

平成 24 年度発足 科学研究費補助金 新学術領域研究

# 感覚と知能を備えた分子ロボットの創成

領域略称： 分子ロボティクス

設定期間： 平成 24～28 年度

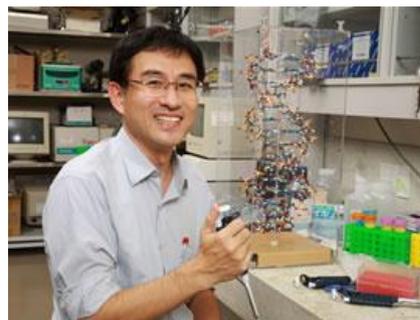
領域ウェブサイト：<http://molbot.org/shin-gaku/>

## 新学術領域「分子ロボティクス」からのメッセージ

領域代表 萩谷昌己 東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授

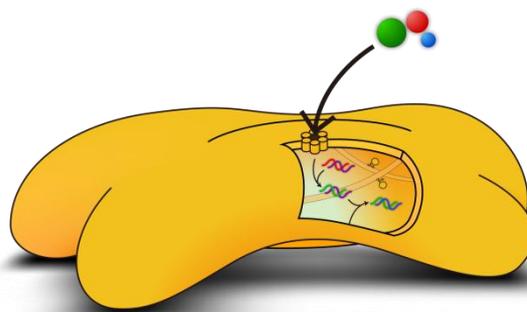
1990 年代前半 DNA コンピュータから始まった分子コンピューティングの研究は、分子反応によって情報処理を実現しようとする当初の目標を遥かに越えて、分子システムのボトムアップな構築過程をプログラムするための方法論として発展して来ました。DNA 分子の自己集合や折り畳みによりナノスケールの分解能で二次元・三次元の構造体を作り上げる方法論は既に DNA ナノテクノロジーとして確立し、さらにナノ構造にダイナミズムを与える数々の技術が開発されています。これらの技術を統合し、分子レベルで自律的なロボットを構築しようとする研究は、学術の発展の中で極めて自然なステップと捉えられます。この研究の中核となるボトムアップ手法による人工物構築法はものづくり全体を大きく転換させる、想像もできないほどのインパクトをもたらすと予想されます。

本学術領域「分子ロボティクス」は、そのようなものづくりにおける大パラダイムシフトを先導することを目指して立ち上がりました。DNA コンピュータに端を発した研究コミュニティは、特に日本においては、情報工学・システム工学・機械工学・分子生物学・生物物理学・化学などの研究者が加わりながら着実に発展して来ています。分子ロボティクス研究会は計測自動制御学会システム・情報部門の調査研究会として 2010 年 3 月に発足し、これまでに数多くの分野の研究者、とりわけ若手の研究者を中心に活発な研究活動を進めて来ました。本学術領域はそのような異分野間での熱い議論の中から生まれたものです。特に、各種の分子デバイスの可能性を探求する化学者の活躍が顕著であり、本学術領域でも、従来の DNA ナノテクノロジーを超えて、分子ロボット構築に必要な分子スイッチや情報伝達分子などの、さまざまな種類の分子デバイスを統合することを目指しています。そして、そのような各種の分子デバイス部品をボトムアップ手法を用いて統合し、分子ロボットをシステムとして構築し稼働させるための方法論を、システム工学・情報工学の研究者が形作って行きます。すなわち、分子レベルでの設計原理に基づいて自己集合した分子システムにより望みの動的挙動を実現する学問としての「分子ロボティクス (分子ロボット工学)」を創成することが、本学術領域の目標であります。特に、既存の学問分野に囚われない若い世代の研究者が主役となって活躍されることを熱望しております。



