学・生命科学の研究者とも連携を深めながら、新たな薬物送達技術や細胞機能制御技術へとつなげていきたいと考えています。

井上 大介 (九州大学 大学院芸術工学研究院 未来共生デザイン部門)

アメリカから日本に帰国した際、最初に受け入れていただいたのが、本分子サイバネティクス領域でした。当時、私の研究室はまだ実験設備がほとんど整っていない状態でしたが、本研究領域のご支援のおかげで、研究室を立ち上げることができました。研究プロジェクトを通じて、以前から試してみたかった実験や、新たに思いついたアイデアを自由に形にする機会を得ることができました。その過程では数多くの試行錯誤を重ね、多くの失敗も経験しましたが、それらが糧となり、新しい実験システムの構築や今後の研究に活かせる新規材料の開発につながりました。

また、領域内の他のメンバーとの共同研究や活発なディスカッションを通じて、自分一人では思いつかなかったような新たな研究アイデアを得ることができたことも、大きな収穫でした。こうした環境の中で、挑戦する楽しさや研究の幅を広げる大切さを実感しながら、4年間研究を進めることができたことに深く感謝しています。

本研究領域の手厚いサポートのもと、新たな研究室を立ち上げ、研究期間内に外部制御可能な細胞骨格の分子ツールや新たな実験システムを開発することができました。これらの成果は、私の研究活動の堅固な基盤となり、既に次なるプロジェクトへの架け橋となっています。今後は、これらのツールとシステムを駆使し、さらに高度な分子システムの構築を推進して行きます。さらに、研究期間内にポストを得た九州大学芸術工学研究院では、科学と芸術、デザインの交差点から新たな可能性を生み出し、分子サイバネティクスを基盤とした未来のテクノロジーの地平を切り拓くことに挑戦します。

平 順一 (九州工業大学大学院 情報工学研究院 生命化学情報工学研究系)

本プロジェクトでは、DNA ナノテクノロジーとペプチド工学の両方の技術を用いて、生命が行う多細胞化・組織化に倣った分子やナノスケールの構造体の集合化に取り組みました。具体的には自発的に成長する足場構造をDNA ナノテクノロジーにて構築し、この中の特異的な配列に結合するペプチドを介して、蛍光分子、金ナノ粒子、リポソーム等を集合化させ、細胞外マトリックスと接着因子がおこなうような組織化の方法論の構築を目指すものでした。パブリッシュはもう少し先ですが、担当してくれた学生を若手ライジングスターに選んでいただくなど、一定の教育的効果も得られ、通常であれば交わることのなかった研究者との貴重な交流の機会となったこと、領域の先生方には心より感謝申し上げます。

本プロジェクトは、DNA ナノ構造体とペプチドの特徴を利用することに一つの力点をおきました。これを契機として、異種の生体分子を組み合わせる視点での研究を開拓していきたいと考えております。普段は生化学・分子生物学の分野で活動しておりますが、本領域への参加を通して、構成論的な視点で細胞内の現象を説明することの重要性を再認識できました。還元論的なアプローチが中心の分野に、積極的に構成論的な着想を導入し、ライフサイエンス分野における新たな解析や診断の方法論を開拓していくことを目指します。

曾和 義幸 (法政大学 生命科学部 生命機能学科)

本プロジェクトでは、リポソームを任意のタイミングで変形させる新規アクチュエータとして細菌べん毛繊維に注目しました。本領域に参画させて頂き、異分野の研究者からのアドバイスを受けながらリポソーム内へのべん毛繊維の封入と多型変換誘導に成功しました。現段階ではリポソーム形状の変化が小さい点が課題ではありますが、比較的操作しやすい pH がトリガーである点が特徴です。

本プロジェクトで得られた成果を基に、今後はべん毛繊維の機能改変をおこないたいと考えています。べん毛繊維を構成するタンパク質は、菌種ごとに非常に大きな多様性を示すことが知られています。従来は主にサルモネラべん毛の特性が調べられてきましたが、別の菌のべん毛の情報を基にした部位特異的変異や、大きくドメインごとに交換するといった方針でべん毛繊維の機能改変を他国の研究グループと連携しながら進めています。繊維の新たな特性を見いだす基礎的な研究を進め、本プロジェクトの目標であるアクチュエータとして有利な特性をもつ繊維の創出に向けて研究を展開していきたいと考えています。

林 真人 (東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻 相関基礎科学系)

本プロジェクトでは、細胞サイズの人工膜小胞（リポソーム）にアクチン線維と DNA 増幅システムを共封入することで、DNA を入力信号として変形制御できるマイクロアクチュエータの開発に成功しました。これにより分子サイバネティクスの基礎となる、DNA 信号を介した生体分子による情報処理と環境への力学的応答を連携させることが可能となりました。また公募班の松永（阪大）らとの共同研究により、単細胞で遊泳する緑藻クラミドモナスをリポソームに封入することで、指向性の高いマイクロ推進システムを実現しました。生体内で自律的に荷物を届ける能動的薬物送達システムとしての応用が期待されます。

今後は本研究で開発したアクチュエータリポソームに DNA 演算回路を共封入することで、複数の入力信号から状況判断して変形するインテリジェントなアクチュエータリポソームの開発に取り組みます。単純な演算機能を持つリポソームユニットを多数組み合わせることで、分子サイバネティクスが目指す複雑な演算を行うネットワーク状システムの実現を目指します。またクラミドモナス封入リポソームを用いた新しい薬物送達システムを医療応用へと展開するために、より生体内に近い環境下でも効率良く運動を制御できる方法論を確立していきたいと考えています。

宮廻 裕樹 (東京大学 大学院情報理工学系研究科)

SPA ユニットのアクチュエータ部に対する設計理論, 制御法をネマチック液晶理論という理論的立場から構築するという動機のもと, 2 期にわたって公募研究を遂行しました. 領域セミナーや領域会議を通して, 本領域における様々な素晴らしい実験系を知ることができ, 自身の理論研究にも大きく役立ちました. 特に, 二重連結領域上のネマチック液晶の配向公式の論文 (Proc. R. Soc. A., 480, 20230879, 2024) における欠陥対の最適配置についての理論解析は, 夾雑物を用いてリポソームの突起伸長を制御するというアプローチに対する理論的な根拠となり, 理論・実験の双方にとって意義のある研究となったと感じております. また, 他の公募班の先生方ともコネクションができ, 生物系におけるネマチック液晶についての議論や共同研究をするなど, 領域での研究を通して自身の研究ネットワークが格段に広がりました.

