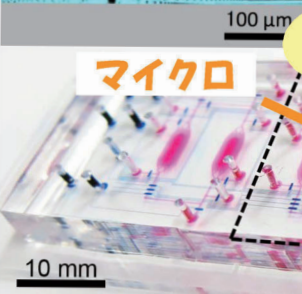
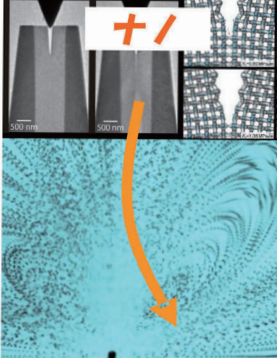
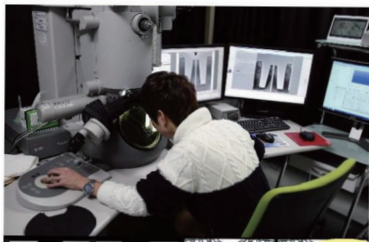


機械システム学コース



材料

熱

振動

生産

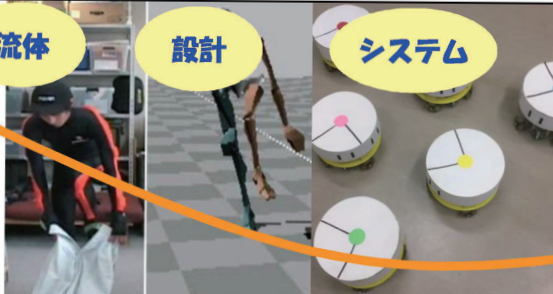
力学を基礎とした教育，研究を遂行し，自動車，電気機器，精密機器など，「日本のものづくり」を支える基盤的な分野から最新のシステム，ナノテクまで広範な領域で活躍できる技術者と研究者の育成を目指しています。

流体

設計

システム

制御



マイクロ

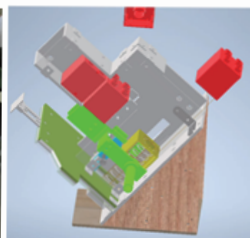
マクロ

現象を理論的に理解し，多くの要素を組み合わせてものづくりの出来る人材の養成

力学を中心とした解析科目，設計などの創生科目，卒業研究からなる教育システム

創生科目として，機械設計演習，機械製作実習，機械システム工学実験

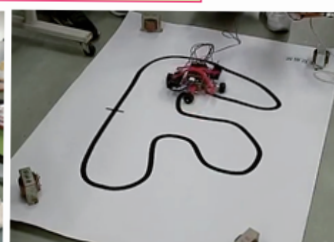
CADによる設計演習



エンジンの分解組み立て実習



ライントレーサの製作・試運転



人間の知を探り，機械の知を究め，共創の知をデザインする

機械システム創成学研究室では、人と機械が関わるさまざまな活動を円滑化し、人間知と機械知を融合した知的システムを実現するための理論と応用について研究しています。

現代社会では、人々の作業負担を軽減したり仕事を効率化したりするために、さまざまな領域でさまざまなシステム化技術が導入されています。機械やコンピュータは、定型化された作業やデータ処理において人間を遥かにしのぎ、その性能は日々進歩しています。しかし、どれほどその能力が向上したとしても、人の判断や介入を仰ぐことは避けられません。プログラムされた以上の機能を機械は発揮することはできないのです。そのため、人と機械がうまく協力して働くための仕組みのデザインが欠かせません。

機械システム創成学研究室のメンバーは、

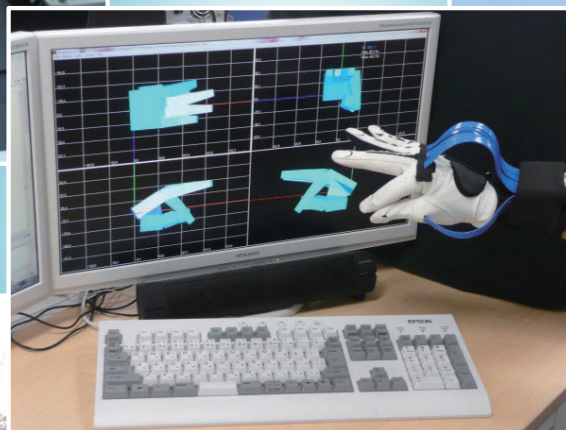
『人間の知を探り，機械の知を究め，共創の知をデザインする』

をモットーに、

- 人（々）の認知・判断・行動の特性理解とモデル化
- 複雑で不確かな環境に適應できる知能化技術の開発
- 人同士や人と機械の円滑なコミュニケーションの設計と関連する幅広い研究テーマに取り組んでいます。



ロボット教示作業
支援技術



人間行動のセンシングと
特徴抽出



無人ヘリコプタの
自律飛行制御



人間機械システムの安全解析



自動車運転行動の分析と支援

機械システム学コース 機械理工学専攻

機械材料力学講座 適応材料力学分野

准教授 西川 雅章

—先進複合材料の固体力学と破壊力学—

当研究室では、航空宇宙、運輸、エネルギー等の先端分野における先進複合材料の高性能化の研究を行っている。複合材料のものづくりは、構成要素から材料設計と形状設計を同時に行い、構造を一体成形するという特徴があり、材料力学・流体力学・熱力学・高分子化学といった異分野融合による基礎科学の構築が欠かせない。このような複合材料のものづくりを対象として、実験・計算マイクロメカニクス観点から、強度や機能性発現のためのメカニズムの解明に取り組むとともに、材料を非破壊に評価する方法を援用することにより、先進複合材料の健全性を高度に評価し、環境や求められる機能に適応する複合材料システムを創成することを目的として研究を行っている。

先進複合材料強度学

先進材料の多くは、複数の素材の組み合わせにより、単一の素材では実現できない機能を実現する「賢い」「複合材料」となっている。複合材料の微視的構造がその変形・破壊特性や機能に及ぼす影響についての詳細な解明と、より高性能な複合材料の設計・製造法の確立を目指している。

特に、炭素繊維（高強度）と樹脂（軽量）を合わせたCFRPは、軽量化により環境問題を劇的に改善する切札として期待されている。ここでは強度発現の微視的基礎や、品質保証に欠かせない成形時に発生した欠陥や残留応力の構造強度への影響を解明する研究に取り組んでいる。

近年のCFRP積層構造では中間基材の高度化により、層間樹脂層や微視的粒子強化層が形成されていたり、層の薄層化が行われている。これらの材料の強化により積層構造の破壊特性を最適化するため、走査型電子顕微鏡や高解像度光学式マイクロスコブを利用した観察実験を援用し、破壊力学に基づく評価や理論解析を進めている。

強度・成形シミュレーション

複合材料構造の強度や成形プロセスをシミュレーションを用いて最適化することを目指している。例えば、ボイドに代表される欠陥の形成、繊維配置とボイド分布を考慮したマイクロメカニクスによるマクロ力学特性の評価、熱可塑性樹脂を用いた複合材料の成形など、複合材料の高性能化を目的に多面的に検討している。

