

# ロボティクス

Robotics

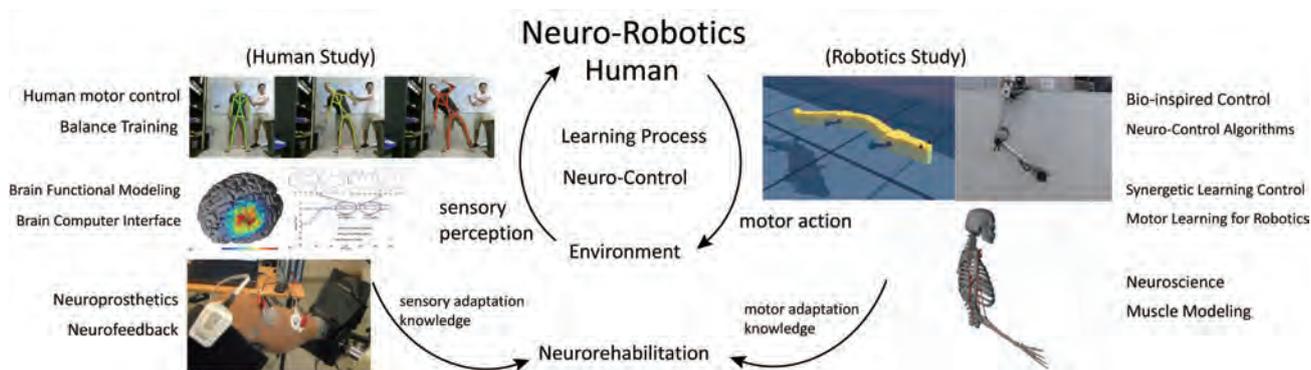


教授  
林部 充宏助教  
沓澤 京

# 林部・沓澤 研究室

ロボットシステム講座

ニューロロボティクス分野

<https://neuro.mech.tohoku.ac.jp/>


## ロボティクスのためのニューロサイエンス、ニューロサイエンスのためのロボティクス

ロボットの世紀などと近年言われるが、特に実世界の環境との適応的インタラクションという側面ではまだまだ人間のもつ高度な運動制御、感覚機能から我々が学ぶべきことは多い。本研究室では人間の持つ環境適応、運動学習能力を工学的にも脳科学的にも深く理解するため、情報処理およびロボティクスのモデル化技術をベースとして用い脳科学的にも説明が可能なレベルで人間の運動制御、学習メカニズムの解明とそれに資する人間の運動情報の収集およびロボティクスツールを用いた解析に関する技術開発を行っています。ロボティクスのためのニューロサイエンス、ニューロサイエンスのためのロボティクスと双方向的に科学するニューロロボティクスに取り組んでいます。また運動学習と脳の環境知覚の研究から得た知見から、運動学習効果を最大限に引き出すニューロリハビリテーションを目指しています。

### 人間の運動制御、環境適応学習メカニズムの研究

人間は未知の環境にも対応できるその運動学習性により、動物界で最も優れた環境適応能力を獲得したと言っても過言ではありません。環境からの感覚入力をいかに人間が処理し、どのような学習アルゴリズムが感覚入力から正しい運動出力を計算できるかという感覚運動系の学習制御ループに特に着目して研究を進めています。バランス制御や歩行運動を対象として研究を行っています。

### 生体感覚信号、生体機能のモデリングと同定技術の開発

運動に関する生体信号解析および筋肉から脳を含めた生体機能のモデリングおよび個体差を考慮するための同定技術の開発を行っています。筋電位などの遠心性運動情報の解析および電気刺激により求心性感覚フィードバックを与えたときの脳の知覚状態を脳波などにより多次元信号解析を行うことで運動シナジーや感覚シナジーの特徴を捉えることで運動感覚機能の定量的評価を目指しています。

### 脊椎動物の冗長関節制御と生物運動学習に関する研究

人間のみならず脊椎動物は体肢の自律的かつ冗長関節の適切な運動出力を行い環境に適応している。それを可能にするのは、中枢神経系の中でも下位の階層に歩行などの移動に関する基本的リズムを発現する神経回路を有し、運動出力を生成また修正するメカニズムを備えているためと考えられている。ニューラルネットワークを用いた時系列運動パターンの発現、記憶に関する研究を行っています。

### ロボット技術のニューロリハビリテーションへの展開

将来的に超高齢化社会を迎える日本にとってニューロリハビリテーションの効率化は重要な課題である。特に脳卒中は高齢化と共にリスクが増大し、運動制御および調整機能に影響を与える。脳信号処理と末梢側の神経感覚刺激による感覚フィードバックからの運動学習に関するプロセスを研究し、運動学習効果を最大限に引き出すニューロリハビリテーションの構築を目指しています。

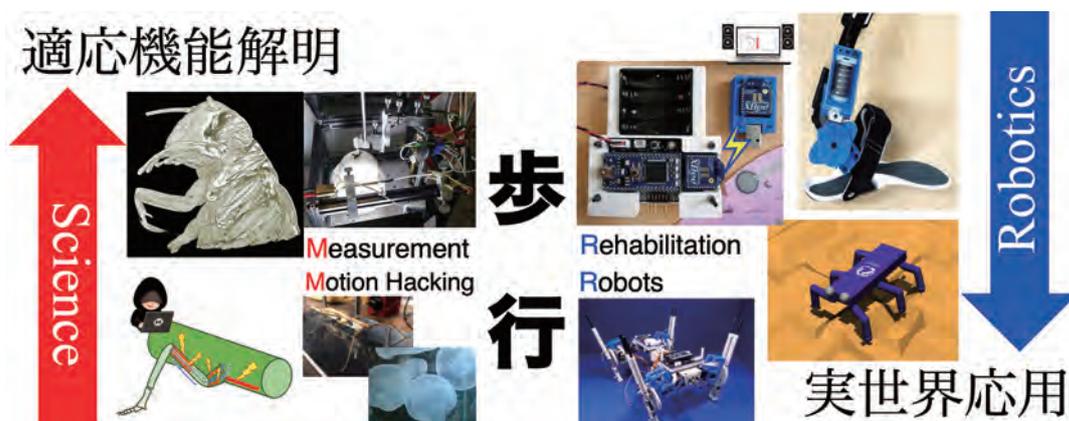
# 大脇 研究室



准教授  
大脇 大

ロボットシステム講座  
ニューロロボティクス分野

<https://neuro.mech.tohoku.ac.jp/>



## 生物が示す不測の事態への適応能力の解明と実世界応用

生物は、10の6乗個程度の神経細胞しか持たない昆虫ですら(われわれヒトを含む哺乳類の神経細胞は10の12~14乗個)、未知の環境、さらには、自身の身体が突然故障する、欠損するという想定外の状況においても、即時かつ柔軟に適応し移動し続ける驚くべき能力を有しています。本研究室では、生物の根源的な移動能力である「歩行」に着目し、「計測する」、「制御する」、「創る」などの工学的手法と技術を活用しながら、(1)昆虫を対象とした運動制御メカニズムの理解、(2)リハビリテーション技術、ロボティクス技術の創出、という理学と工学の2方向のアプローチを有機的に関連させることで、生物の適応原理の理学的追求と実世界応用を目指します。

### 昆虫の歩行を計測する

昆虫は、たとえ自身の脚が切断されても、身体の物理的な変化に応じて即時かつ適応的に歩行を変化させながら歩き続ける能力を有しています。本研究では、ハイスピードカメラと筋電位計を用いて、昆虫の歩行中の脚の運動と筋肉の活動を同時に計測することで、脚切断前後の歩行の適応メカニズムを工学的視点から定量的に解明することを目指しています。