本領域で発展したネマチック液晶理論に基づく人工細胞の形態制御理論は, 数学的にも非常に興味深い対象であることが明らかになりつつあり, さきがけ「未来数理科学」領域の研究課題に採択されたことにも大きくつながりました. 構成論的に分子反応を組み合わせてシステムを創発する分子サイバネティクスは数学的なモデリングや解析と相性がよいため, 様々な新しい数学的問題が分子サイバネティクスの分野から生まれるのではないかと期待しています. 本領域で得られた研究ネットワークを活用し, 今後も理論的立場から分子サイバネティクス領域に貢献できるよう, 研究を推進していきたいと考えています.

松永 大樹 (大阪大学大学院 基礎工学研究科 機能創成専攻)

公募 1 期・2 期を通じた研究期間を通じ, 対象の分子アクチュエータ群について目的関数を最大化する集団制御戦略を探索するフレームワークを構築できました. 各分子群に対して伸縮・屈曲を指示できる系を考え, 例えば移動量を目的関数としたときのフィラメント型・三角形型遊泳帯の遊泳や, 流体輸送を目的関数とした繊毛による集団運動制御など, 強化学習を通して最適動作の探索を実施しました. また学習を通して得られた解の集合から無次元数の依存性・スケーリング分析を通して普遍的な戦略の構築を目指して研究を進めています. 一連の手法は分子群の仕事の最大化する制御法を検討する解析基盤となるため, 今後開発される分子アクチュエータの設計に寄与できると期待されます.

私は小さな生き物を対象とした生物流体力学の研究者であり本領域に参画するまでは分子ロボットに関わったことがありませんでしたが, はじめての学術変革領域で立ち上がった領域を眺めた上で惹かれて応募したことを思い出します. 私自身, 新しい分野に挑戦することで刺激を受けて大いに学びがあっただけでなく, 力学という私の違う専門を見てお声掛け頂く機会にも恵まれ, 共同研究・予算共同申請・領域の研究者を招待した講演実施など今後の芽となる新しい研究ネットワークを構築することができました. 頂いたチャンス・繋がりを活かして今後は生き物を対象とした研究だけでなく分子サイバネティクス研究も一つの軸とし, 両分野に発展に資する研究を推進したいと考えます.

藤本 健造 (北陸先端科学技術大学院大学 バイオ機能医工学研究領域)

本プロジェクトでは、分子サイバネティクスにおける光化学的な核酸類操作に関して新たな手法開発に取り組み、特に DDI (Double Duplex Invasion) を用いれば従来困難だった DNA2 本鎖への光クロスリンクが低塩濃度など一定の条件を揃えれば高い効率で進行することを見出しました。しかも、1) incubation 不要、2) 数秒の光照射で十分、3) 80%以上の効率 といった利点を併せ持つことも本研究期間内に得られた予想外の知見です。今後は、この成果を基盤とし、低塩濃度という制約条件を克服するなど研究をさらに展開することで細胞内ゲノム操作など、より実践的な応用研究へと発展させていきたいと考えています。

本プロジェクトで得られた成果を基に、今後は医学分野との融合を進めることで、分子サイバネティクスのアプローチを組み込んだ核酸医薬分野へのさらなる発展を目指します。昨年から本年にかけて人工核酸を用いたガン関連遺伝子発現の光制御に取り組んでおり、直接がん細胞の分裂サイクルへの関与が知られているがん関連遺伝子 c-Myc を抑制するのではなく、その上流にある転写関連因子 FIR のスプライシング産物を数 nM といった低濃度の光クロスリンカーによって光化学的に抑制することが可能となり、結果として c-Myc を抑制できることを見出しています。以上の結果は、システムとして系全体をとらえる分子サイバネティクスのアプローチの有効な応用展開の一例になるのではと考えられますので、核酸医薬分野へ研究展開していければと考えています。

安原 主馬 (奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 物質創成科学領域)

今回の公募研究では、第Ⅰ期で脂質ナノディスクをプラットフォームとする分子情報処理システムの構築、第Ⅱ期においては人工細胞間の情報伝達を担うナノポア形成分子の開発のテーマで取り組みました。それぞれ、脂質二分子膜と相互作用する両親媒性合成高分子を利用した膜の機能化を目指したアプローチです。これらの研究を通じて、脂質膜の構造や機能を改変することができる合成高分子の設計指針が明らかになりました。得られた高分子を用いることで、人工細胞膜系のみならず、実際の生きた細胞もターゲットとして機能誘導できる可能性が明らかになりました。

本プロジェクトで得られた成果をもとに、今後は天然の細胞を含むより複雑な分子夾雑系や、多段階の化学反応が連鎖する人工細胞膜系においても機能を誘導できる膜作用性ポリマーの確立へと発展させていく予定です。そのために、大規模な高分子ライブラリを全自動で合成・評価できるシステムの構築を行うことで、これまで未踏であった膜作用性高分子の新たな設計指針を見だし、その合成手法を確立したいと考えています。また、分子サイバネティクス領域での交流を通じて形成された人的ネットワークを生かし、学際領域における融合研究を積極的に推進していきたいと考えています。

酒井 雄介 (東京大学 定量生命科学研究所)

私が大学院生～海外ポスドクの頃にあった新学術「分子ロボティクス」の頃からこの研究コミュニティに興味を持っていました。今回、一期・二期の公募班に入れていただき、DNA トポイソメラーゼによる DNA ナノロボットの駆動をテーマに自由に研究させていただきました。自律的に自分の研究を進めるための財源となっただけでなく、国内の研究コミュニティ内に組み込まれる絶好の機会となり、複数の優秀な共同研究者と新たにつながることができました。また、計画班の定期オンラインミーティングへの参加を通して、大きな共同研究の進め方や、関連領域の手法の勉強になりました。もちろん、本公募課題を通して、自分の研究を充実させることもできました。

本領域への参加は、国内の研究コミュニティの中で自分の存在を認知していただく貴重な機会となりました。その成果として、二期公募期間中に東京大学・定量生命科学研究所講師への栄転を果たし、現在はスウェーデンのカロリンスカ研究所に長期派遣され最先端の核酸ナノテクノロジーである、DNA 顕微鏡法の研究を進めています。公募課題の DNA トポイソメラーゼ (などのゲノムを司る酵素) を用いた研究は、現職の周辺研究室に専門家が集まっており、新たな共同研究も始動しています。この領域で出会った多くの優秀な若手研究者たちとは、今後生涯にわたる研究仲間となり、いずれは共に分野を牽引していく立場になれることを楽しみにしています。この経験が私の研究人生における重要な転機となったことは間違いありません。

松林 英明 (東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教)