CFRP構造の成形プロセスについて、国産旅客機の開発に用いられた液相成形法や、曲面構造を賦形可能な自動積層プロセスなど、新しい製造法による高生産プロセスの研究が盛んに行われている。特に、繊維基材プリフォームやプリプレグテープ基材による曲面構造賦形時の変形、樹脂含浸・硬化過程におけるボイド発生や残留応力発生、成形された材料の長期耐久性（力学特性や疲労特性）といった課題について実験的評価を基に、固体力学を基礎とした理論的基礎の構築を目指している。

複合材料の力学機能

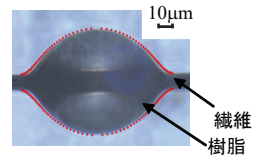
先進複合材料の力学機能を必要とされる性能要求に対して材料特性から適応的に制御することを目指し、剛性や強度といった従来の構造材料に必要なとされてきた特性のみならず、成形性や難燃性、熱伝導特性といった複数の機能を同時に満たすバランスの取れた材料設計論を力学シミュレーションを援用して確立することに取り組んでいる。

剛性・強度といった特性に対しては、例えば、繊維強化複合材料において繊維方向に直交した層内で起きる破壊（トランスバース破壊）は主要な破壊形態の一つである。こうした複合材料中の損傷をシミュレーションにより再現することによって、層の薄層化が破壊力学的に損傷抑制に有効に作用する機構を調べることができる。金属強化を用いたマルチマテリアル化による損傷抑制の相乗効果についても評価を進めている。

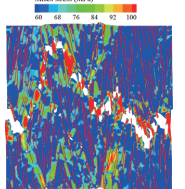
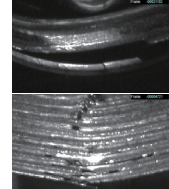
航空機構造材料に対して近年、性能要求水準が高まっている難燃性の課題について、燃焼解析と構造の熱伝導解析を連成した多物理にわたる力学シミュレーションにより、CFRP材料の特性に関する熱的異方性やCFRPを構成する樹脂の熱分解特性が及ぼす影響について評価している。

先進複合材料

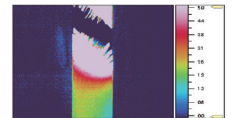
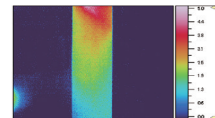
新型旅客機 Boeing 787



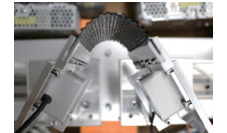
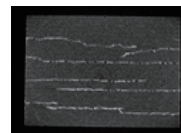
CFRPプリプレグ 積層構造の破壊 微視的破壊



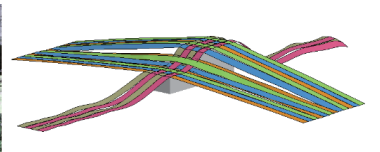
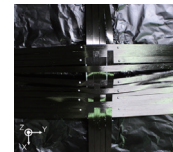
マイクロメカニクス



赤外線サーモグラフィを用いた損傷評価

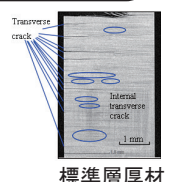
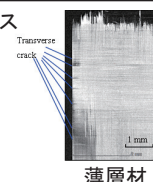
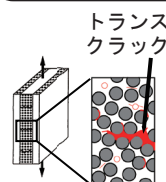


製造欠陥のX線CT解析 賦形に伴う変形評価

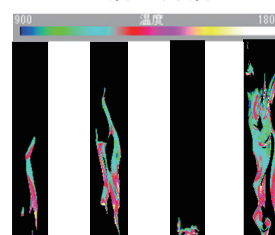


プリプレグテープ基材の賦形実験と解析

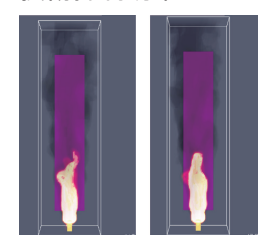
力学機能の評価・シミュレーション



層の薄層化による損傷抑制効果



一方向材 擬似等方材



一方向材 擬似等方材

CFRP積層板に対する燃焼実験とその解析

機械システム学コース 機械理工学専攻
機械材料力学講座 固体力学分野
 教授 平方 寛之, 助教 松永 航

ミクロな世界の破壊現象の解明に挑む

なぜモノは壊れるのか。材料の変形や破壊は複雑な物理現象であり、多くの未解明問題があります。とくに、材料の寸法がナノ・マイクロメートルのスケールになると、私たちがよく知るマクロな材料とは異なる変形・破壊特性を示しますが、そのメカニズムや支配法則は未解明です。高度な機能を産み出すナノ・マイクロ構造物の発展は著しいですが、一方で予期しない破壊が生じることも事実です。当研究室では、ナノ・マイクロテクノロジーを駆使した独自の実験方法を開発して、薄膜や細線などのナノ・マイクロ材料に対する信頼できる材料強度実験を実施することにより、ミクロな視点から複雑な破壊現象や電子物性との連動作用について研究を行っています。



電子顕微鏡TEM観察力学実験装置



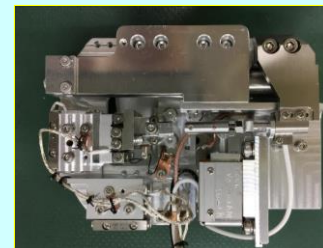
走査型(SEM)・透過型(TEM)電子顕微鏡



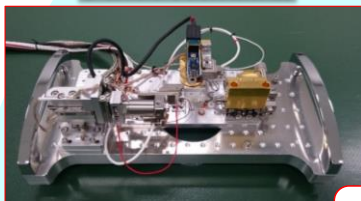
多目的原子間力顕微鏡



電子ビーム/イオンビームナノ加工・実験装置

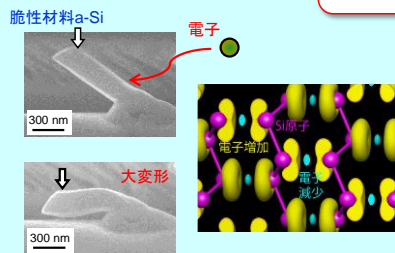


電子顕微鏡SEM観察力学実験装置

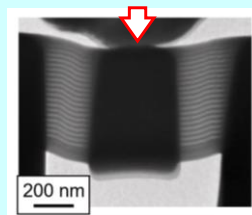


ナノ材料用二軸負荷試験装置

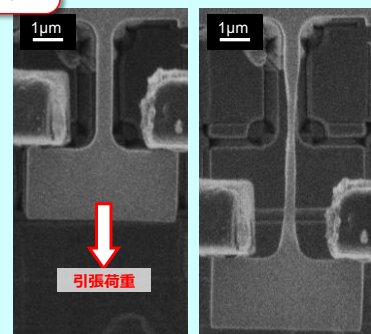
ナノ・マイクロ材料力学実験とミクロな世界の不思議な力学特性



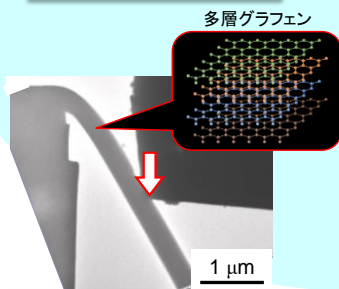
電子で強度を書き換える



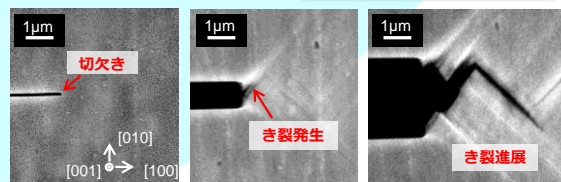
ナノ積層構造のせん断試験



金ナノ材料の引張強度試験



巨大な変形を生み出す原子層積層構造



銅単結晶ナノ薄膜のき裂発生実験の電子顕微鏡観察

強度則の解明：壊れない材料を目指して

主な研究トピックは、ナノ・マイクロスケールの材料強度と材料力学、電子によるリライタブル材料強度、クリープ・疲労破壊の機構と支配力学、二次元材料・原子層構造体の力学、ナノ構造体・薄膜に対する機械的特性評価実験法の開発、高強度・高機能ナノ構造材料の創製、力学と電子物性のマルチフィジックスなどです。