### 脳内身体表現の変容をもたらすニューロリハビリテーション

本研究では、障害による身体機能の変化に伴う「脳内身体表現(脳内に構築されている身体モデル)」の長期的変容過程を明らかにすることが、最大限の効果をもたらすニューロリハビリテーションの鍵になると考えています(身体性システム科学)。脳内身体表現への介入を可能とする工学的リハビリ手法を開発し、東北大学病院での臨床的検証を通して社会応用することを目指しています。

### 動物の運動をハックする —Motion Hacking—

動物の運動を計測するのみならず、工学的アプローチにより外部から操作、制御することで動物内部の神経系による適応過程を解明することを目指しています。筋肉を電氣的に刺激することで運動を任意に発生させる Motion Hacking 法を用い、昆虫やクラゲの運動をハッキングすることによって動物が有する制御アルゴリズムと適応メカニズムの解明することを目指しています。

### 脚が故障しても歩きつづけるレジリエントな歩行ロボット

現在の最先端の歩行ロボットですら、想定外の環境や故障に対しては非常に脆弱であるといわざるを得ません。一方、生物は、未経験の環境、身体構造の変化(脚切断や身体の障害など)に対しても、自身の残存機能をフル活用することで巧みに運動を生成することができます。このような「しぶとく、打たれ強く、レジリエント」な歩行ロボットを実世界応用することを目指しています。



教授  
平田 泰久



助教  
サラザル ホセ



特任准教授  
ランカール アンキット



特任准教授  
シーリー サイド

ロボティクスコース

ロボティクス専攻

## 平田・サラザル 研究室



特任助教  
ベトリリ アルベルト



特任助教  
リョウ シンウ



特任助教  
董 宗晃

ロボットシステム講座  
知能機械デザイン学分野

<https://srd.mech.tohoku.ac.jp/ja/>

## 未来社会を創るAIロボティクス



人・環境適応型  
マルチロボティクス



介護ロボットの  
開発・実証・普及



デジタルツイン技術と  
双腕ロボットを用いた  
次世代モノづくり革新

### 未来社会を創るAIロボティクス

超高齢社会に対する介護・ヘルスケアのための人間支援ロボットの研究開発を行っております。また、複数ロボットを協調的に用いて、人の支援からインフラメンテナンスに至るまで幅広く適用できる複数ロボット協調システムの研究開発を行っております。さらに、取り扱いが難しい柔軟物をハンドリングするロボットを実現し、衣類製造ラインの生産性を劇的に引き上げる次世代産業用ロボットの研究開発や、次世代3Dプリンティング技術の研究開発による新しいモノづくりの提案を行ってまいります。これらの研究開発を通して、AI技術とロボット技術を統合したAIロボットを実現し、そのようなAIロボットとの共生が当たり前となる未来社会を提案してまいります。そのためには、工学的な観点の研究だけでなく、心理学やロボット倫理、ロボット法を含んだ他分野との学際的な研究を行ってまいります。

#### 活力ある社会を創る適応自在AIロボット群 (内閣府ムーンショット型研究開発事業)

内閣府が主導するムーンショット型研究開発事業に参画し、2050年を想定した挑戦的なAIロボットの研究開発を進めております。本プロジェクトでは、様々な場所に設置され、いつでも、だれでも利用でき、個々のユーザに合わせて形状や機能が変化し適切なサービスを提供する適応自在AIロボット群を開発します。これにより、人の自己効力感が向上し積極的な社会参画を支援します。

#### 介護支援からインフラメンテナンスまで実現する 人・環境適応型マルチロボティクス

一台のロボットではできないことも、複数台のロボットが協力すれば、様々なことが実現できるようになります。本研究では、介護施設において複数のロボットを協調運用し、必要なときに適切なロボットが他のロボットや介護士と協力して支援を提供する未来の介護施設像を提案します。また、洋上風力発電所等のメンテナンスに応用できる複数ロボット協調システムを研究開発してまいります。

#### リビングラボを通じた産学官連携と 次世代介護ロボットの提案

厚生労働省が実施する「介護ロボットの開発・実証・普及のプラットフォーム構築事業」において、介護ロボットの評価・効果検証を実施するリビングラボを東北大学青葉山キャンパスに設立しました。このリビングラボを通して、産学官連携を進めるとともに、ムーンショットプロジェクトとも連携し、介護ロボットの開発・実証・普及の流れを加速化することを目指します。

#### デジタルツイン技術と双腕ロボットを用いた 次世代モノづくり革新

柔軟物ハンドリングをシミュレーションする技術と、その結果に基づいて双腕ロボットによる柔軟物ハンドリングを実現する技術を構築し、衣類製造業に革新を起こす次世代産業用ロボットを開発します。また、CFRPを用いて軽量・高強度部品を3Dプリンティングするためのシミュレーション技術と、複雑形状部品を印刷可能な双腕ロボットを利用した次世代3Dプリンタを研究開発します。

## 田村 研究室



准教授  
田村 雄介

ロボットシステム講座  
知能機械デザイン学分野

<https://tamlab.jp>



### 目に見えないものを扱うロボティクス

ロボットに代表される知的機械システムが人間社会の中で活躍するためには、共存相手となる他者、つまり人間の理解が必要不可欠です。これは単に機械の側から見える他者の動きを捉えれば良いのではなく、他者が状況をどのように捉えているのかを理解することがあるということの意味しています。この理解のために、人間の振る舞いに内在する意図や注意を考慮したロボティクスについての研究を行なっています。また、当研究室では、放射線のような人間の目には見えない対象を計測・可視化し、その線源を特定するためのロボティクス技術についての研究も行なっています。このように当研究室では異分野との融合を通じて、目に見えないものを推定・可視化し、さらには制御するための研究を行なっています。

#### 歩行者の移動予測

移動ロボットや自動運転車等が安全かつ円滑に移動するためには、周辺の歩行者をはじめとする他者の移動予測が非常に重要です。当研究室では、環境や他者が歩行者の移動に与える影響を考慮した移動予測手法の開発を行っています。特に、近年問題となっている歩きスマホのように、周辺に適切に注意を配っていないリスクの高い歩行者を検出し、その移動を予測することを目指しています。

#### 運動スキルの解析と支援

スポーツやリハビリテーションなどにおいて、運動スキル向上のためには、自分のフォームや動作、力の入れ方、タイミングなどを把握し、改善することが重要です。当研究室では、このような運動スキル向上のための計測・解析技術及び、上達支援技術について、特に自転車をターゲットとして研究を行なっています。

#### パーソナルモビリティの操作支援

電動車椅子に代表されるパーソナルモビリティは、高齢者や障害者等が自らの力で気軽に外出するためには欠かせないものとなってきました。一方で、狭い道や人混み等で安全に移動するためには一定の技能が必要であり、適切な操作支援を行うことで搭乗者の負担を軽減する必要があります。当研究室では、搭乗者の意図を推定することで、意図に沿った操作支援を行う手法の開発を行っています。

#### ロボティクスと放射線計測の融合

原子力発電所の事故に伴う放射性物質の飛散や、核セキュリティにおけるニーズから、放射線源の分布を特定することが求められています。当研究室では、人間作業員の被曝リスクを低減するために、放射線検出器を搭載した移動ロボットを用いて放射線源を自律的に探索し、その分布を推定する技術についての研究を行なっています。