本領域では、アクチンの光操作技術の開発と応用を軸に、様々な研究を展開することができました。特に、領域会議などを通じて、生物物理学、化学、情報科学、DNA ナノテクなど多様な分野の研究者の方々と交流でき、共著論文としての成果 (Matsubayashi et al., 2024, Nat Commun. など) や、複数の共同研究を始める機会をいただけたことにとっても感謝しております。また、本領域のサポートを得て開催した「De novo デザイン入門セミナー」[Korea-Japan joint workshop for Bottom-up Synthetic Biology]「生物物理学学会シンポジウム: 植物細胞のロジックとケミカル AI」[第 58 回分子ロボティクス定例研究会]などの学術集会では、企画や講演者との交流を通じて、タンパク質デザイン、植物の細胞生物学、発生生物学、神経科学の研究者らと親睦を深めることができました。本領域で、多様な学術分野の概念を学び、第一線で活躍されている研究者の方々と交流を深められたことで、自身の研究と交流の幅を大きく広げることができたことは、自身のキャリアにとってかけがえのない財産となりました。今後は、本領域での交流をきっかけにスタートした共同研究を研究成果に結びつけ、分子のものづくり技術をさらに高めていきたいと思えます。

田伸 真紀子 (電気通信大学大学院 情報理工学研究科 基盤理工学専攻)

二本鎖 DNA は高濃度条件において自己集合し、液晶を形成するという性質を有しています。二本鎖 DNA をビルディングブロックとした液晶集合体は、DNA 水溶液に高濃度のポリエチレングリコールを加えることによっても形成されます。本プロジェクトでは、長さの異なる 2 種類の二本鎖 DNA をポリエチレングリコールの水溶液中で混合し、その融解温度の差を利用することで、階層的な集合体形成を可能にしました。加えて、DNA の末端配列の調節により、液晶集合体の成長方向を変化させ、DNA 液晶の形状制御を実現しました (Small, 2025)。DNA からなる液晶集合体の自在なデザインの可能性が示されたことにより、新たな機能性材料の創製や、ナノテクノロジー分野への応用が期待されます。

集合体のビルディングブロックとなる二本鎖 DNA には、化学合成した短いオリゴヌクレオチドを用いるため、その長さや末端配列については、容易に変更することができます。さらに DNA に機能性分子を修飾することもできます。領域への参画によって始められた共同研究を活かし、今後は多様な形状をとる DNA 集合体に、化学修飾を駆逐することで新たな機能を付与し、外部刺激によってその形状と機能を、より精緻かつダイナミックに制御することのできる次世代の生体分子材料の創生を目指します。

笠井 倫志 (国立がん研究センター研究所先端バイオイメージング研究分野)

本プロジェクトでは、細胞形質膜から作製したプロテオリポソームを用いて、膜脂質ラフトを介した分子の集積と排除を制御する原理の一端を明らかにすることができました。その過程において、膜の表裏の脂質組成が非対称な相分離プロテオリポソームの作製にも成功しており、非対称性を構築する原理の解明だけでなく、生体膜を模した機能性の高いリポソームの作製や産業応用なども期待されます。また、本プロジェクトでの活動を通じて、多くの異分野の研究者からの視点を学ぶことができ、プロテオリポソームの機能化や、応用法についての多くのヒントを得る事などができました。

本プロジェクトで得られた成果を更に発展させ、相分離プロテオリポソームの表裏非対称性の維持機構の解明と応用を目指します。特に、相分離プロテオリポソームを実際に機能化させるため、必要な分子ツールを組み込むなど、応用を見据えた研究にも注目していきます。また、相分離・非対称プロテオリポソームを用い、膜脂質ラフトを介した分子制御機構の解明も重点的に進め、分子会合の操作方法として確立したいと考えています。こうした研究は、分子サイバネティクスでの研究を通じて得られたネットワークやヒントを基にして進めていきたいと考えています。

千住 洋介 (岡山大学 異分野基礎科学研究所)

本研究課題では、新規アーキアのゲノムから真核生物様の細胞骨格タンパク質や膜タンパク質を同定し、いくつかの立体構造を解くことに成功しました。また、タンパク質の機能解析から、進化的に保存されている機能もあれば新機能を見出すこともできました。特にチャンネルや細胞骨格に関わるタンパク質は、リポソーム間のコミュニケーションやリポソームへの物質の取り込み・輸送、リポソームの変形に応用できます。本研究課題で得られたタンパク質の構造機能相関は合成生物学にも応用可能であり、異分野や産業への波及効果も期待されます。

より基本的な構造を持つ原核生物のタンパク質は、複雑化された真核生物のタンパク質よりも、リポソームへの実装のハードルが下がるかもしれません。原始的なタンパク質の立体構造をクライオ電子顕微鏡やAlphaFoldを利用して解き、リポソームに再構成して機能発現を理解することで、細胞間コミュニケーションや軸索形成などの生命システムを理解します。さらに、機能を改変していくことでタンパク質の高機能化や新機能を創出し、産業への応用も目指します。

また、本領域を通して新たにお知り合いになれた研究者との共同研究も進んでおり、本領域での出会いから今後も新たな共同研究の機会が得られればと思います。異分野の研究者との連携を通して新たな視点を得ることで、学際的・国際的な研究を推進していきます。

大槻 高史 (岡山大学大学院 ヘルスシステム統合科学研究科)

本プロジェクトでは、光応答的に相分離状態に変化を与える「ケージド相分離ペプチド」を開発しました。このペプチドには青色光で外れる保護基（ケージ基）が付いており、光照射前は水溶液中で相分離液滴を形成しますが、青色光照射によりケージ基が外れると相分離状態に影響します。相分離が光照射により完全に解消するものを作りたいわけですが、現状では、光照射すると相分離状態が一部解消するものができています。この相分離液滴内には核酸やタンパク質などの生体分子および低分子薬剤などが搭載可能であり、光照射に応じてそれらを徐放することが可能であることが分かりました。本領域の豊田先生の助けにより、リポソーム（人工細胞モデル）内にこの相分離液滴を内包させることができそうです。

本プロジェクトで得られた成果を基に、光による相分離の完全解消、内包物の完全放出、細胞内導入などができるように、ケージド相分離ペプチドの配列や保護基を改良していきたいと思います。そして、本技術が、光照射時に生体分子・薬剤を放出するデバイス、光応答する人工非膜型オルガネラ（人工細胞の部品）などとして、分子ロボティクスの分野で役立つことを実証したいと思います。また、細胞内に多様な分子を導入して光依存的にリリースするキャリアとしてバイオメディカルな応用も検討していきます。

飯野 亮太 (分子科学研究所 生命・錯体分子科学研究領域)

DNA ナノ粒子モーターはナノスケールの輸送システムやデバイスとして注目される人工分子モーターです。しかしながら、天然のモータータンパク質と比べ運動速度が遅く、走行距離が短いという問題がありました。本プロジェクトでは、DNA ナノ粒子モーターの運動と化学反応の素過程を解析することでボトルネック過程を特定し、性能向上に成功しました。幾何学的シミュレーションによる性能予測と、高速高精度 1 粒子トラッキングによる性能検証に基づいて合理的に改造することで、モータータンパク質に匹敵する運動速度と走行距離を実現しました。人工分子モーターの合理的改造で性能向上に成功した初の例であり、高いインパクトを持つ成果だと自負しています。