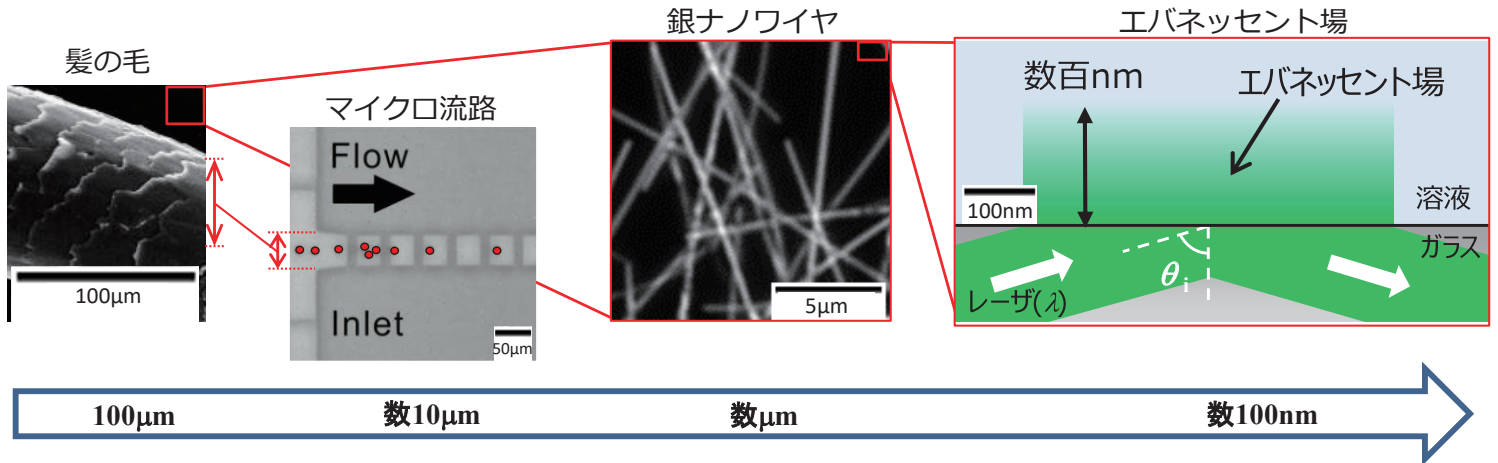
変形や破壊を支配する「力学」と機能を創り出す「物性」に着目して、ミクロな視点から複雑な物理現象を解き明かす学理の構築を目指しています。

機械システム学コース 機械理工学専攻
機械材料力学講座 熱材料力学分野
 准教授 巽和也, 助教 栗山怜子

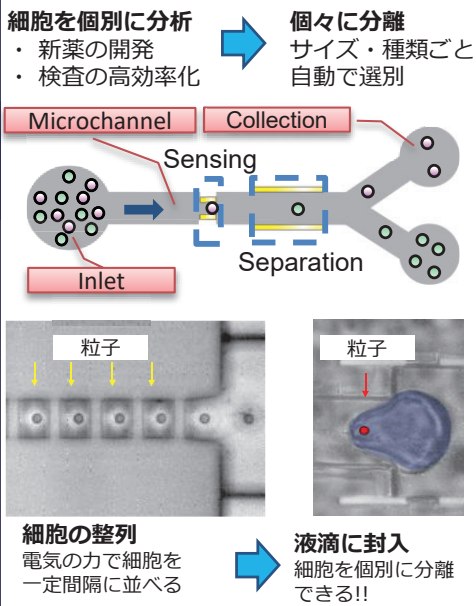


研究テーマの紹介

近年、電子機器の集積化や μ -TAS（マイクロ化学分析システム）に代表されるように工学・医療等の各分野にて熱・エネルギー・流体機器の小型化とその機能・機構の複雑・高度化が進んでいます。このような機器を実現するには、超小型熱交換器やマイクロ流体デバイス等の熱・物質の輸送制御技術および計測手法と評価モデルを開発することが重要です。本研究室では、これらの技術の導入に向けて熱工学・流体力学分野における基礎的研究を行っています。



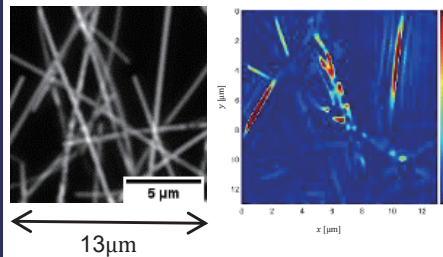
細胞整列機構開発の研究



マイクロスケールの温度分布計測

本研究は、複雑かつ微細な構造を持つ固体の表面温度分布を高空間・時間分解能で測定するために、表面反射率の熱的変化に基づく計測技術(TRI法)の開発を行い、**マイクロ・ナノスケールの伝熱現象の解析と数値モデルの開発**を行っています。

線径100nmの銀ナノワイヤ群の温度測定



計測技術の開発

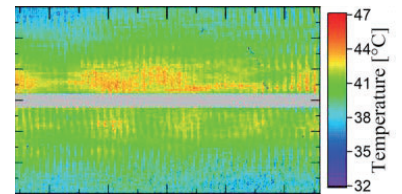
- ✓ 試料反射率の温度依存性を利用
- ✓ ナノメートルの空間分解能
- ✓ マイクロ秒の時間分解能

エバネッセント場を用いた研究

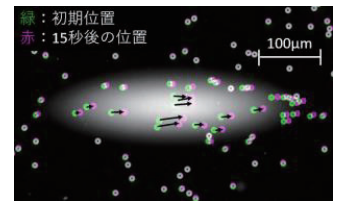
エバネッセント場とは?