教授  
岡谷 貴之



助教  
菅沼 雅徳

## 岡谷・菅沼 研究室

知能ロボティクス講座  
イメージ解析学分野

<http://www.vision.is.tohoku.ac.jp/us/home/>

### 画像復元（雨除去の例）



### 画像説明文の自動生成



two zebras standing behind a fence  
in a zoo

a cat laying on a skateboard on the floor

### 質感の認識



### 画像付き質疑応答



Q: What is reflected  
in the mirror?  
A: Cat



Q: What room  
is this?  
A: Bathroom

## 深層学習が実現する人工知能とコンピュータビジョン

我々の研究室ではコンピュータビジョン分野を中心に、画像処理、機械学習、自然言語処理など、人工知能に関連する分野を広く研究しています。コンピュータビジョンの目標は、様々な視覚情報に対して人間同様に観測、認識、そして判断を下すことのできる機械知能を作ることにあります。この目標に向け、われわれの研究室では主に深層学習（ディープラーニング）の理論・実践の両面から各種の問題に取り組み、研究を進めています。

### 破損した画像を修復する画像復元

画像復元とは、ブレやノイズ、雨粒などを含む破損した画像をもとの綺麗な画像に復元する技術のことです。われわれの研究室では、主に深層学習モデルの1つである畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いて、より綺麗に画像を復元するためのモデル設計や学習方法、データセットの構築について研究をしています。

### 画像理解と自然言語（視覚言語融合）

画像理解のために、自然言語を用いた方法論についても研究しています。例えば、画像と質問文を与えると、質問に対する適切な答えを返答するタスク（Visual Question Answering）について研究を行っています。これらの視覚言語融合タスクで優れた性能を達成するためには、画像情報と言語情報を適切に関連付ける必要があり、そのための方法論を研究しています。

### 深層学習モデルの判断根拠の可視化

単に深層学習モデルの予測精度を向上させるだけでなく、モデルが何故そのような出力をしたのかという判断根拠を可視化することは、重要な意味をもちます。例えば、われわれの研究室では画像シーンの奥行きを推定する深度推定において、予測に重要な場所を生成・可視化し、提示する方法論を提案しています。

### 質感の画像認識

画像1枚からそこに写る物体の質感を認識する方法についても研究してきました。質感とは、ある物体の表面の状態について人が感じ取る様々な感覚、たとえばざらつき、光沢感、凹凸感などを表します。ある物体の質感は個々の属性で表現できると考え、本研究では、このような個々の質感属性の尺度を、物体の画像1枚から推定することを、画像認識の方法論で実現します。

ロボティクスコース  
情報科学研究科応用情報科学専攻

## 田所・大野・岡田・小島・ ベゼハ・ツィゲ 研究室

応用情報技術論講座  
人間-ロボット情報学分野

<https://www.rm.is.tohoku.ac.jp/>



教授  
田所 諭



教授  
大野 和則



准教授  
岡田 佳都



特任助教  
小島 匠太郎



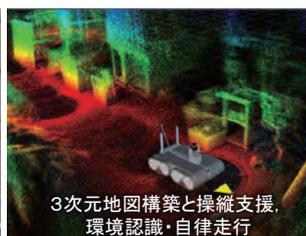
特任助教  
ブルタコ・ベゼハ・  
ネット・ハヌフオ



特任助教  
ツィゲ・タデッセ・  
アレマヨウ



レスキューロボット・サイバー救助犬



3次元地図構築と操縦支援、  
環境認識・自律走行



次世代移動体システム



自走する能動スコープカメラ



飛行ロボットによる  
インフラ点検



後付け運転装置による大型ダンプの自動化

### レスキューロボット・サイバー救助犬の研究

田所研究室は、1995年の阪神淡路大震災を期にレスキューロボットを学術研究分野として創成し、世界的な中心として本研究分野を推進してきた。2006-2010年「NEDO 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」で開発したクローラロボット Quince は、東日本大震災で被災した福島第一原発の内部調査に利用され、冷温停止に向けて大きく貢献した。2013年度は被災建物内探査システム「ロボ・スコープ」を清水建設(株)と共同開発し、さらなる貢献が期待される。

また、レスキューロボットの情報収集や環境認識の技術を搭載した犬用サイバースーツにより、救助犬の災害現場での探査行動を記録し、探査の有効性や被災者のいる可能性を自動で判断する「サイバー救助犬」の研究も近年注目を集めている。

### 次世代移動体・環境認識の研究

屋外無人搬送車や自動運転を対象に、悪天候や積雪などの過酷な環境で周囲を認識する技術、確率的な枠組みを利用した頑健な地図構築や位置推定、自律的に行動する知能の研究開発を行っている。これまで蓄積したセンシング、確率的な手法などを応用して、大規模な石油化学コンビナート火災を対象とした消防ロボットの開発、重度疾患患者の運転支援、東北の積雪路面での自動搬送車の共同研究にも取り組んでいる。

### 能動索状体のアクチュエーションの研究

細径の索状の機械を対象とし、新しいアクチュエーションの原理を適用し、能動的に運動する機能を開発している。この技術を利用して、レスキュー活動における狭路探査のために、ビデオスコープのケーブルに自走機能を付与した「能動スコープカメラ」を開発。2008年には、消防庁長官表彰最優秀賞、「今年のロボット大賞・優秀賞」等を受賞した。

### 社会インフラ・設備点検ロボットの研究

レスキューロボット研究で培った人の行きづらい場所で人に代わって作業をするロボット技術を活かし、橋梁・トンネルなどの社会インフラや工場設備を点検するロボットの研究開発を行っている。2013年度以降、橋梁の高所狭隙部や広大な法面を点検するテザー付の球殻ドローンや、コンクリート構造物内部を安全に点検できる飛行体の研究開発を実施している (NEDO-SIP、理研 AIP)。

### サイバー救助犬の研究

災害救助犬は人間より早く被災者を探査し、被災者の位置を吠えて知らせることができる。しかし、救助犬は探査の状況を言葉で人に伝達することができない。本研究ではロボット技術を搭載した救助犬用スーツを開発し、犬の探査行動の記録や、犬を目的地まで遠隔で誘導する研究に取り組んでいる。



准教授  
昆陽 雅司

## 昆陽 研究室

応用情報技術論講座  
人間-ロボット情報学分野  
<https://www.rm.is.tohoku.ac.jp/>

リアルな体感を与える振動フィードバック



リモート触覚技術と触覚メディアの創生



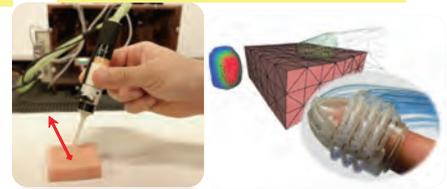
触覚を用いた極限ロボットの操作支援



バーチャルリアリティの体感共有



器用さを生み出す皮膚感覚機能の解明



## ハプティクス:触覚機能の解明と革新技術をめざして

「体感する」という言葉が示すように、触覚は臨場感を伝えたり技能を理解するために重要な感覚です。ハプティクスは触覚に関する科学・技術を扱う学問で、神経科学、認知心理から、機械工学、電子工学、コンピュータ科学など、幅広い分野に関係しています。スマートフォンなどの情報端末やVRデバイス、車載装置など、身近なデバイスにも触覚提示装置が搭載されています。ロボットにおいても、接触検出や器用な把持操作、直感的な遠隔操作には、触覚センシングや触覚支援が必要になります。本研究室では、ヒトの触覚機能のしくみを解明するとともに、触覚技術の革新をめざしています。具体的には、様々な触覚提示装置や、触覚のための信号処理と定量化技術、臨場感・直感性を高める体感インタフェース、ロボットののための触覚センサやリモート技術などに取り組んでいます。

### リアルな体感伝える振動フィードバック: 知覚特性に基づく体感振動の信号処理

スマートフォンやゲーム機などに搭載される小型の振動デバイスは、広帯域の振動を生成することが難しく、体験の質は限られます。本研究はヒト振動知覚特性に基づき、任意の振動波形の感覚を維持しながら小型デバイスでも再生可能な信号に変換する感覚等価変換技術を提案しています。これにより、音響域を含む高周波波形を振動に変換し、従来よりも格段にリアルな体感を実現しました。