人工分子モーターは、使用できる部品の種類が多く設計の自由度が高い、熱安定性が高い、水以外の有機溶媒中でも働けるといった、モータータンパク質が持たない多くの利点を有します。モータータンパク質を凌駕する性能を持つ人工分子モーターの開発は、生体機能を越える人工分子システムの実現に繋がると期待されます。今後は、DNA ナノ粒子モーターの性能をさらに向上させるだけでなく、運動速度や運動方向性の制御を実装予定です。これにより、人工分子モーターの動きで演算を行う分子コンピューターや、感染・疾患分子を人工分子モーターの動きで高感度に検出する検査システムの実現を目指します。

景山 義之 (北海道大学大学院 理学研究院 化学部門)

本プロジェクトでは、合成化学的に構築した「自律系」を対象に、計算機能の実現を目指しました。光をエネルギー源にして自律運動する分子性結晶に、①情報を印加することで情報に応じた運動が行われること、②複数の情報を印加することで情報計算を踏まえた運動が行われること、を期待したものです。①の実験結果として、事前に特定の偏光角の偏光を照射した場合に、その後の結晶の自律運動が変調することを見出し、計画を実現しました。ただし、ここでの情報処理内容は、個々の結晶が勝手に行ったことです。各々の結晶のふるまいには再現性があったものの、結晶間での挙動の統一性はなく、どのような情報処理が行われそのような挙動を示したのかを解析するまでに至りませんでした。何らかの要因で泣いている赤子を見るだけでは、体調が悪いのか、おなかがすいたのか、あるいは排泄を知らせてくれているのか、必ずしも判らないことと同様です。この予測不能性は、非線形出力が期待される将来のケミカル AI 構築において必然的課題になると考えます。ここまででお分かりかと思いますが、②の挑戦では、そのアウトプットをどう理解すればよいのか分からず、研究をまとめられずにいます（機械学習が有用かもしれません）。なお、これら懸念は研究計画段階から想定していたことです：正確な計算の実現よりも、計算結果の「幅」に着目した計画を策定し、課題名も「踊るケミカル AI の計算間違いを量る」としていました。

自律的な分子システムを創出するということは、化学者の夢であるとともに、化学者がその基礎から理解していない事柄です。引き続き、この学術分野を実験化学的に先導していくつもりです。

沖田 ひかり (名古屋大学大学院 工学研究科 生命分子工学専攻)

分子サイバネティクスのイベントに直接参加したのは、“若手ライジングスター”として講演の機会をいただいた最終評価の領域会議が最初最後でしたが、私にとってその1回だけでも参加できたことは非常に幸運でした。本研究領域では「ミニマル人工脳の構築」を目指して人工膜や人工チャネルなど様々なアプローチをされている研究チームが数多くあり、「人工核酸の化学的な鋳型合成法を基盤技術として人工生命を創る」という夢をもつ私にとって、そこで知り得た“魅力的な技術”や“革新的な研究者の方々とのつながり”は今後の研究人生において計り知れない価値を秘めていると考えます。最後の集まりに滑り込みで参加できて本当によかったです。

2025年4月より東京科学大学 総合研究院 生体材料工学研究所 鳴瀧研究室にて助教として、鳴瀧先生のもとで学ばせていただきながら、現在の研究と融合させることで、より面白い研究となるように邁進していきたいです。特に「人工生命の創製」については重点的に取り組みたいと考えていますが、今有している知識や技術ではその開発に限界があります。そのため今後は、卓越した研究技術を有する本領域の研究者の方々と共同研究をさせていただくことで、本研究をさらに発展させたいと切望しています。本領域のイベントに参加する前よりすでに進路は決まっていたのですが、情熱あふれる研究者の方々との出会いを通じて、“多くの人の心を惹く研究になるよう、より一層楽しんで励んでいこう”と思えるようになりました。来年からはアカデミアにおける新人になりますが、どうぞよろしくお願い申し上げます。

牧野 哲直 (電気通信大学大学院 情報理工学研究科 基盤理工学専攻)

まずはライジングスター講演会で発表する機会をいただけたこと、そしてニュースレター最終号の1ページにコメントを書かせていただけたことに厚く御礼申し上げます。DNAが六角形状に集合する不思議な現象に魅了され4年近く研究してきましたが、私にとって数十人規模のグループ単位で研究プロジェクトを進めていく様子を知る機会は今回が初めてでした。特に驚いたのが、若手をコミュニティに積極的に入れようとする寛大さです。まさしく、ライジングスター講演会はその寛大さを象徴するイベントだったと思います。皆さんとの交流を通じて、将来自分も一流の研究をなさっている先生方と同じ土俵に立ちたいと考えるようになり、研究へのモチベーションが飛躍的に向上したと実感しています。

この領域はアカデミアに進む先輩が身近にいる環境です。これまでの研究活動で同様の経験が無かったので、私の目にはとても魅力的に映りました。特に、九州の領域会議後に開催された懇親会では、研究内容の話だけでなく研究に携わる人のリアルな話（生活や事務作業等）を聞くことができたので、研究者の道をより明確に思い描くことができました。今回の経験がアカデミアの道を志すきっかけになったと思います。

越智 耀亮 (九州工業大学大学院 情報工学府 情報創成工学専攻 平研究室修士2年)

研究室配属後より、分子サイバネティクスの研究に携わってきました。領域会議や定例研究会では、ポスター発表や口頭発表を経験させていただき、そこでの議論が自身の研究を加速させる機会となりました。特に所属していた研究室では、DNA ナノテクを初めて扱う研究室であったため、領域会議などがそれらの知見を得る貴重な機会でした。また、領域会議での交流が共同研究に繋がった例もあり、他研究者との連携が研究活動の進展に重要であることも実感することができました。

領域会議や定例研究会後の懇親会では、研究内容に関する議論だけでなく、キャリアについてもさまざまな研究者と話す機会がありました。学部入学当初は、博士課程への進学など想像もしていませんでしたが、分子サイバネティクスという分野の魅力に触れる中で、次第に進学を意識するようになりました。今後は本領域で得た知見や経験を活かしながら、研究を楽しむ姿勢を大切に、オリジナリティある研究を展開できる研究者になれるよう、博士課程で力を付けていきたいと考えています。

岡田 瞬 (長岡技術科学大学 大学院工学研究科 先端工学専攻 材料工学分野)

私は去年、今年と分子ロボティクスの学生幹事に参加しています。学生幹事として、研究会や年次大会でのセッションの企画・実施に携わる中で、様々なバックグラウンドを持つ学生と交流しています。異なる分野の学生が多いため、専門外の知識や情報を得ることができ、好奇心旺盛な私にとって非常に新鮮で興味深いものでした。また、年次大会での発表を通じて分子ロボットのさまざまな可能性を知り、自分の研究の視野を広げる貴重な機会になりました。さらに、普段の学会ではなかなか関わることのない他分野の学生との交流を深めることができたことも、この領域に参加できた大きな成果になりました。