光が全反射した際に**わずかに浸み出す光の層**このナノメートル厚さの光の層を用いて計測と制御を行い、**医療・生化学**に応用する。

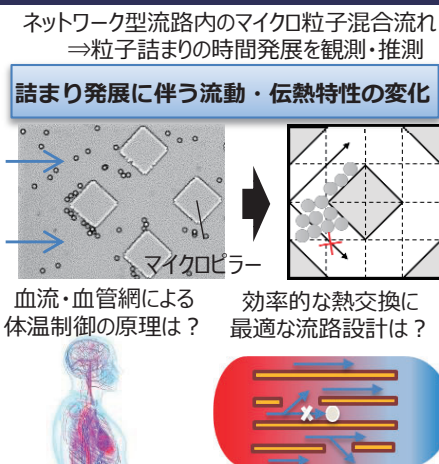
◎ 壁面付近の温度を高精度に測定



◎ 放射圧で粒子を複数個同時駆動



流路詰まり現象に関する研究

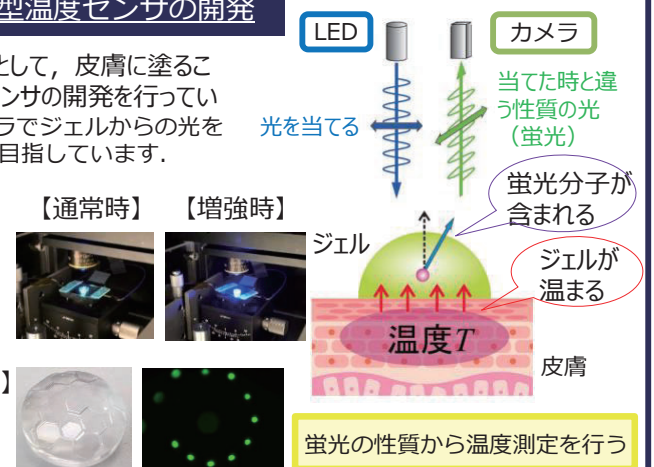


蛍光偏光法によるジェル型温度センサの開発

ヘルスケア分野への応用を目的として、皮膚に塗ることによって体温を計測できるジェル型センサの開発を行っています。将来的にはスマホのカメラでジェルからの光を撮影して温度を計測することを目指しています。

【測定精度向上に向けて】
 金属粒子をジェルに加えることでSN比が向上します。

【測定可能距離の延長に向けて】
 複数の焦点を持つ複眼レンズを用いて蛍光を取得しています。



機械理工学専攻
流体理工学講座・環境熱流体工学分野
教授 長田 孝二

乱流現象の解明と工学応用

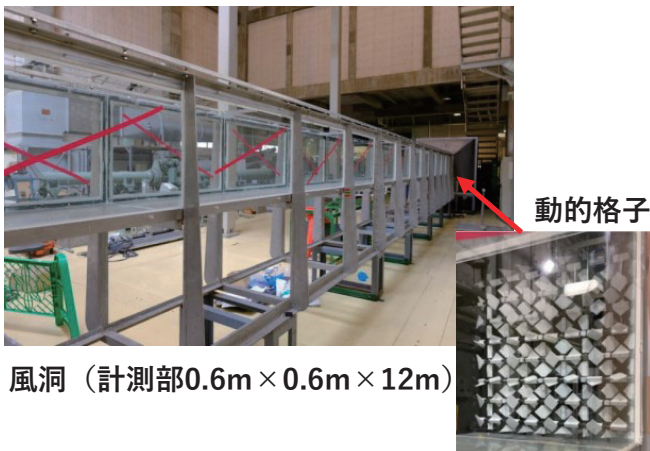
「**ながれ**」は大気・海洋などの環境中、自動車や航空機などの輸送機器、工業装置など至る所でみられます。本分野では、**ながれ**の中でも特に**乱流**に着目した研究を行っています。また、翼周りのながれなどの空気力学（空力）に関する研究も行っています。

研究テーマ例

- ・乱流の発達と減衰過程 ・衝撃波と乱流の干渉
- ・高速流（噴流、混合層、境界層など）中の乱流現象
- ・浮力や旋回を伴う乱流場の構造と熱輸送現象
- ・微気象環境下の乱流輸送現象
- ・超音速流れ場における熱物質拡散・混合・反応・燃焼現象の解明と数値モデルの開発
- ・翼周りの流れの制御・計測・数値予測

乱流の発達と減衰過程

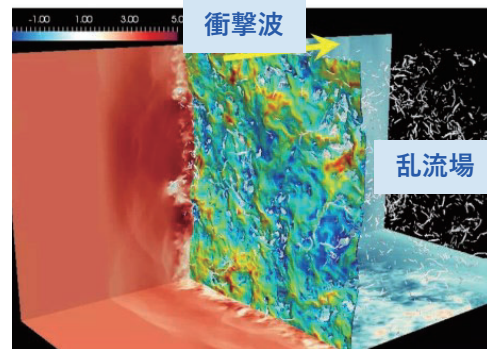
準一様等方性乱流（格子乱流など）の発達と減衰過程を明らかにすることを目指しています。



風洞（計測部0.6m×0.6m×12m）

衝撃波／乱流干渉

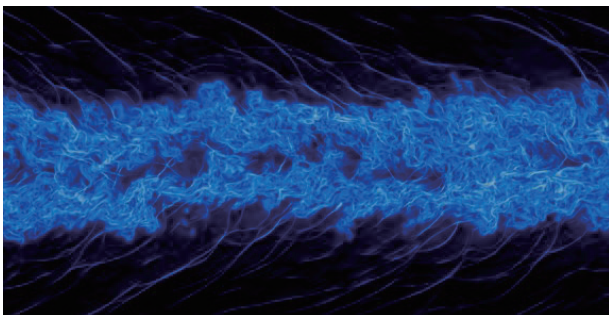
次世代民間超音速旅客機の実現に向けて、ソニックブームの正確な予測が重要となっています。乱流と干渉した衝撃波の特性の変化やソニックブーム低減に関する研究を行っています。



乱流中を伝播する衝撃波の変形

圧縮性乱流

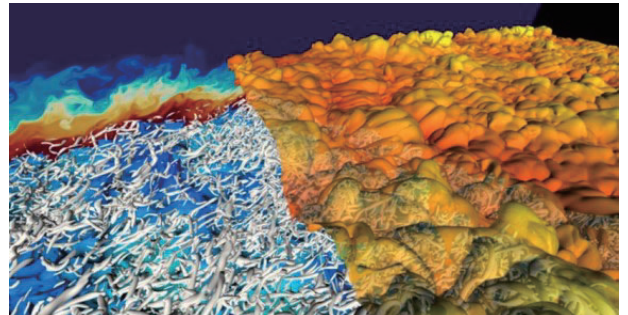
超音速機周りの境界層や超音速噴流などの圧縮性乱流に関する大規模数値計算や圧縮性乱流場生成装置を用いた実験を行っています。



超音速噴流と圧力波の伝播

浮力を伴う乱流場

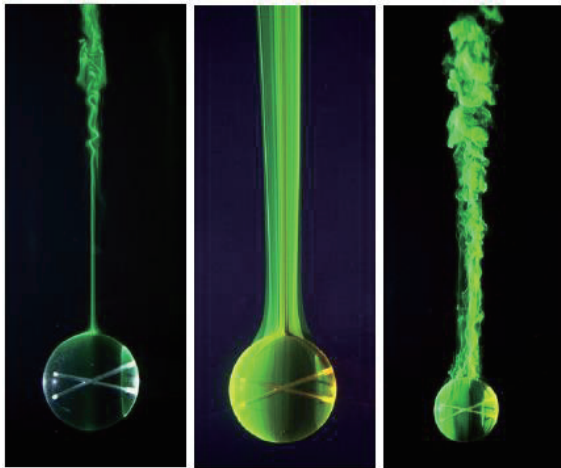
大気や海洋などにみられる圧縮性乱流に関する大規模数値計算や圧縮性乱流場生成装置を用いた実験を行っています。