## 研究概要

本学術領域は、個別の材料やデバイスを「いかにシステムとして組み上げるか」に重点を置いて、人工的な分子システムを構築する方法論の創成を目指す新しい学術領域である。我が国の化学は世界的に見ても極めて高い水準にあり、分子システムのハードウェアとしては、すでに利用可能な要素技術が数多く存在している。しかし化学者だけでは、これらをシステムとして組み上げ、ネットワークとして機能させるためのソフトウェアの開発は困難である。そこで、ロボット工学の方法論を導入してこれらをシステム化し、従来の方法論では達成しえない「プログラム可能な人工分子システム」の実現をねらうのが本学術領域である。人工分子システムの構築は、学術的に極めて重要な研究対象であると同時に、医療、環境、食糧等、我々が直面している諸問題を解決するためのキーテクノロジーになりうるものである。



### ■計画研究A01 感覚班「核酸ナノ構造を活用した多元分子情報変換デバイスの創成」

分子ロボットに「感覚」を持たせるため、一分子レベルでの「検出」、「増幅」、「変換」機能をもつ分子デバイスを開発する。DNA オリガミや RNA ナノ構造を用いることで、一定のノイズ存在下でセンシング対象となる複数の分子を多元的に検出し、B01 知能班の開発する情報処理システムへの入力情報を提供する。また、C01 アメーバ班の開発するモデル分子ロボットを対象として、リポソーム膜面上へのセンシングデバイス埋め込み技術を開発するとともに、分子モータ群やゲルアクチュエータを駆動するため、十分な濃度で任意の核酸配列を出力する技術を開発する。

### ■計画研究B01 知能班「知能分子ロボット実現に向けた化学反応回路の設計と構築」

分子ロボットの「知能中枢」となる、核酸反応をベースとした情報処理システムを構築する。そのため、高速かつ安定に動作する基本演算素子を開発するとともに、過去の状態を記憶するメモリー素子と、現在の入力情報と記憶に基づいて次の状態を決定する計算機構（状態遷移機械）を実現する。

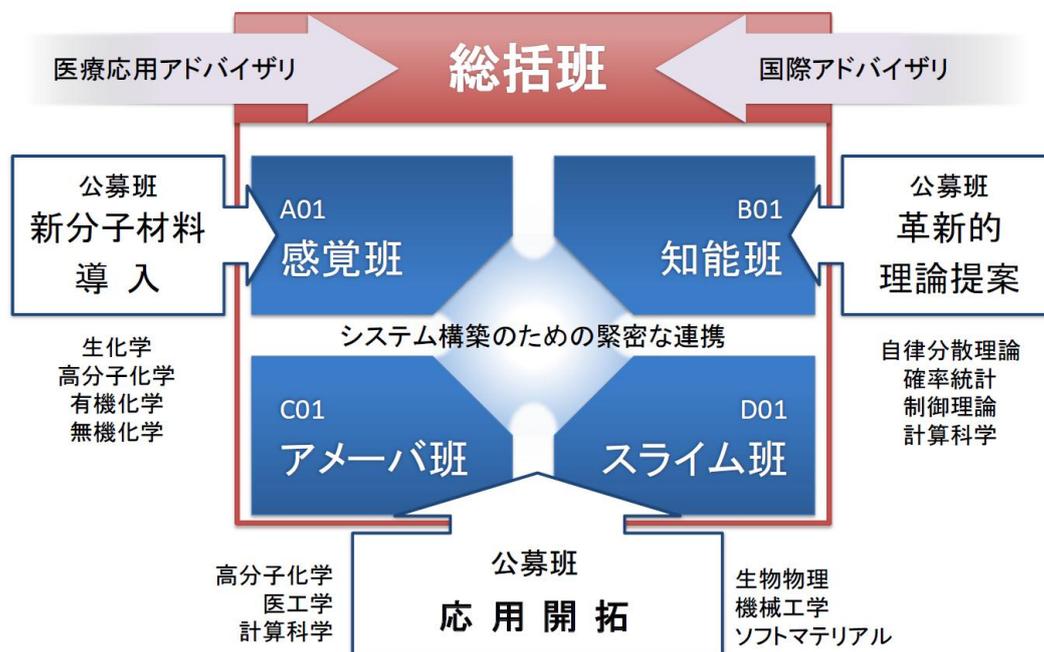
### ■計画研究C01 アメーバ班「アメーバ型分子ロボット実現のための要素技術開発とその統合」