### 立体振動:臨場感・迫真性を伝える3次元振動定位技術

聴覚の立体音響のように、外界の振動源の位置を体感させる「立体振動」と呼ぶ新しい触覚提示技術を提案しています。身体に複数の振動刺激を加えて、その知覚量の偏りを制御することにより、特定の方角と距離に振動源が存在するように体感させます。これにより、VR空間で、体の周りで物体やキャラクタが動いているような体感を表現し、臨場感や迫真性を向上させることができます。

### 触覚の革新的リモート技術: 体感振動の記録と再生技術と触覚メディアの創生

身体に伝播する振動を空間的に記録し、リモートに伝えることで、技能や臨場感を伝える基盤技術を開発しています。知覚特性に基づく感覚透過変換や、AIを用いた信号処理を活用して、視覚・聴覚に次ぐ新しい触覚メディアの創生を目指します。また、薄膜MEMSデバイスを用いた双方向触覚インタフェースの実現に向けて、産総研など複数機関と共同研究に取り組んでいます。

### 器用さを生み出す皮膚感覚機能:触覚サイバーフィジカルシステムによるヒト把持・操り機能の解明

ヒトが持つ器用さと皮膚感覚の関係を調査することを目的に、物体を把持した際の接触面の分布触覚情報を再現する世界最高性能の高解像度触覚ディスプレイと、指腹部の接触変形のリアルタイムシミュレーションを接続したサイバーフィジカルシステムを構築しています。接触界面の触覚情報を改変した際の把持運動変化に着目し、ヒトの把持・操りに関する触覚機能の解明に取り組んでいます。

# 村田・川又 研究室



教授  
村田 智



助教  
川又 生吹



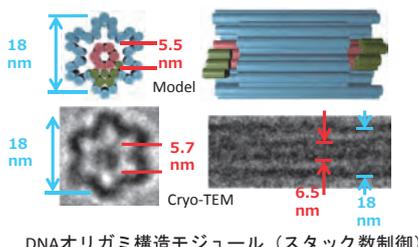
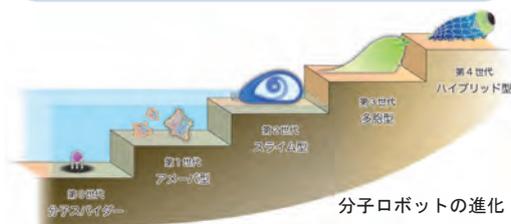
特任助教  
安部 桂太

ナノシステム講座  
分子ロボティクス分野

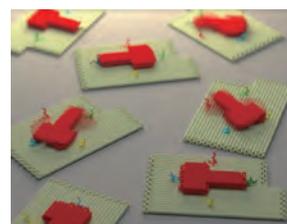
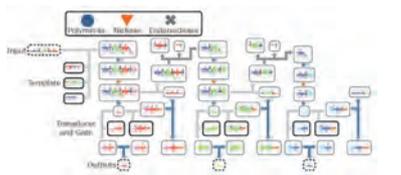
<http://www.molbot.mech.tohoku.ac.jp/>

## 分子ロボティクス～新しいモノづくりのパラダイム

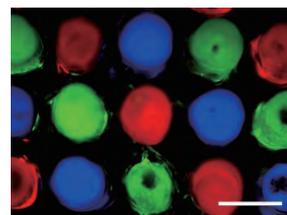
- 生命原理をシステムチックに拡大したモノづくり  
コンピュータで配列設計した生体高分子を合成し、セルフアセンブリ（自己集合）によりシステムを構築する。
- コンパクトかつエコなモノづくり  
DNAなどの高分子合成機（マザーマシン）により、あらゆるパーツ・システムを創り出すことが可能である。
- 超情報集約型のモノづくり  
分子配列から応用システムまでの各階層を一気通貫に記述・設計する超複雑システム構築理論に挑戦する。



DNAオリガミ構造モジュール（スタック数制御）



分子ステッピングモーター



分散ゲル反応空間

## 分子ロボティクスの創成を目指して

「分子ロボティクス」を標榜する我が国初の研究室としてDNA ナノエンジニアリングのアプローチにより、部品となる分子ひとつひとつを設計し、それをシステムとして組み立てて、さまざまな環境の変化に対し自律的に応答することのできる分子機械システム、すなわち「分子ロボット」を構築する方法を確立することを目指している。分子ロボティクスの研究は、これまで化学だけが扱うことのできた分子の世界にロボット工学を拡張するための突破口となるだろう。ここで開発する技術は様々な分子機械システムの基盤技術となるもので、学術的にも産業的にもインパクトは大きい。たとえば、分子ロボット群が協調して免疫細胞のように集団として患部をたたくスーパードラッグデリバリーシステム、細胞分化を制御するプログラム幹細胞培養、環境モニタリング、核酸医療など、広範な応用が期待される。

### DNA ナノエンジニアリングとは？

DNA は生物の遺伝情報をつかさどるだけでなく、素材としても非常に有望な分子です。ACGT という4つの文字で書かれたDNAの塩基配列をうまく設計することで、DNAの分子の形や、DNA分子間の相互作用を自在に操ることができるようになってきました。この性質を利用して、ナノ構造やいろいろな分子デバイスなどを創り出す技術がDNA ナノエンジニアリングです。

### DNAでつくるナノ構造

塩基配列を指定して化学合成したDNAでナノ構造を組み立てる技術が急速に進歩しています。DNAオリガミと呼ばれる手法が代表的なもので、コンピュータを使って非常に複雑な形の分子を設計することができます。当研究室では、DNAオリガミ手法を用いた人工膜チャンネルや、人工鞭毛スラスター、分子ステッピングモーター、また、光に応答するDNAゲルなどの開発に取り組んでいます。

### DNAコンピューティング

DNAの相補性をうまく利用すると、溶液中のあるDNAの濃度が論理演算に対応するような反応系が作れます。これを用いて、数百個の論理ゲートを含むような分子計算回路を作ることができます。当研究室では、マイクロゲルビーズにDNAゲートを組み込んだ時空間情報処理システムや、プログラムした順番で特定の配列のDNA分子を出力するシステム、ゲル上の分散反応空間などを開発しています。

### 国際生体分子デザインコンペで大活躍！

国際生体分子デザインコンペで大活躍！国際生体分子デザインコンペティション (BIOMOD) は、新しい生体分子システムを1から設計し、実際にその分子を合成し、その機能やおもしろさを競う国際的な学生コンテストです。世界中の学生チームがDNAやタンパク質などの生体分子のユニークな設計を競います。東北大チームはこれまで3回総合優勝しています。今年も当研究室から学生チームが参加します。次はどんなアイデアで勝負するか！