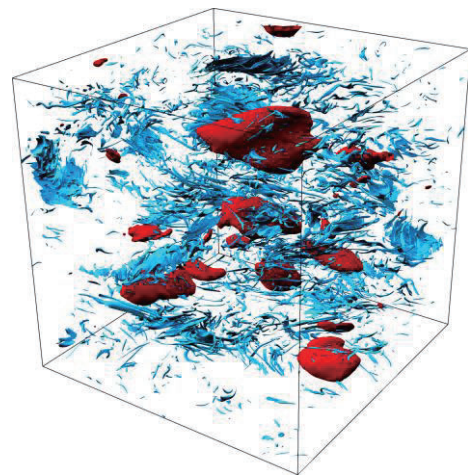
安定密度成層（浮力）を伴う乱流混合層

機械システム学コース 機械理工学専攻
流体工学講座 流体物理学分野
教授 花崎 秀史, 講師 沖野 真也

本研究室では、成層流体（鉛直密度差のある流体）の流れ、乱流、水面波など、複雑な流れと其中での物質や熱の輸送について、計算機シミュレーション、実験、および数学的理論による研究を行い、流体運動のメカニズム解明と応用を目指しています。



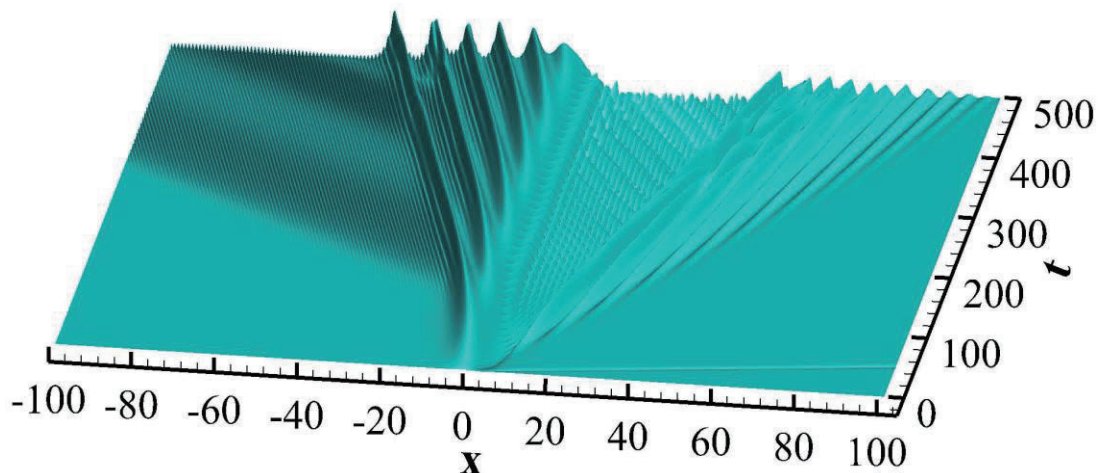
鉛直密度差のある流体中を下降する球による流れ



成層流体中の乱流における運動エネルギー(赤)と密度攪乱(青)の分布

流体は重力場中で放置すると、自然に上が軽く下が重い成層流体となります。成層流体は、浴槽の湯や大気・海洋などの身近な流体ですが、強い鉛直ジェット流の形成（左上図）など、特異な挙動を示します。こうした研究成果は、国際的学術誌の表紙に取り上げられた他、気候変動評価の観測データが不足している深海の観測ブイの設計などに利用されています。

一方、水面波が流路の起伏により励起される様子の計算機シミュレーションも行っています。現在は、mm（ミリメートル）のスケールで重要となる表面張力の効果を研究していますが、大きい（km 以上）スケールでは津波のモデルとなる現象です。



底面の起伏（ $x=0$ にある）により励起された表面張力重力波の時間発展



機械システム学コース 機械理工学専攻
流体理工学講座 熱システム工学分野

教授 岩井裕 准教授 岸本将史 助教 Yuting Guo



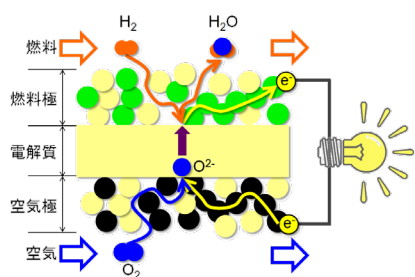
研究室Website

～エネルギー変換・輸送・貯蔵の未来を開拓～

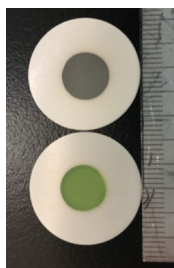
燃料電池や二次電池といった電気化学デバイス内の現象や、水素、炭化水素、アンモニアおよびそれらの混合燃料の触媒反応（改質・酸化・熱分解）を対象に、熱・物質・電荷輸送という**機械工学的な観点からアプローチ**し、ミクロからマクロにわたる複雑現象を解明するとともに、これらデバイスの更なる展開につながる本質の理解をめざしています。また新たなエネルギーシステムの創出に向けた研究を行っています。

高効率発電

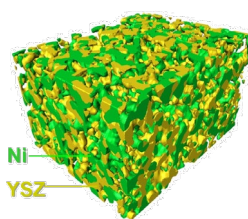
高い発電効率を有する固体酸化物形燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell: SOFC）の研究を行っています。電極に用いられる多孔質体の3次元構造観察技術と、熱・流体・電荷の連成シミュレーション技術を駆使してSOFCの高性能・高耐久化を目指しています。



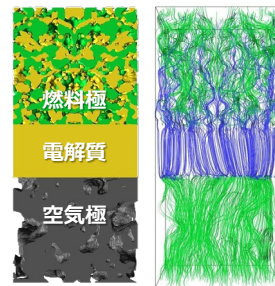
SOFCの構成と原理



研究室製ボタンセル



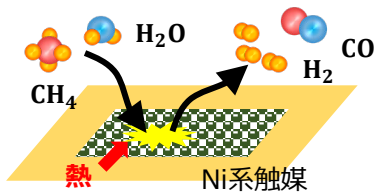
電極多孔質の
3次元構造



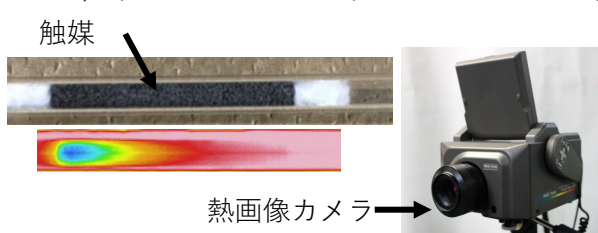
内部の電流経路の可視化

水素製造

水素は貯蔵性や運搬性に課題があるため、化合物の状態での貯蔵・輸送を行い、必要な時に水素を取り出すことが考えられています。そこで、炭化水素やアンモニアから効率的に水素を製造するための研究を行っています。触媒における反応量を調べたり、温度分布の可視化や数値解析を駆使して反応メカニズムを解明し、物理モデルの構築を行っています。