単分子型分子ロボットの限界を乗り越えるため、サブミクロンサイズのコンポーネントを人工的に合成し、その中に情報処理や運動のための分子デバイス群を統合することで、反応速度論に基づく決定論的な機能設計を実現する。コンポーネントとしては、人工リポソームを利用し、これに B01 班の開発する DNA 分子情報処理システムと、それにより駆動される分子モータ群を実装し、微小管合成による仮足伸長などの機能を実現する。

### ■計画研究D01 スライム班「構造化ゲルと化学反応場の協働による運動創発」

分子ロボットの「スケールの拡大」を目的として、ゲル反応場で構成されるスライム型分子ロボットを開発する。そのため、精密に分子設計された高分子ゲルを反応場として、ミリオーダーの非均質な反応空間を生成し、反応生成物の時空間的分布の中でさまざまな分子デバイス群を動作させるための基盤要素技術を開発する。これにより、異方性を必要とする機能、すなわち環境中の濃度勾配をセンシングしてその方向に移動する「走性」のような機能のプログラムを実現する。

# 研究組織



# 領域メンバー

## ■A01 感覚班

- 齊藤博英 (京都大学) バイオエンジニアリング
- 瀧ノ上正浩 (東京工業大学) 生物物理
- 遠藤政幸 (京都大学) 生物有機化学
- 鈴木泰博 (名古屋大学) 自然計算
- 連携 庄田耕一郎 (東京大学) 生物物理

## ■B01 知能班

- 小林 聡 (電気通信大学) 計算機科学
- 藤本健造 (北陸先端大学院大) 核酸化学
- 山下雅史 (九州大学) 計算機科学
- 原 雄介 (産業技術総合研究所) 高分子化学
- 小宮 健 (東京工業大学) DNA ナノテクノロジー
- 連携 井村順一 (東京工業大学) 制御工学
- 連携 横森 貴 (早稲田大学) 計算機科学
- 連携 R・ヤニック (東京大学) 物理化学
- 連携 速水 謙 (国立情報学研究所) 数理工学

## ■C01 アメーバ班

- 小長谷明彦 (東京工業大学) 知能情報学
- 角五 彰 (北海道大学) 高分子化学
- 平塚祐一 (北陸先端大学院大) ナノバイオ
- 野村慎一郎 (東北大学) 人工細胞工学
- 葛谷明紀 (関西大学) 生体超分子化学
- 松浦和則 (鳥取大学) 生体高分子化学
- 瀧口金吾 (名古屋大学) 生物物理
- 連携 豊田太郎 (東京大学) コロイド・界面化学

## ■D01 スライム班

- 萩谷昌己 (東京大学) コンピュータ科学
- 浅沼浩之 (名古屋大学) 生物有機化学
- 村田 智 (東北大学) 自律分散・創発システム
- 浜田省吾 (東北大学) DNA ナノテクノロジー
- 有村隆志 (産業技術総合研究所) 超分子, 有機合成
- 菅原 研 (東北学院大学) 群知能システム
- 宮元展義 (福岡工業大学) 機能材料化学

## ■X01 総括班

- 萩谷昌己 (東京大学) 領域代表, A04班代表
- 連携 齊藤博英 (京都大学) A01班代表
- 連携 小林 聡 (電気通信大学) A02班代表
- 連携 小長谷明彦 (東京工業大学) A03班代表
- 連携 大和雅之 (東京女子医大) 再生医療
- 連携 安永正浩 (国立がんセンター) DDS
- 連携 横山昌幸 (慈恵会医科大学) 医用エンジニアリング
- 協力 西川明男 (法政大学) 計算機科学
- 協力 Erik Winfree (Caltech) Computer Science
- 協力 Milan Stojanovic (Columbia U.) Biochemistry
- 協力 Hao Yan (Arizona State U.) Biochemistry
- 協力 Ned Seeman (New York U.) Chemistry