准教授  
野村 慎一郎

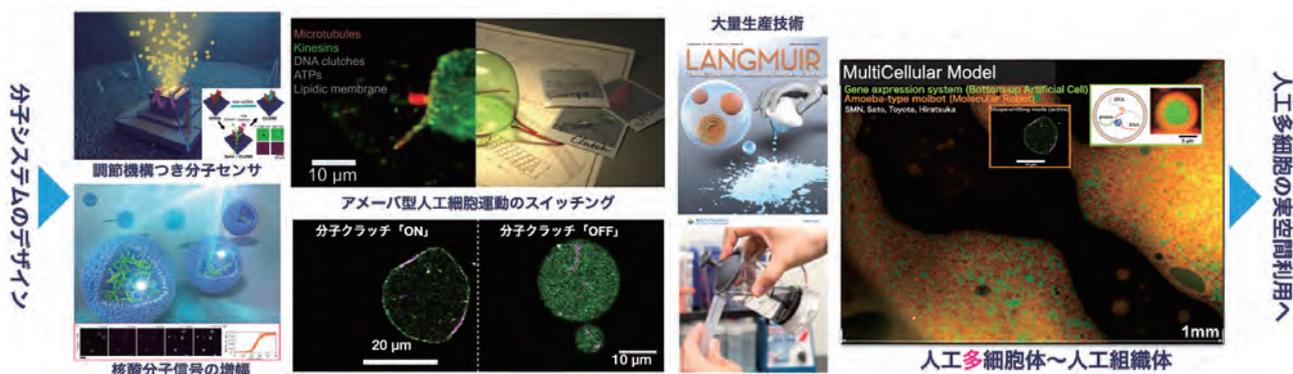


助教  
松林 英明

## 野村・松林 研究室

ナノシステム講座  
分子ロボティクス分野

<https://sites.google.com/site/smnomuralaboratory/>



## 人工細胞工学

人工細胞 (Artificial-Cell) とは、人為的に設計された分子システムで構成されたマイクロサイズの活動ユニットのことで、生きた細胞とは似て非なる機能を持ちます。その人工細胞研究の二つの鍵は、天然の細胞に学びつつ望みのシステムを設計し実装することと、分子プログラムによる制御を実現することです。私たちの研究グループでは、人工細胞の作成を通して、医療、環境、材料、バイオなどの分野に応用可能な、自動的に働くマイクロ分子システムの提供を目指しています。

### 設計通りに動く人工細胞

天然の細胞は複製・代謝など様々な機能を有しています。人工的な細胞では、欲しい機能に注目して設計した分子システムをマイクロサイズの「袋詰め」にして、その動作を評価します。DNA、RNA、タンパク質、触媒、遺伝子発現、分子モーター、DNA 論理回路、光センサ、温度センサ、磁気センサなど多彩な内容物をデザインし、天然を超える / 天然にない機能の実現を目指しています。

### 人工細胞の大量生産

人工細胞構造は、その複雑な構造を1つ1つ組み立てるのではなく、分子同士の親和性にしたがって自己組織化されます。通常の実験に用いるのは数 mL ですが、将来的な利用をにらんで、私たちは簡便で高効率な大量生産によって多細胞化を可能にする方法を研究しています。現状では自己複製を行えない人工細胞ですので、自然の細胞の増殖率に匹敵しうる製造効率を目指しています。

### オートマター：プログラマブルな自動物質群

樟脳船やバクテリアの群れなど、自動的に動く物質が ActiveMatter と呼ばれ注目されています。我々はモータータンパク質で駆動する分子ロボット群を分子計算回路で制御したり、人工多細胞体の動きを内外からの分子 / 電気信号で制御したりする課題に取り組んでおり、「プログラムにしたがって」自動的に動く物質群を "AutoMatter" (造語) と呼び、研究を行っています。

### 天然の細胞と共に働く人工細胞

これらの人工細胞は、天然の細胞の「世話役」として働くことが期待されています。そのために、人工細胞に組み込むことで特定の分子シグナルを伝達する「ポア」や「センサ」、そして情報の増幅を行う分子システムを設計しています。さらに、細胞内部へ物質を輸送するコンテナとして人工細胞を利用することも可能であり、バイオエンジニアリング分野への応用への道が開かれつつあります。

ロボティクスコース  
ロボティクス専攻

## 田中(秀) 研究室

ナノシステム講座  
スマートシステム集積学分野

<http://www.mem.s.mech.tohoku.ac.jp/>



教授  
田中 秀治



シニアリサーチフェロー  
門田 道雄



准教授 (μSIC)  
鈴木 裕輝夫



助教  
郭 庸



助教 (μSIC)  
Andrea Vergara

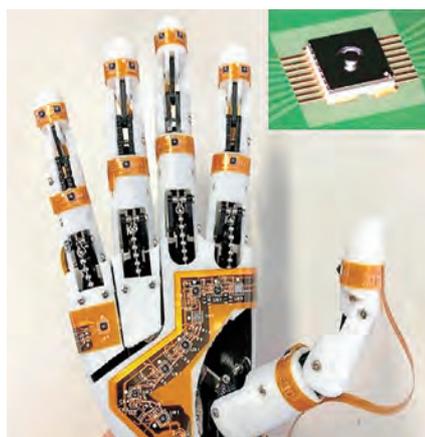


図1 ロボットハンド\*に実装した集積化触覚センサ  
\*東京都立産業技術高等専門学校 深谷直樹准教授提供

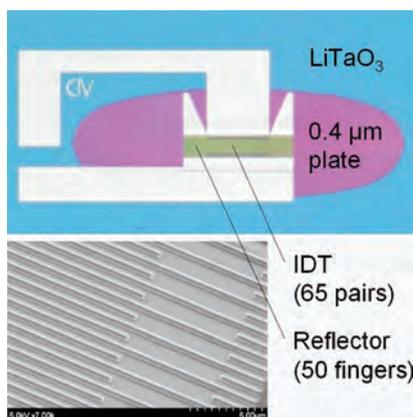


図2 5GHz帯超高周波弾性波共振子:自己支持した  
0.4μm厚の単結晶LiTaO<sub>3</sub>に板波を励振



図3 MEMS-LSI集積化プラットフォーム:TSVを  
形成したLSIとMEMSを金属接合し、気密封止

### 材料からシステムまで、MEMS・マイクロシステムの研究開発

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) は人間と機械との間をつなぐ出力システムとして広く利用されていますが、それを発展させた新しいマイクロシステムを創出しています。たとえば、自動運転やロボット制御に必要な高性能ジャイロスコープ、情報通信や無線センサーの要となる周波数選択デバイス、ジェスチャー認識のための超音波センサー、触覚表現のためのハプティックデバイスなどがあります。これらのマイクロシステムが従来にない機能や性能を発揮するためには、集積回路やパッケージングとの一体化、機能性材料の利用などが必要です。そのため、異要素の集積化技術、ウェハーレベル・パッケージング技術、機能性材料の成膜技術などの基盤技術も開発しています。また、企業との共同研究、研究機器の公開、および国際連携にも力を入れています。

#### フィジカル空間とサイバー空間とをつなぐマイクロデバイス

従来からMEMS技術が広く用いられているのは入力を行うセンサーです。私達は慣性センサー、超音波センサー、触覚センサー(図1)などを開発しています。一方、出力を行うマイクロデバイス、たとえば、圧電MEMSスピーカー、圧電光スキャナー、振動ハプティックデバイスなどの開発にも力を入れています。これらの共通点はアクチュエーターですが、その高性能化の研究も行っています。

#### 無線通信をつながりやすく、高速にするための周波数選択・制御デバイス

スマートフォンに代表される携帯情報端末の普及によって、周波数資源がひっ迫しています。次世代無線通信やIoT (Internet of Things) に対応するために、低損失・低温度係数SAWデバイス、超高周波SAW/BAWデバイス(図2)、小形低周波SAWデバイス、高安定シリコンクロック発振器などを開発しています。また、圧電薄膜や圧電デバイスの研究にも力を入れています。

#### ヘテロ集積化技術とウェハーレベル・パッケージング技術

MEMSとLSIに代表される異要素の集積化技術、MEMSをウェハーレベルで真空封止するためのパッケージング技術などを開発しています(図3)。これらは、マイクロデバイスの小形化や高機能化に必要な共通基盤技術であると同時に、多くのノウハウを必要とする差別化技術でもあります。また、ウェハーボンダー、原子層堆積(ALD)装置などのプロセスツールも開発しています。