学生幹事として他大学の学生と連携しながら一つの企画を進めていく経験は、今後のキャリアにおいてとても大きな財産になると思います。また、年次大会を通じて、分子ロボットの倫理問題への取り組みについて、強い刺激を受けました。「もし分子ロボットが開発されたらどのような社会的インパクトがあるのか」「安心・安全を担保するにはどうすればよいのか」など、社会実装に向けた倫理問題に関する議論を聞き、自分の研究が社会にどのように影響していくのか考える機会になりました。これからのキャリアにおいても、自分の研究と社会との結びつきにも目を向けながら、積極的に活動していきたいと思っています。

石川 大輔 (東京科学大学 総合研究院 生体材料工学研究所)

新学術領域研究「分子ロボティクス」でお世話になった先生方が大勢いらっしゃる中で、公募班として2年間参画させていただき、誠にありがとうございました。さまざまな学会に参加してもいまだにDNAオリガミ研究者は少ない状況で、DNAオリガミ研究のフロントランナーが集まり、かつ異分野に対する敷居が非常に低い(存在しない?)本領域では、DNAオリガミをはじめとするDNAナノテクノロジーについて、存分に議論し、相談することができました。また何よりも、単体の形状や機能発現の観点からこれまで学術的に開拓され、そしてこれからも発展するであろうDNAオリガミ技術とその構造体を、「どのように活かすか」という視点を培えたことが、非常に貴重な経験となりました。

研究期間終了後、DNAオリガミ技術の社会応用を視野に入れて構想した研究が、2024年度のJSTさきがけに採択されました。これは、本領域で培った経験の賜物です。さきがけ研究および現在進行中の他のテーマは、いずれもDNAオリガミと界面科学の融合研究に、生体医工学という社会貢献の視点を加えたものです。これにより、基礎研究にとどまらないDNAオリガミの新たな可能性を創出できると期待しています。

庄司 観 (長岡技術科学大学 技学研究院機械系)

新たな共同研究をはじめられたことが最大の成果だと考えています。私は、公募班の1期として参画し、ナノポアセンサと電気化学DNAセンサを組み合わせた分子サイバネティクス検査プローブに関する研究を推進しておりましたが、別プロジェクトで開発していた本年度より巨大リポソームを配列するマイクロ流体デバイスを本領域で使っていただいております。分子サイバネティクスに参画していなければ始まらなかった共同研究だと思いますし、領域が終了しても皆様と研究できればうれしいです。これからもよろしく願います。

公募班として領域に参画させていただき、若手や学生をエンカレッジする雰囲気があることに感動しました。研究室の学生をRising Starとして取り上げていただき、研究に対するモチベーションが非常に向上したと感じています。これから私自身が研究領域を立ち上げたり運営したりする立場になった際は、分子サイバネティクスでの経験を生かして活発な領域を運営できるように心がけます。

研究プロジェクトの歩み

2020

	イベント名 (イベント全体の名称)	その中でのプログラム名	日時	会場	世話人 (領域メンバーで主体的に関わった人)
1	分子サイバネティクスのキックオフシンポジウム (公開)	分子ロボティクスから 分子サイバネティクスへ	2020年12月19日	オンライン	総括班
2	分子サイバネティクスミーティング		2020年12月21日	オンライン	
3	第1回領域セミナー (領域内限定)	[リボソームMANSIONS]	2020年12月23日	オンライン	杉山博紀 (東大院総合文化)
4	第1回分子サイバネティクスセミナー		2020年12月23日	オンライン	豊田太郎 (東京大学)
5	第2回分子サイバネティクスセミナー		2021年1月18日	オンライン	東俊一 (名古屋大学)
6	第3回分子サイバネティクスセミナー		2021年2月18日	オンライン	中荻隆 (九工大)・川又生吹 (東北大学)
7	ロードマップ会議D班		2021年3月5日	オンライン	
8	ロードマップ会議C班		2021年3月9日	オンライン	
9	第4回分子サイバネティクスセミナー	[ペプチド合成拠点]と[核酸合成拠点]	2021年3月15日	オンライン	松浦和則 (鳥取大学)・村山恵司 (名古屋大)
10	第1回分子サイバネティクス・第45回分子ロボティクス定例研究会		2021年3月17日	オンライン	小塚太資 (慶応義塾大学)・岩淵祥暉 (東北大学)
11	ロードマップ会議A班		2021年3月19日	オンライン	
12	ロードマップ会議B班		2021年3月30日	オンライン	