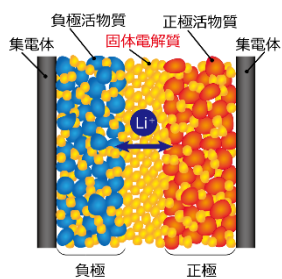
メタン水蒸気改質



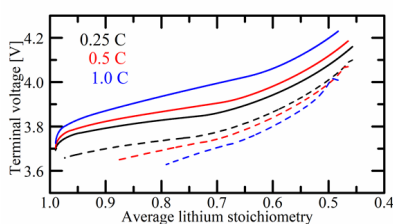
触媒上温度分布の可視化

蓄エネルギー技術

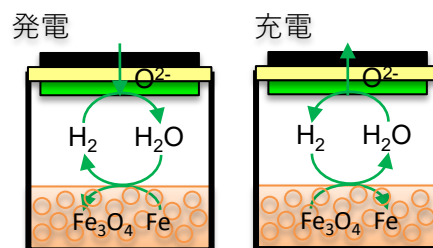
再生可能エネルギーの導入が進み、電気を貯める技術の重要性が高まっています。リチウムイオン電池の内部現象と充放電特性の相関を数値シミュレーションにより解明したり、SOFCと鉄の酸化還元反応を組み合わせた新規蓄電デバイスの実証を行っています。



全固体リチウムイオン電池



充放電特性の再現



固体酸化物形鉄空気電池

機械システム学コース 機械理工学専攻 物性工学講座 光学分野

教授 蓮尾 昌裕、准教授 四竈 泰一、講師 Arseniy Kuzmin

研究の概要

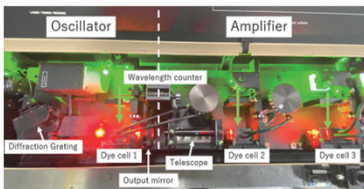
光は物質と密接に関連しています。物質が発する光を調べることでその本質に肉薄し、物質に光を作用させることにより、そのありようを制御できます。また、光を用いた計測技術は、人や物が直接触れることのできない対象の観測手段として大変有効なものです。

我々はプラズマ・気体・固体が関わる様々な現象に対して、**新しい光計測手法を開発し**、その理解および利用・制御のための基礎的な研究を行っています。特に新しい計測手法の開発に関しては、従来手法の改良的な視点ではなく、**原理からの抜本的検討により、波長分解能、波長範囲、強度、時間分解能、偏光、空間分解能、空間範囲などの積で2桁以上の性能向上**を目指しており、その達成により、これまで見出されてこなかった様々な現象を発見しています。

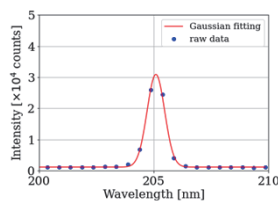
プラズマのレーザー・分光計測

- 2光子吸収レーザー誘起蛍光分光法、半導体レーザー吸収分光法、レーザー誘起ブレイクダウン分光法などの**プラズマや気体・固体を対象としたレーザー計測法**を開発しています。

色素レーザー内の光学素子

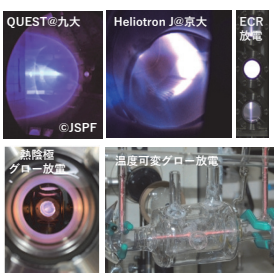


2光子吸収用レーザースペクトル

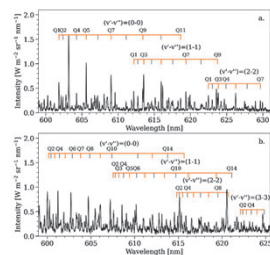
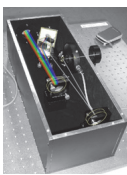


- 核融合プラズマ（エネルギー）、ECR放電プラズマ（産業）、グロー放電プラズマ（基礎）などのパラメータや物理現象の研究を目的として、**イオン・原子・分子輝線スペクトルの分光計測**を行っています。計測に用いる分光器開発やプラズマ現象のシミュレーションも行っています。

各種プラズマ



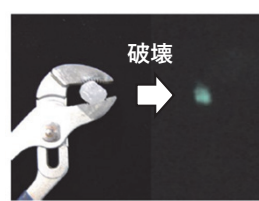
(左) 分光器、(右) 水素分子スペクトル



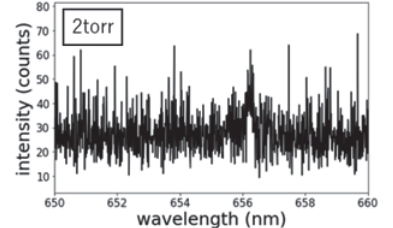
固体の分光計測

- 結晶を破壊したときに生じる発光（**トライボルミネセンス**）を分光計測することで、破壊時の帯電や応力を明らかにすることを目指しています。

空気中の氷砂糖のトライボルミネセンス

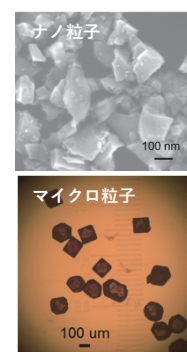


水素中の氷砂糖のトライボルミネセンススペクトル

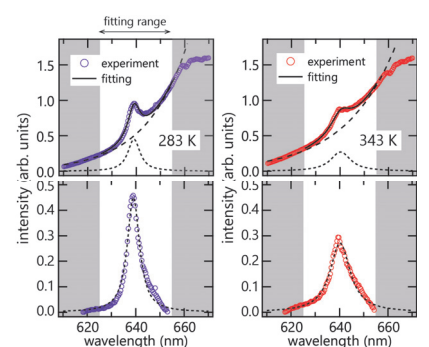


- MEMSデバイスや半導体集積回路の温度計測を目的として、**NV中心を含むダイヤモンド粒子の蛍光スペクトル**を利用した温度センサーを開発しています。

ダイヤモンド粒子



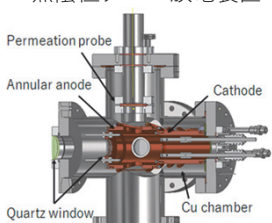
蛍光スペクトルの温度依存性



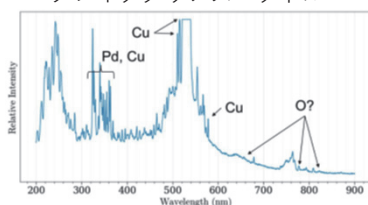
PdCu薄膜の水素透過特性解明

- プラズマ中の水素流束計測やプラズマ反応炉での水素分離を目的として、**PdCu薄膜の水素透過特性**を明らかにすることを目指しています。

熱陰極グロー放電装置



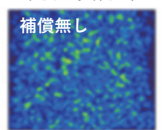
PdCu薄膜のレーザー誘起ブレイクダウンスペクトル



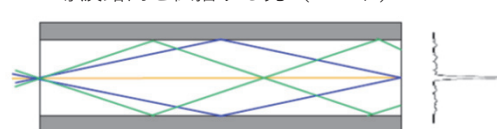
矩形導波路モードの位相補償

- 細径内視鏡への応用を目的として、矩形導波路内を伝播する光（モード）の**位相補償**により、導波路出射光の光強度分布を制御する手法を開発しています。

出射光の光強度分布



導波路内を伝播する光（モード）





機械システム学コース 機械理工学専攻
物性工学講座 材料物性学分野
教授 嶋田 隆広 助教 見波 将



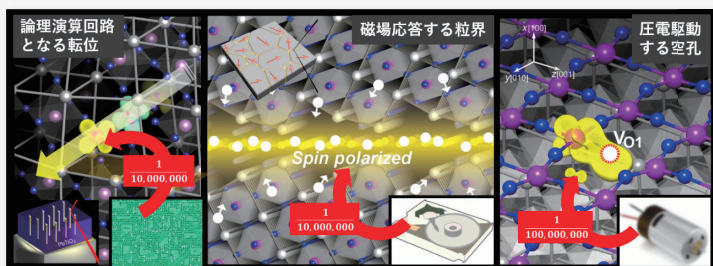
研究室HP

<https://material.me.kyoto-u.ac.jp>

皆さんにとって、「夢の機械」は何ですか？

ガンダムのような巨大な高出力ロボット、宇宙空間を旅する惑星探査機や月と地球を結ぶ軌道エレベータ、とても小さなナノマシン、自動運転やAIなどの人間の新しいパートナーなどでしょうか？ 未来の機械はわくわくする機能を備える反面、今の人類が扱う材料強度や機能では夢の機械を実現することは困難です。