#### MEMSの共同研究開発パートナーをお探しの企業の皆様へ

豊富な技術、ノウハウ、文献情報などにに基づき、マイクロデバイスに関連する産業界の研究開発を積極的に支援します。当研究室とマイクロシステム融合研究開発センター(μSIC)が協力し、研究開発のステージに応じて、小片ウェハーでの原理実証から4~6インチウェハーでの試作まで様々な案件に対応します。技術コンサルティング、企業内プライベートセミナーなども承っています。

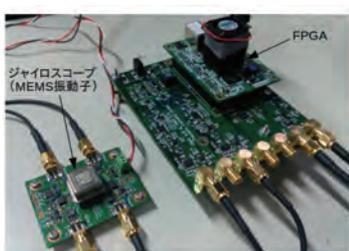


准教授  
塚本 貴城

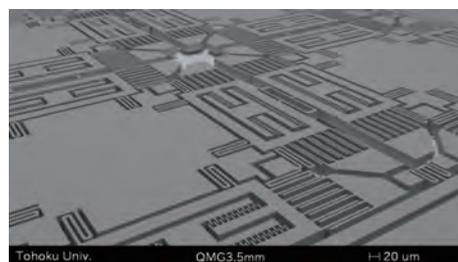
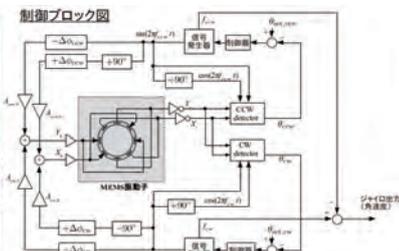
## 塚本 研究室

ナノシステム講座  
スマートシステム集積学分野

<http://www.mems.mech.tohoku.ac.jp/>



高性能ジャイロシステムと、制御用の機能ブロック図



MEMS ジャイロシステム用の高性能振動子

### 暮らしを豊かにするための、マイクロマシン技術を使った高性能センサの研究

当研究室では、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) を使った高性能なセンサデバイスや、センシングシステムの開発に取り組んでいます。MEMS とは、マイクロメートル精度で加工されたシリコンの微細構造や、ナノ・マイクロメートルレベルの極めて薄い薄膜などを組み合わせて作られたマイクロマシンです。我々は、これらの MEMS センサを高性能化・小型化するための、設計・加工技術の向上に取り組んでいます。また、マイクロコンピュータや FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いたシステムの研究開発にも力を入れており、センサの性能を飛躍的に高めたり、これまで実験室にしか置けなかった検査装置を家庭でもつかえるように小型化したりしております。

#### ロボットや自動運転にも使用可能な、小型・高性能ジャイロスコープ

ロボットやドローン、自動車の高度な制御にはジャイロスコープが必須です。ジャイロスコープの性能を向上させるための MEMS 設計技術、MEMS 構造体を真空中にパッケージングする技術について研究開発を行っています。また、FPGA を用いて MEMS デバイスを制御することで、これまで実現が難しかった、角度を直接出力する新しい方式のジャイロスコープの開発に取り組んでいます。

#### 熱の流れを制御したり、赤外線を可視化するためのマイクロ熱デバイス

CPU 等の電子部品の局所冷却や、超小型の冷凍機を実現するためには、小型の熱流制御デバイスが必要になります。微小領域での沸騰・凝縮現象を応用して、高熱密度の排熱や、熱流方向によって断熱/熱通過を切り替えるような微小デバイスを開発しています。また、サーモグラフィーをより身近なものにするために、赤外線を可視光に変換するデバイスの開発を行っています。

#### 大きな発生力と精密な変位制御が可能な、MEMS アクチュエータの開発

MEMS アクチュエータは微小であるがゆえに発生できる力も小さくなってしまいます。比較的大きな力が発生可能な方式として圧電薄膜を用いたものや、熱膨張を用いたものがありますが、これらは変位を精密に制御しづらいといった欠点を持っています。そこで、アクチュエータと変位センサを集積化させ、フィードバック制御することで、変位を精密に制御することに取り組んでいます。

#### 多自由度振動子の高精度制御とセンサ応用

複数の質量がばねで結合されている多自由度振動子の固有振動モードは、構成要素のばね定数等のパラメータに非常に敏感に応答する。

当研究室では、多自由度振動子のダイナミクスや、その上で複数の固有モードを同時に制御するための方法の開発を行っています。

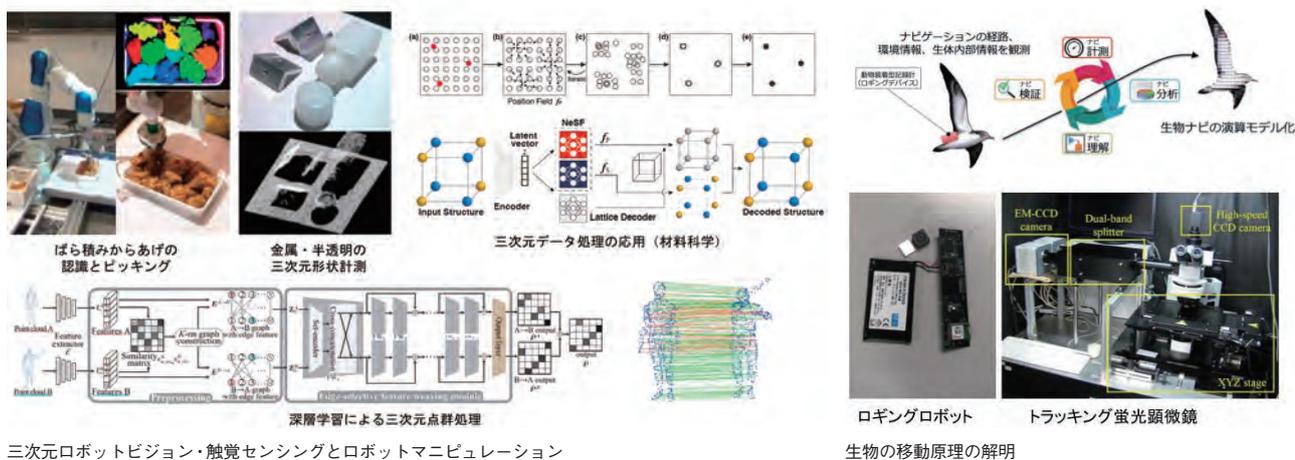
# 橋本 研究室



教授  
橋本 浩一

知能ロボティクス学講座  
知能制御システム学分野

<http://www.ic.is.tohoku.ac.jp>



三次元ロボットビジョン・触覚センシングとロボットマニピュレーション

生物の移動原理の解明

## 人工知能で切り開くロボットビジョンとマニピュレーション

この研究室では、機械学習・深層学習・強化学習・推論といった人工知能、ロボティクス、コンピュータビジョンの技術を駆使し、工場で働くロボットや、人間の生活をサポートするロボットを制御する方法を研究しています。ロボットが操作しようとしている対象物を三次元ビジョンによって認識し、モーションプランニングなどの推論によって行動を生成します。より良い画像認識や対象物理解のために、機械学習を取り入れています。ロボットが物体を操作(マニピュレーション)するには、視覚(ビジョン)だけでなく触覚も重要です。我々はロボットハンドのための触覚センサ開発にも力を入れています。さらに、このような研究で培われた技術は、生物の行動を理解するツールとしても使えます。例えば鳥に取り付けた小型の計測器からビッグデータを構築し、機械学習によってパターンの分析を行っています。

### 三次元センシング×三次元データ処理=三次元ロボットビジョン

計算機の高性能化に伴い産業ロボットにおける三次元データの活用が急速に進められており、三次元データに基づく自動組み立てやばら積み部品のハンドリングなどが求められています。私たちは、スパース推定による三次元センシング、効率的な点群処理アルゴリズムや深層学習による三次元データ処理など、最先端のAI技術を活用した三次元ロボットビジョンの実現を目指しています。