2021

	イベント名 (イベント全体の名称)	その中でのプログラム名	日時	会場	世話人 (領域メンバーで主体的に関わった人)
13	第5回分子サイバネティクスセミナー		2021年4月8日	オンライン	
14	第1回分子サイバネティクス領域全体ミーティング		2021年4月13日	オンライン	
15	第2回分子サイバネティクス・第46回分子ロボティクス定例研究会		2021年5月10日	オンライン	中荻隆 (九工大)
16	分子ロボティクス夏の学校2021		2021年7月~8月	オンライン	村田智 (東北大学)
17	分子サイバネティクス領域ミーティング		2021年10月7日	オンライン	
18	第2回分子サイバネティクス領域ミーティング		2021年10月18日	オンライン	
19	細胞を創る研究会14.0	人工細胞で化学AIをつくる セッション:「細胞を創る」を社会が拡張する-SF、メディアアート、DIYの地平から	2021年11月5日	オンライン	野村M.慎一郎 (東北大)
20	BIOMOD JAPAN OPEN 2021 Jamboree	GS: 知能分子ロボティクス	2021年11月6日	オンライン	
21	第5回 分子ロボティクス年次大会 (併催)		2021年11月6日~7日	オンライン	東俊一 (名古屋大学)
22	第1回分子サイバネティクス領域会議		2021年11月8日	オンライン	
23	計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 (SS12021)	GS: 知能分子ロボティクス	2021年11月20日~22日	オンライン	東俊一 (名古屋大学)
24	第11回分子サイバネティクス研究会 (分子ロボティクス研究会) 若手勉強会		2021年11月24日	オンライン	
25	第59回日本生物物理学会年会	AI (ケミカルAI)を創る分子システム工学の黎明	2021年11月25日	オンライン	豊田太郎 (東京大), 浜田省吾 (東北大)
26	Pacificchem2021	シンポジウム: Materials Engineering with DNA	2021年11月7日	オンライン	
27	第6回 領域セミナー		2021年11月9日	オンライン	安原主馬 (奈良大)・山田鉄兵 (東京大)・竹澤悠典 (東京大)・林真人 (法政大)
28	第7回 領域セミナー		2021年11月26日	オンライン	庄司観 (長岡技術科学大)・鈴木勇輝 (東北大)・小嶋勝 (大阪大)
29	第8回 領域セミナー		2021年12月7日	オンライン	松永大樹 (大阪大)・宮廻裕樹 (東京大)・森島圭祐 (大阪大)
30	第12回分子サイバネティクス研究会 (分子ロボティクス研究会) 若手勉強会		2021年12月8日	オンライン	
31	第13回分子サイバネティクス研究会 (分子ロボティクス研究会) 若手勉強会		2021年12月22日	オンライン	
32	第9回 領域セミナー		2022年1月11日	オンライン	今任景一 (広島大)・平順一 (九工大)・矢島潤一郎 (東京大)・三友秀之 (北海道大)
33	第14回分子サイバネティクス研究会 (分子ロボティクス研究会) 若手勉強会		2022年1月12日	オンライン	
34	第15回分子サイバネティクス研究会 (分子ロボティクス研究会) 若手勉強会		2022年1月26日	オンライン	
35	国際ナノテクノロジー総合展 (nano tech 2022)	科研費・学術変革領域研究 (A) 分子サイバネティクス	2022年1月26日~28日	オンライン	中荻隆 (九工大)・野村M.慎一郎 (東北大)
36	第10回 領域セミナー		2022年1月28日	オンライン	酒井雄介 (理研)・水内良 (東京大)・津金麻実子 (中央大)・堀豊 (慶應義塾大)
37	第11回 領域セミナー		2022年2月8日	オンライン	佐藤浩平 (東工大)・柳澤実穂 (東京大)・石川大輔 (東工大)
38	第16回分子サイバネティクス研究会 (分子ロボティクス研究会) 若手勉強会		2022年2月9日	オンライン	
39	第12回 領域セミナー		2022年2月25日 (金)	オンライン	曾和義幸 (法政大)・木賀大介 (早稲田大)・藤本健造 (北陸先端科学技術大学院大)・井上大介 (九大大学院工学研究科)
40	合同ワークショップ	新学術領域研究「発動分子科学」	2022年3月4日	オンライン	
41	第18回分子サイバネティクス研究会 (分子ロボティクス研究会) 若手勉強会		2022年3月9日	オンライン	
42	分子サイバネティクス国際シンポジウム	Chemical AI Workshop 1.0	2022年3月14日~15日	オンライン	
43	学術変革領域「分子サイバネティクス」国際ワークショップ		2022年3月14日~15日	オンライン	
44	第19回分子サイバネティクス研究会 (分子ロボティクス研究会) 若手勉強会		2022年3月23日	オンライン	
45	第3回分子サイバネティクス・第47回分子ロボティクス定例研究会		2022年3月25日 (金)	オンライン	佐藤岳 (慶應義塾大)

2022

	イベント名 (イベント全体の名称)	その中でのプログラム名	日時	会場	世話人 (領域メンバーで主体的に関わった人)
46	分子サイバネティクス 領域ミーティング (公募班進捗報告会)	公募班の方の進捗報告	2022年5月13日 (金)	オンライン	
47	第4回分子サイバネティクス・第48回分子ロボティクス定例研究会		2022年6月29日	オンライン	
48	分子ロボティクス夏の学校 2022		2022年7月1日 (開校式)~8月30日 (閉校式)		村田智 (東北大)
49	Gel Sympo 2022という国際シンポジウム	高分子ゲルおよび関連する材料科学・工学の基礎研究および実用化における現在の課題	2022年9月2日-4日	北海道星野リゾート トマム ザ・タワー	
50	「細胞を創る」研究会15.0		2022年10月17日-18日	東京工業大学・蔵前会館	
51	第6回分子ロボティクス年次大会	GS: 知能分子ロボティクス	2022年11月12日・13日	オンライン	川又生吹 (東北大)
52	分子サイバネティクス第2回領域会議		2022年11月14日 (月) 9:00-17:00	東北大学青葉記念会館+オンライン	
53	国際ナノテクノロジー総合展 (nano tech 2023)	科研費・学術変革領域研究 (A) 分子サイバネティクス	2023年2月1日 (水) ~3日 (金)	東京ビッグサイト	中荻隆 (九工大)
54	第13回 分子サイバネティクス領域セミナー		2023年3月31日 03:00 PM	オンライン	