私たちは、未来の機械を創るための材料機能開発を行っています



「欠陥」は究極のナノマシン!

私たちは欠陥が従来材料にない機能を持ち、物質中を動き回って様々な仕事をする「究極のナノマシン」へと創り変わることを発見しました。

工学

原子・分子構造解析
Molecular dynamics

結合・電子状態解析
Ab initio

微視組織解析
Phase field

欠陥構造解析
DD

力学解析・形状設計
Finite element method

「夢の機械」を実現する
材料機能デザイン

物質に潜む無限の可能性への挑戦

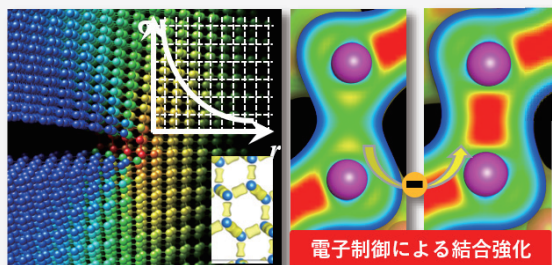
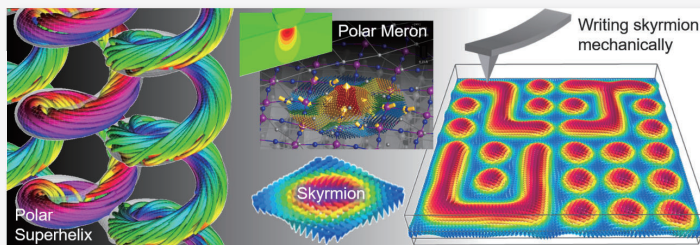
科学

電子・原子 ナノ メソ マクロ

Equations: $F = \tau b \times \xi$, $\frac{\partial \eta}{\partial t} = -L \frac{\delta F}{\delta \eta}$, $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{L}} \right) - \frac{\partial L}{\partial L} = 0$, $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V \psi = E \psi$, $\int_V \sigma_{ij} \delta \epsilon_{ij} dV$, $\int_{S_t} i_t^0 \delta u_i dS + \int_V \rho b_i \delta u_i dV$

力で「創る」最先端材料機能

私たちは、材料に「力」を負荷することで、わずかな磁場で作用する特殊な磁石を力学的に創り出すなど力と力たちによって新しい物性を開拓しています。



「理論上最強」よりもさらに強い!

私たちは、電子を意図的に制御する技術によって原子間結合を強化し、理論上の最大強度と信じられてきた「理想強度」を超える強度を実現する科学と技術を開発しています。

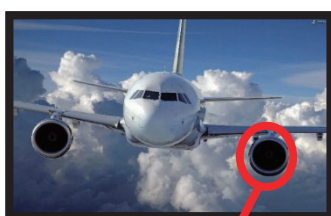
研究の概要

本研究室では、熱力学、伝熱学、流体力学、分光学、電磁気学を基礎として、流体および固体の熱力学性質、熱輸送性質、熱ふく射性質、ならびにそれらの複合現象をナノ～マクロスケールで解明することを目的としています。また、このような基礎研究に基づいて、“ものづくり”の工学を支える数値解析技術および計測技術の開発・高度化を進めています。

研究テーマ例

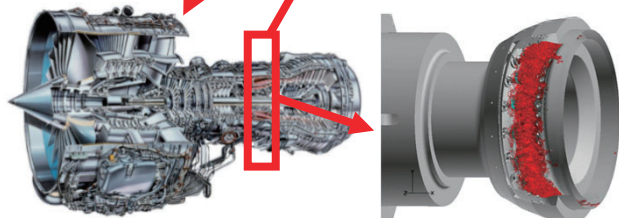
乱流燃焼解析

ジェットエンジンの数値シミュレーション



Airplane (©Boeing)

航空機用液体燃料の
微粒化シミュレーション

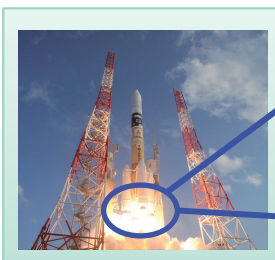
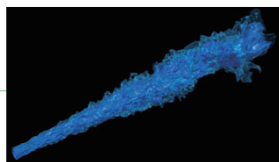


Gas turbine engine 丸ごと数値シミュレーション
(©Pratt & Whitney) (JAXAと共研)

ロケットエンジンの数値シミュレーション



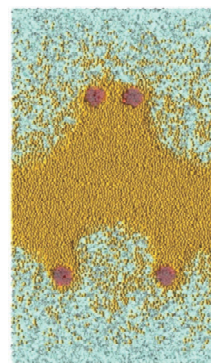
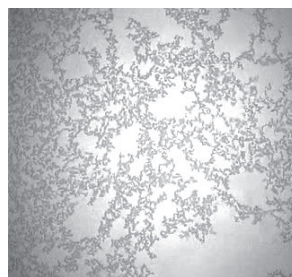
数値シミュレーション
(MHIと共研)



LE-7/7A (© MHI)

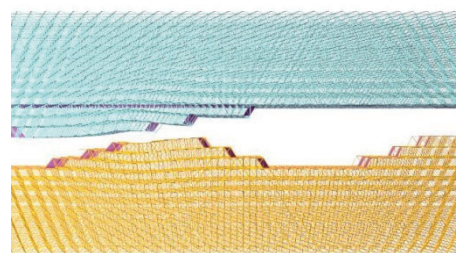
マイクロスケールの輸送現象

間隙内の流体相変化



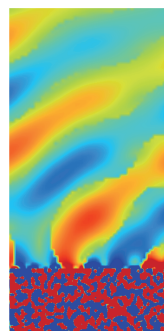
板の間の液体が蒸発する
過程で見られる複雑なパターン

生体潤滑のマイクロなメカニズム



軟骨接触時の潤滑の
マルチスケールシミュレーション

ふく射放射の測定とモデリング



金属表面から
放射されるふく射の
シミュレーション

機械システム学コース 機械理工学専攻 機械力学講座 機構運動工学分野

小森雅晴 教授・寺川達郎 助教

研究の概要

ロボットのハンドやアーム，歩行機構，飛行機の脚部，自動車のサスペンションやステアリング，エンジン動弁系，腕時計など，機械には様々なメカニズム・機構・からくりが用いられています。また，メカニズム・機構を動かすためにはモータなどのアクチュエータが必要となります。このような，メカニズム・機構・からくり・アクチュエータなどの研究・開発を行なっています。