### 人工知能によるロボットマニピュレーション

これまでのロボット研究では、工業部品のように固くて画一的な対象を扱ってきました。一方人間が日常的に扱っている対象物は、服や布、野菜、肉、液体、調味料のように、柔らかかったり壊れやすかったりし、個体差もあります。こういった対象物は、数学的な表現方法の構築が難しく、それらを操作するロボット制御も難しくなります。我々は人工知能技術を駆使した解決に取り組んでいます。

### 深層学習を用いた三次元データ認識・理解

三次元点群やボクセル表現、陰関数を用いた記述など、三次元データは様々な形式で記述されます。これらのデータからうまく情報を抽出してタスクを達成するには、単に深層学習を適用するのではなくデータ構造に合わせた手法を開発する必要があります。我々は点群深層学習を中心に、様々な三次元データを扱うための技術の開発に取り組んでいます。

### 生物の移動原理の解明

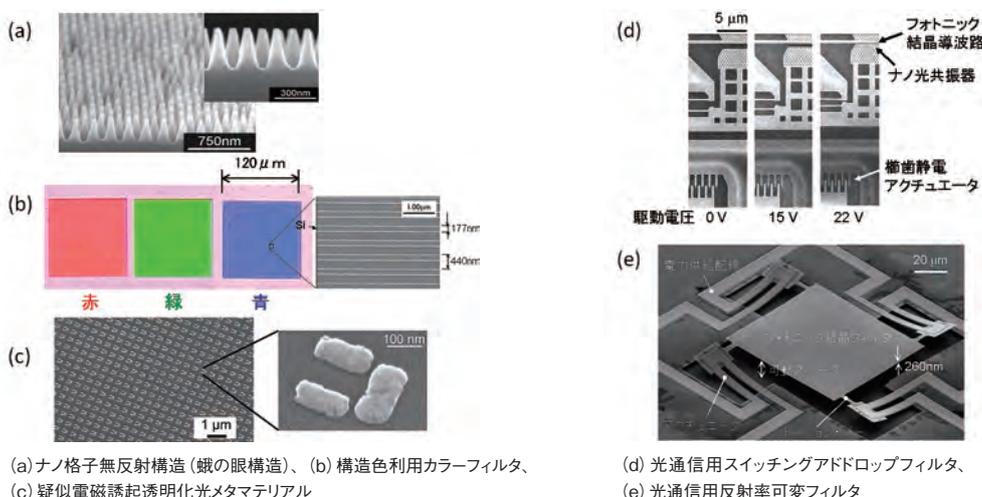
ヒトを含め鳥や昆虫などの生物は「移動」します。その原理を解明するために、多様なセンサや、ロボット顕微鏡を用いた計測により、生物の移動に関するデータを収集します。そのデータを人工知能技術により分析し、生物の移動を数式として表現し、理解します。この研究により、生物の移動を予測・制御できるようになれば、ヒトや動物、ロボットが移動する社会の問題解決が期待できます。

教授  
金森 義明助教  
岡谷 泰佑特任助教  
Ying Huang

# 金森・岡谷 研究室

ナノシステム講座  
情報ナノシステム学分野

<https://web.tohoku.ac.jp/kanamori/>



(a) ナノ格子無反射構造(蛾の眼構造)、(b) 構造色利用カラーフィルタ、  
(c) 疑似電磁誘起透明化光メタマテリアル

(d) 光通信用スイッチングアドロップフィルタ、  
(e) 光通信用反射率可変フィルタ

## 光操作技術の新展開:メタマテリアル・生物模倣ナノ光学素子と微小機械の融合

メタマテリアルは入射波長よりも小さなサブ波長構造を単位素子とした人工光学材料で、負の屈折率や巨大群屈折率など自然界に存在しない様々な光学応答を実現できることが知られ、これまでになかった新たな光操作技術を可能とします。本研究室では、微細加工技術を駆使したメタマテリアルの製作技術、微小機械により変形して光学特性が変わる可変メタマテリアル、メタマテリアル応用デバイスの研究開発を行っています。また、生物の持つ構造や機能を模倣し工学的に応用する生物模倣技術(バイオミメティクス)を応用した高効率なナノ光学素子の開発とデバイス応用を行っています。また、超低損失なナノ・マイクロ光デバイスを実現するために、水素雰囲気アニールにおける表面原子の自己拡散を利用したシリコン表面の新しいナノ加工・平滑化技術の開発を行っています。

### 「生物模倣ナノ光学素子～構造色利用カラーフィルタ、ナノ格子無反射構造(蛾の眼構造)～」

クジャクの鮮やかな羽根の色はナノ格子が発生する構造色によるものです。本構造を模倣したのが構造色利用カラーフィルタで、多彩な発色を可能としました。蛾の眼にはナノ格子無反射構造が形成されています。この構造を模倣し、シリコンの反射率を百分の一に低減したり、発光ダイオードの光取り出し効率を60%程度向上しました。ナノインプリントによる安価な製造技術も開発しました。

### 「メタマテリアル:電磁波の自在制御を目指して」

メタマテリアルは構造性人工光学材料であり、そのユニークな電磁波モードは構造に依存するため、自然界に存在する物質が本来示さない革新的な光機能や目的に応じた電磁波制御を構造により可能とします。疑似電磁誘起透明化や Fano 共鳴を発現するメタマテリアル、メタマテリアル吸収体、光電素子一体化メタマテリアルによるセンサ、機械式可変メタマテリアルを開発しました。

### 「微小機械による光の動的制御

#### ～可動フォトニック結晶・可動メタマテリアル～」

フォトニック結晶は光波長程度の微細周期構造で、光を遮断・閉じ込める機能を持ちます。マイクロアクチュエータでフォトニック結晶を高精度に位置制御することで、フォトニック結晶ナノ光共振器の光結合効率を制御する波長選択フィルタや光遮断特性を制御する反射率可変フィルタを開発しました。また、構造可変電磁誘起透明化メタマテリアルを製作し THz 波の透過率制御に成功しました。

### 「シリコン表面の新しいナノ加工・平滑化技術の開発」

ドライエッチングされたシリコンの加工面は荒れており、デバイスの特性劣化や光学損失の原因となります。高温水素雰囲気中におけるシリコン表面原子の自己拡散による構造変形を超精密制御するナノ加工技術を開発しました。超低損失なナノ・マイクロ光デバイスや機械強度の優れたシリコン微小機械部品を実現します。基板表面だけでなく立体構造への超平滑化処理が可能です。