研究プロジェクトの歩み

2023

イベント名 (イベント全体の名称)	その中でのプログラム名	日時	会場	世話人 (領域メンバーで主体的に関わった人)
55 分子サイバネティクス 領域ミーティング	新公募班紹介	2023年6月20日 (火) 10:00-17:30	対面開催	
56 第6回分子サイバネティクス・第50回分子ロボティクス定例研究会	分子ロボティクス夏の学校 講義・講習	2023年6月29日 (木曜日) 14:00~16:30頃予定	オンライン	小島知也 (慶應義塾大学)・山地未紗 (東京農工大学)・越智輝亮 (九州工業大学)
57 分子ロボティクス夏の学校 2023 同時開催 BIOMOD 2023	分子ロボティクスは、一から設計した分子を部品としてロボットと呼べるようなシステムを創り出すことを目的とする新しい学術分野で、システム工学、計算機科学、生化学、生物物理学、高分子化学、核酸化学、分子生物学など多くの分野の重なり合う学術融合領域です	2023年6月30日~8月29日	オンライン	実行委員長 村田智 (東北大学)・葛谷明紀 (関西大)・野村慎一郎 (東北大)・川又生吹 (東北大)・豊田太郎 (東京大)・中荻隆 (九州工業大)・堀豊 (慶義塾大)・浜田省吾 (東北大)
58 ジョイントワークショップ	「量子技術による3次元積層マイクロ流体チップの創出」と「学術変革領域 (A) 分子サイバネティクス」のジョイントワークショップ	2023年7月25日 1500-1810	オンライン	
59 De novoタンパク質デザインの初学者を対象にした入門セミナー	タンパク質デザイン研究の歴史、鍵となる考え方、現在使われている手法などについての概要をご講演	2023年8月8日 (火) 10:00~12:30	オンライン	松林英明 (東北大学)・浜田省吾 (東京工業大学)・岡本泰典 (東北大学)
60 ボトムアップ合成生物学のワークショップ	「分子サイバネティクス領域 (光合成したATPエネルギーでアクチン重合と膜変形を誘導する人工細胞の成果をNature Biotechnology)」、村田/野村研のRichard Archerさんに人工多細胞について	2023年9月6日 13:00-18:00	東工大ELSIとzoom	松林英明 (東北大学)
61 分子ロボティクス研究会「人工生体分子で脂質膜間通信を目指す」(CBI2023大会フォーカストセッション F507)	「生物を凌駕する無細胞分子システムのボトムアップ構築」 「分子サイバネティクス - 化学の力によるミニマル人工細胞の構築」 「マテリアル・シンバイオシスのための生命物理化学」	2023年10月25日-26日	東京大学駒場キャンパス 21 Komaba Center for Educational Excellence (KOMCEE)	オーガナイザー: A01班代表 豊田太郎 (東京大学) Session2: 非天然化合物で生命・細胞に迫る分子システム 若林里衣 (九州大学)・山吉麻子 (長崎大学)
62 分子サイバネティクス第3回領域会議	公募班+希望者ポスターセッション	2023年11月10-11日	関西大学千里山キャンパス	総括班メンバー (司会 中荻・葛谷・野村・豊田)
63 BIOMOD2023	GS: 知能分子ロボティクス	2023年11月4, 5日	東京工業大学	浜田省吾 (東京工業大学)
64 第61回日本生物物理学会年会	植物細胞のロジックとケミカルAI	2023年11月14日 (火) 9:00~11:30	名古屋国際会議場1号館3階L会場	井上大介 (九州大学)・水内良 (早稲田大学)・松林英明 (東北大学)
65 計画班B01オンラインセミナー	第42回ケムステVシンポ「ペプチドと膜が織りなす超分子生命工学」	2023年11月21日 18:00~	オンライン	松浦和則 (鳥取大学)・村岡貴博 (東京農工大学)・川野竜司 (東京農工大学)
66 第51回分子ロボティクス定例研究会	「細胞内薬物送達と計算機によるタンパク質設計」	2023年12月13日	オンライン	岡田瞬 (長岡技術科学大学) Email:s193022@stn.nagaokaut.ac.jp
67 第51回分子ロボティクス定例研究会	「細菌細胞を付着・集合させる遺伝子を読んで・壊して・利用して」	2023年12月19日	オンライン	中島大地 (東北大学) Email:nakajima.daichi.r1@dc.tohoku.ac.jp
68 DNAナノテクノロジーの国際ワークショップ	フィンランドからAnton Kuzyk先生が来日講演	2024年3月6日 (水)	京都大学 吉田北キャンパス	川又生吹 (京都大学)
69 第7回分子ロボティクス年次大会	特別講演、特別セッション1: 「分子・電子・光子の協奏で次世代分子ロボットをさぐる」	2024年3月13日 (水) 13時~14日 (木) 18時	東京大学駒場1キャンパス 21KOMCEE East B1F-011	主査 豊田太郎 (東京大学 大学院総合文化研究科) 副主査 庄司観 (長岡技術科学大学 工学部)
70 2023年度 第2回分子サイバネティクス領域ミーティング	最終デモンストレーションへ向けた計画班の取り組みについて	2024年3月15日 (金) 10:00-12:30	東京大学駒場1キャンパス 21KOMCEE East B1F-011	村田智 (東北大学)・豊田太郎 (東京大学)

2024

イベント名 (イベント全体の名称)	その中でのプログラム名	日時	会場	世話人 (領域メンバーで主体的に関わった人)
71 第8回分子サイバネティクス・第52回分子ロボティクス定例研究会	演題1: 脂質ナノ粒子-エンドソーム脱出の分子機構-分子シミュレーションによるアプローチ 演題2: 新規イオンチャネル活性測定法の開発と光活性化タンパク質の改変	2024年4月22日 (月)	岡山大学 津島キャンパス 工学部5号館2階17番教室	大隈高史・千住洋介 (岡山大学)
72 第9回分子サイバネティクス・第53回分子ロボティクス定例研究会	招待講演1: 森本雄祐先生 (九州工業大学), 招待講演2: 伊藤浩史先生 (九州大), 招待講演3: 岸村顕広先生 (九州大)	2024年5月29日 (水) 14:45~ 5月30日 (木) 9:45~	1日目九工大 飯塚キャンパス2日目 九大 大橋キャンパス	井上大介 (九州大学)・平順一 (九州工業大学)
73 第10回分子サイバネティクス・第54回分子ロボティクス定例研究会	招待講演1: 谷 茉莉 先生 (京都大学大学院理学研究科)	2024年6月 1日 (土) 午後	三重大学 工学部12番教室	鈴木勇輝 (三重大学)
74 IUPAB2024 (国際生物物理学学会)	@Kyotoで分子サイバネティクス "DNA Nanomachine Tutorial"	2024年6月24日 (月)	京都大学	計画班B01 野村准教授・計画班C01 川又生吹准教授・計画班D01 葛谷明紀教授・遠藤政幸特別任命教授・公募班鈴木勇輝准教授
75 第11回分子サイバネティクス・第55回分子ロボティクス定例研究会	招待講演1: 松村 茂祥 先生 富山大学 学術研究部 理学系 招待講演2: 山口 拓実 先生 (北陸先端科学技術大学院大学)	2024年7月29日 (月) 15:00~	JAIST金沢駅前オフィス	藤本健造 (北陸先端科学技術大学院大学)
76 分子ロボティクス夏の学校 2024	分子ロボティクスのトピックスに関する講義	2024年7月5日 (開校式)~8月30日 (閉校式)	オンライン	村田智 (東北大学) 葛谷 (関西大)・野村 (東北大学)・川又 (京都大学)・豊田太郎 (東京大学)・中荻隆 (九州工業大学) 堀 (慶義塾大)・浜田 (東京工業大学)
77 領域ミーティング	「最終デモに向けて」を開催	2024年7月19日 (金) 1300-1700	オンライン	
78 第12回分子サイバネティクス・第56回分子ロボティクス定例研究会	招待講演: 茂木文夫先生 (北海道大学遺伝子病制御研究所), 西上幸範先生 (北海道大学電子科学研究所)	2024年8月22日 (木) 14:00~18:00	北海道大学 理学部本館 N308室	景山義之 (北海道大学)
79 第13回分子サイバネティクス・第57回分子ロボティクス定例研究会	招待講演要旨: 「進化するエレクトロニクス創出と柔らかいデバイスシステム」	2024年9月12日	群馬大学桐生キャンパス総合研究棟 3階303室	神谷厚輝 (群馬大)
80 第14回分子サイバネティクス・第58回分子ロボティクス定例研究会	招待講演1 山本英明 先生 (東北大学 電気通信研究所、准教授) 招待講演2 豊田良順 先生 (東北大学 理学研究科、助教)	2024年11月8日 (金) 14:00	東北大学 (仙台)、青葉山キャンパス機械系共同棟6F、611	馬淵拓哉 (東北大学)・松林英明 (東北大学)
81 BIOMOD2024		2024年11月22~23日	九州工業大学	
82 第15回分子サイバネティクス・第59回分子ロボティクス定例研究会	招待講演1: 金原 数 先生 (東京科学大学) 招待講演2: 森垣 憲一 先生 (神戸大学)	2024年12月6日 (金) 13:00~17:00	国立がん研究センター研究所・東京都中央区築地5-1-1	笠井倫志 (国立がん研究センター研究所)・田中真紀子 (電気通信大学)
83 分子サイバネティクス第4回領域会議	公募班+希望者ポスターセッション	2024年11月29日 (金) 30日 (土)	北九州国際会議場	中荻隆 (九工大)
84 国際ナノテクノロジー総合展 (nano tech 2025)	科研費・学術変革領域研究 (A) 分子サイバネティクス	2025年1月29日 (水)~31日 (金)	東京ビッグサイト	中荻隆 (九工大)
85 第8回分子ロボティクス年次大会		2025年3月12日 (水)~13日 (木)	東京大学駒場1キャンパスKOMCEE-EAST K011室	豊田太郎 (東京大学)