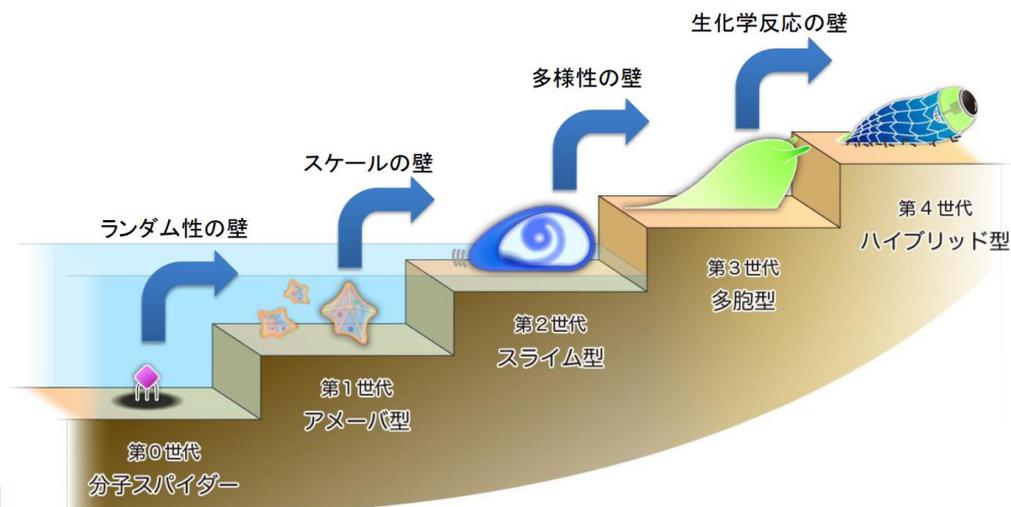
## ■総括班評価者

- 藤田 誠 (東京大学) 浜地 格 (京都大学)
- 中島秀之 (はこだて未来大学) 藤井輝夫 (東京大学)
- 大和雅之 (東京女子医大)

## 分子ロボットの進化シナリオ

我々の構想する分子ロボティクスの発展プロセスは、生物の進化と相似な幾世代かを経て、最終的には電子技術と融合するというものである。第一世代の分子ロボットでは、単分子型分子ロボットの限界を乗り越えるために、ミクロンサイズの容器を人工的に合成し、その中に情報処理や運動のための分子デバイス群を統合することで、単分子反応のランダム性を逃れ、反応速度論に基づく決定論的な機能設計を実現する。第二世代では、機能性の高分子ゲルを素材として反応場をスケールアップし、その上に発現する非均質な時空間的發展の中でさまざまな分子デバイス群を動作させることにより、走性のような異方性を必要とする機能を発現させる。第三世代の分子ロボットでは、異なる機能をプログラムしたコンパートメントを多数合体させ、単一胞では不可能な複雑性を実現する。第四世代の分子ロボットでは、人工的な化学反応系としてプログラムされる分子ロボットを電子デバイスと融合させることにより、生化学的な反応の限界を突破する。

本学術領域の目的は、このような分子ロボティクスの発展ビジョンへ道筋をつけ、ボトムアップ的なものづくりへ向かう技術革新を加速・先導することである。



## キックオフミーティングのご案内

新学術領域「分子ロボティクス」 キックオフミーティング

日時 2012年9月10日(月) 1400-1630

場所 東京大学 本郷キャンパス 伊藤国際学術研究センター

特別講演 Prof. Milan Stojanovic (Columbia University)

\*参加自由。公募研究に関する説明も行います。

### お問い合わせ

東北大学大学院工学研究科 バイオロボティクス専攻 分子ロボティクス分野 村田 智  
電話 022-795-4100 E-mail murata@molbot.mech.tohoku.ac.jp

### 関連研究会

計測自動制御学会 システム情報部門 調査研究会 分子ロボティクス研究会  
<http://molbot.org/>