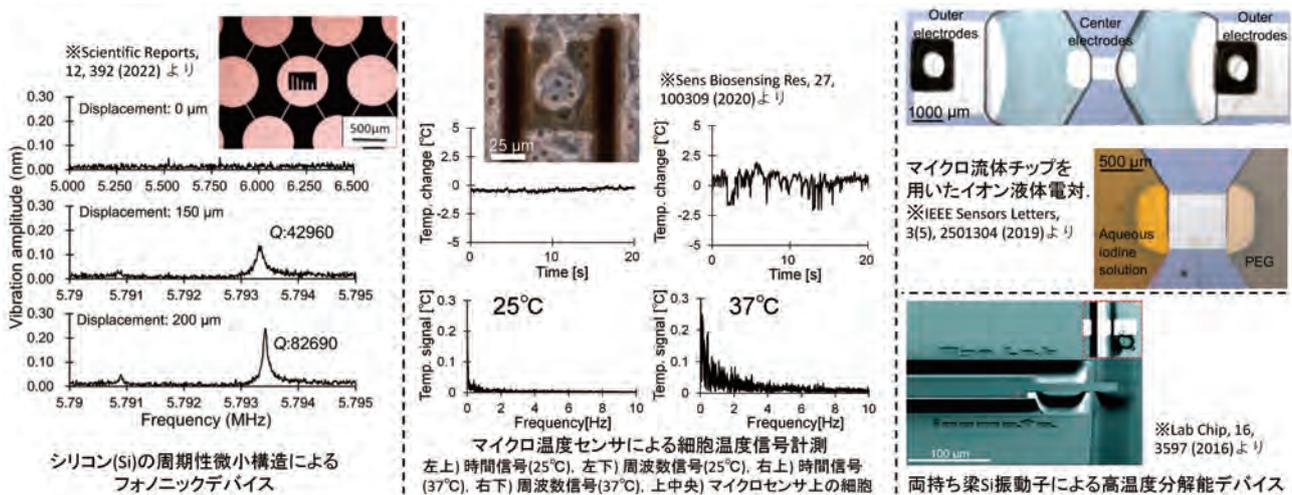


准教授  
猪股 直生

## 猪股 研究室

ナノシステム講座  
情報ナノシステム学分野

<https://web.tohoku.ac.jp/kanamori/>



### 「観れなかったことを測れるように」～超高感度温度計測の先にあるもの～

本研究室では、微細加工を用いた超高感度センシングとその周辺分野に関する研究を行っています。特に、生体の状態を示す明瞭に示す温度に対して、どこまで小さい温度を計測することができるのか、どのようなシステムであれば生体計測に最適なのかということに挑戦し、細胞～人体における様々なスケールにて、微細加工技術を用いて作製した温度センシングデバイス・システムに関する研究に取り組んでいます。マイクロ/ナノシステムとの融合によるブレークスルーが期待される新原理の計測デバイスやシステムの創成、その応用技術を実現を目指し、材料からデバイスまで基礎から応用まで幅広く研究しています。

#### フォノニックデバイスを用いた機械振動子のQ値制御

周期性をもつ微小構造体は特定の周波数を遮断する性質(バンドギャップ)があります。この構造体の周期を任意の値に変えることで、遮断する周波数帯域を任意に変更し、マイクロ機械振動子の振動を制御することに成功しました。この技術は所望の周波数帯に合わせたスケールで微小構造体を作製することで、音、光、電磁波、温度など様々な振動に応用することが可能です。

#### 高温・時間分解能温度計測システム

機械振動子は非常にシンプルな構造が故に微小化しやすく、重さ、力、温度など様々な物理量センサとして用いられます。物理量付与に依る共振周波数変化を計測原理とするこの共振温度センサにおいて、通常の片持ち梁から両持ち梁にすることで温度変化に対する応力変化を増大させ、高感度化を実現しました。温度分解能79μ°Cは今でも世界最高の温度分解能値です。

#### 単一細胞の温度信号計測技術

非生命である高分子の集合が生命的に振る舞う細胞は生体を構成する最小のシステムです。マイクロサーミスタを用いることで、培養された単一細胞の温度信号を計測し、これまで観察できなかった現象が観察できるようになりました。これらの計測を通じて、生体や細胞の仕組みを明らかにすることを目指し、単一細胞の温度情報や成分分析に関する研究を行っています。

#### イオン液体を用いた液体型熱電対

熱電対は通常、個体を接合します。イオン液体は個体より大きい熱電特性を持つにも関わらず、液体であるが故に接点(界面)を維持できず、熱電対を構成できないことが課題でした。そこで、2種のイオン液体を、電気的には接しているものの、物理的には接していない状態をマイクロ流体チップで実現し、従来の個体型熱電対の20倍以上の熱電特性をもつ熱電対を作製しました。

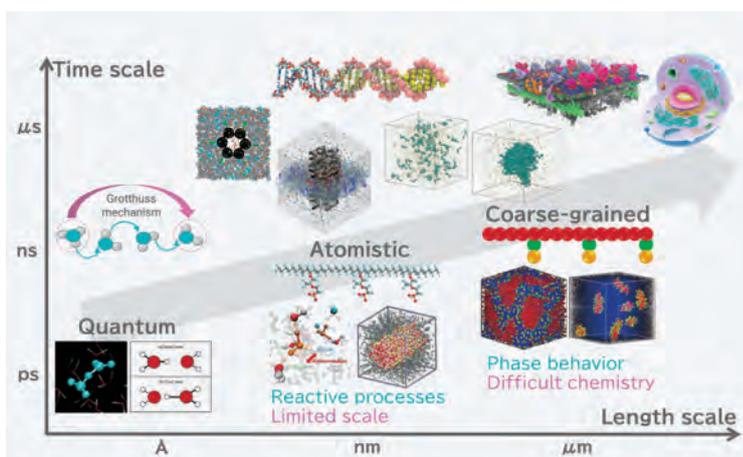


准教授  
馬渕 拓哉

## 馬渕 研究室

協力講座  
生体分子流動システム研究分野

<https://mabuchigroup.jp/>



マルチスケール分子シミュレーション技術



実験グループとの連携による効果的なフィードバック体制

## 生体分子に学ぶナノ流動現象の解明と人工分子システムへの応用

小さな分子、特にイオンが複雑に入り組んだ構造の中を輸送するとき、どのような経路を輸送し、どのくらいの速さで（伝導・拡散）することができるのか？ナノスケールの世界で起きているイオン輸送現象は、生体内においてもエネルギー活動の本質を担うイオンチャンネルと呼ばれる生体分子によって緻密に制御されています。本研究分野では、こういった実験では見ることの難しい時空間スケールにおける「ナノ流動現象」を理論（分子シミュレーション）を用いて解明し、高活性・高選択性などの高機能な人工分子の理論設計を行うことで、実験グループと協力しながら人工細胞や分子システムを構築する工学的応用から創薬などの医療応用まで幅広い展開を目指しています。

### ナノポア内における化学反応を伴うプロトン輸送機構

プロトン (H<sup>+</sup>) や水酸化物イオン (OH<sup>-</sup>) の輸送は、他のイオンと異なり、Grotthuss 機構と呼ばれる水分子との化学反応を伴う複雑な機構を考慮する必要があります。本研究では、これら実験では解析が困難なナノポアに閉じ込められたイオン輸送現象について、量子化学計算の結果を基に独自に構築した反応 MD モデルを用いて、イオン伝導メカニズムを明らかにします。

### 選択的透過機能を有する人工イオンチャンネル

3次元ナノ構造体を自在に設計可能な DNA ナノテクノロジーを用いて、選択的イオン透過機能を有する人工イオンチャンネルの構築を目指しています。実験グループと協力しながら、実験・理論の両面から人工チャンネルの設計を行っています。本研究は、イオンチャンネルが関係する難治性疾患の治療法だけでなく環境浄化材料の開発など様々な工学的応用技術の確立に繋がることを期待できます。

### 人工タンパク質を用いた液-液相分離構造形成現象

細胞内では、生体分子を自己集合させ液滴にすることで、転写、翻訳、シグナル伝達など、様々な生命現象が制御されています。本研究は相分離する人工タンパク質を理論的に設計し、特定の分子を液滴に閉じ込め機能を制御する手法の開発を目指しています。本研究は物質の選択・分離や濃縮技術と直結し、食品長期保存や医薬品タンパク質の効率的な合成など幅広い産業への応用が可能です。

### 産学連携・国際共同研究への展開

これら生体分子関連の研究で得られた計算および解析技術を活用し、水素燃料電池、金属有機構造体 (CO<sub>2</sub> 吸着)、半導体など異分野テーマへ展開し、企業や海外大学 (米国、フランス、インドネシア、南アフリカ、韓国、中国など) との国際共同研究として積極的に取り組んでいます。その他の研究内容、研究成果は当研究室 HP をご覧下さい。