「分子エクスプローラーズ：実空間で臨機応変に行動する分子ロボットの越境型基礎研究（仮）」

現在、次期大型プロジェクトとなる分子ロボット研究計画を、2025年6月の申請を目指して、若手研究者を中心に推進しています。

この世界は分子に満ちています。地球はもちろんのこと、「はやぶさ」や「オシリス・レックス」が持ち帰った有機サンプルが示すように、宇宙にも分子は存在しています。現在、我々の既知の生活圏の知識はWebとAIによって容易にアクセス可能ですが、それでもなお、未知の世界を探索したいという好奇心は人類の本質ともいえるでしょう。そして「未知」とはすなわち、未知の分子が存在する環境にほかなりません。しかし、未知の世界は何も宇宙や深海だけではありません。隣の県、次の電車、明日行く遊園地、春から通う新しい学校の通学路——それらは本当に「既知」でしょうか？未知との遭遇は、日常のすぐそばにあるのです。

けれども、人類——ホモ・サピエンスは驚くほど脆弱です。未知の分子に対する耐性は低く、免疫の「スロット」もあとどれほど残っているのか分かりません。それでもなお、自ら未知の世界に足を踏み入れ、知りたいという探究心は尽きることがありません。

えー、なんとかしてよ、分子ロボットなんでしょ？

この新プロジェクトでは、新学術領域「分子ロボティクス」（2012-2017）および学術変革領域A「分子サイバネティクス」（2020-2025）で培われた成果を基盤とし、分子ロボットの実空間での活用を目指した基礎研究に挑みます。目標は、より頑健で柔軟な分子システムを構築するための新たな方法論を開拓すること。これまで、顕微鏡ステージ上で数々のデモンストレーションを重ねてきた分子ロボットは、どこで、どのように鍛えれば、未来において実環境で我々を助ける存在になれるのでしょうか？

彫刻家ミケランジェロは、自身の技術についてこう語ったと伝えられています。

「石の中に埋もれている人が、早く解放してくれ、自由にしてくれと私に話しかけてくるのだ」

もしかすると、私たちもまた、「もっと美しい形になりたい、もっと豪快に働きたい」と願う分子システムの出現を助ける役割を担っているのかもしれない。とはいえ、時間は容赦なく過ぎ、課題は山積み、出るのは魂を込めた妥協と諦めの結石か…そんな我々にミケランジェロはもうひとつ、重要な言葉を残しています。

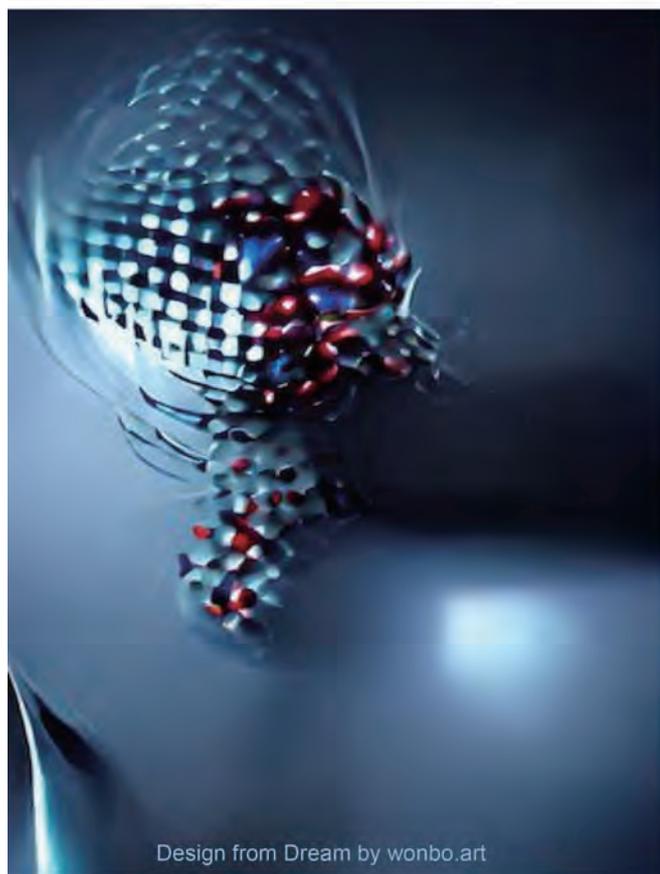
「最大の危険は、目標が高すぎて達成できないことではない。目標が低すぎて、その低い目標を達成してしまうことだ」

領域関係者の皆様、今後ともご指導・ご支援のほど、よろしくお願い申し上げます。

どうぞご期待ください！



野村慎一郎（東北大学）
口ゴ案：井上大介（九州大学）



International Symposium on Molecular Cybernetics

**June 10 – 11, 2025
Online (Zoom)**

Invited Speakers :

**Korevaar, Peter A (Radboud U)
Kuzuya, Akinori (Kansai U)
Gentili, Pier Luigi (U Perugia)
Maiti, Subhabrata (IISER Mohali)
Murata, Satoshi (Tohoku U)
Nakakuhi, Takashi (Kyutech)
Nomura, Shin-Ichiro M (Tohoku U)
Schulman, Rebecca (Johns Hopkins U)
Toyota, Taro (U Tokyo)
and more...**



科研費
KAKENHI

学術変革領域研究(A)

Molecular Cybernetics Newsletter

分子サイバネティクス ニュースレター

第17号 2025年3月25日発行

発行：学術変革領域研究(A)[分子サイバネティクス]

領域代表：村田 智(東北大学 satoshi.murata.a4@tohoku.ac.jp)

事務担当：葛谷 明紀(関西大学 kuzuya@kansai-u.ac.jp)

豊田 太郎(東京大学 cttoyota@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp)

広報担当：野村 M. 慎一郎(東北大学 nomura@molbot.mech.tohoku.ac.jp)

中莖 隆(九州工業大学 nakakuki@ces.kyutech.ac.jp)

領域ウェブサイトURL：<https://molcyber.org>