真横にも，どの方向にも移動できる！

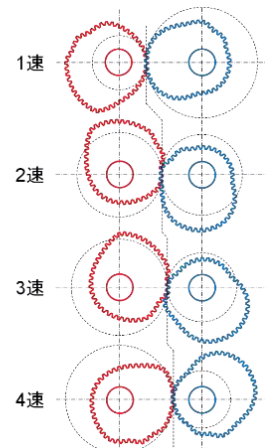
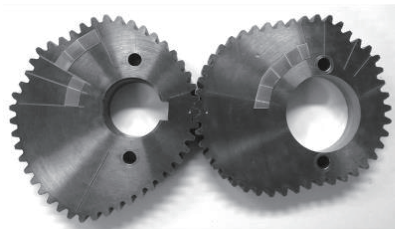
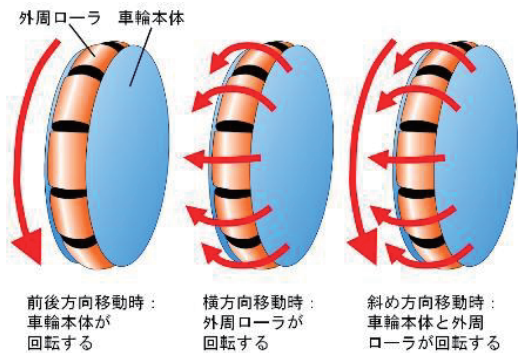
未来型の乗り物を開発

真横にも，どの方向にも移動できる，未来型の乗り物パーモビーを開発しました。開発した一人用の乗り物パーモビーは，前後・左右・斜めのどの方向にも移動可能な全方向駆動車輪を用いることにより，前後だけでなく真横にも斜めにも移動することができ，また，その場で回転して向きを変えることができる特徴を有しています。これにより，病室やオフィス，エレベータなどの狭いスペースでの移動が簡単になります。また，この技術は工場や倉庫で用いる移動車両や搬送車，コンベアなどに応用可能と考えられます。



変速時の駆動力抜けのない変速システムを開発

駆動力抜けの無い新しい変速システムを開発しました。通常の変速機では歯車対の切り替えを行う際に動力源と駆動輪の間のトルク伝達を一度切断する必要があります。本技術では，そのタイミングにおいて，非円形歯車によって駆動力を伝達します。非円形歯車は減速比を滑らかに変化させることができる形状をしており，切り替えを行う2組の歯車対の中間的な状況を作り出し，変速中でも駆動力を伝えることができます。これにより，変速の際に速度が低下することを防ぎます。



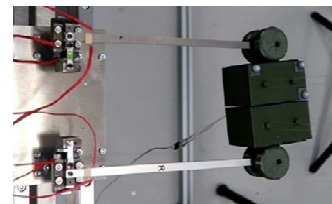
機械システム学コース 機械理工学専攻
機械力学講座 メカトロニクス分野
准教授 遠藤孝浩

機械と電気、制御の融合による インテリジェントな機械システムを目指します

メカトロニクスシステムの制御

ー物理法則に合った制御ー

システムのもつ力学的本質をうまく抽出したモデル表現を導き、そのシステムに固有のダイナミクスを巧みに利用したダイナミクスベース制御系を構築しています。たとえば複雑な対象でも、本質をつくことで、簡単な制御器でその対象を安定化できます。このダイナミクスベース制御の構築を目指し、宇宙ロボットや柔軟構造物の制御を研究しています。

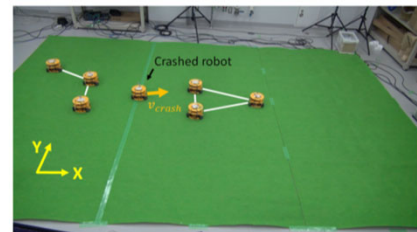


柔軟アームによる物体把持

ーロボット群の制御ー

多数のロボットから構成されるロボット群は、1台のロボットでは達成できないタスクを実現できる可能性を秘めています。

群れを維持したまま目的の場所へ移動するロボット群の誘導制御や、複数ロボットのうち故障したロボットがいても群を誘導できる制御手法を開発し、その安定性の理論的証明、実験による有効性の検証を行っています。



ロボット群の誘導制御

Haptics (ハプティクス)

ーヒトの触知覚能力を高める技術ー

ハプティックとは、触った感覚という意味です。この触った感覚をヒトに提示する技術をハプティクスと言います。ハプティクスに関する研究の中でもヒトの触知覚能力を高める方法を研究しています。

例えば、ヒトの指先での触知覚能力を高める確率共鳴現象 (SR) を発現するVRシステムの開発、それを用いた運動学習スキームの提案、確率共鳴現象の効果を高めることで、触知覚能力をより高めるシステムの研究開発を行っています。

将来的には、熟練技能者のように優れた触知覚能力を獲得する、加齢により衰えた触知覚能力を回復する等を実現したいと考えています。



ハプティックデバイスを用いた指先力の運動訓練システム

ハプティックインターフェース
フィードバック情報提示

振動子
ノイズ付与



触感覚向上機能を有する、手指を用いた運動学習
「ノイズ付与による指先知覚の向上」と「ハプティックインターフェースによる、指先への訓練支援用情報提示」から構成される。

機械システム学コース 機械理工学専攻
機械力学講座 機械機能要素工学分野
 教授 平山朋子 助教 安達眞聡

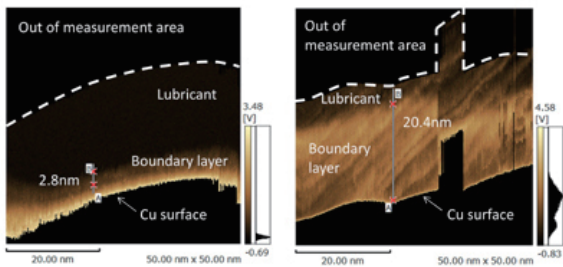
物理メカニズムに立脚した機械要素の高性能化・高機能化

機械を設計する上で、“機械要素”と呼ばれる規格化された部品－例えば、軸受、歯車、軸継手、ねじ、ばね、シール等－の使用は必須であり、見渡せば私たちの身の回りにもたくさんの機械要素が使われています。当研究室は「機械機能要素工学研究室」と銘打ち、機械要素で生じる物理現象の基礎的解明とその知見に基づく機械要素の高性能化・高機能化、さらには従来の機械工学技術関連のものとは異なる物理現象を利用した新しい機械要素技術の開発に取り組んでいます。

各種界面分析法による境界潤滑層の構造および形成メカニズムの解明

機械工学技術において、要素間の摩擦およびそれに伴う摩耗の発生に関する諸問題は極めて重要な課題であり、トライボロジー分野において多くの研究が進められています。

当研究室では、潤滑油中に含まれる添加剤から成る「境界潤滑層（摩擦低減層）」に焦点を当て、さまざまな界面分析手法を用いることで、その構造や物性および形成・脱離といった動的プロセスの解明に取り組んでいます。

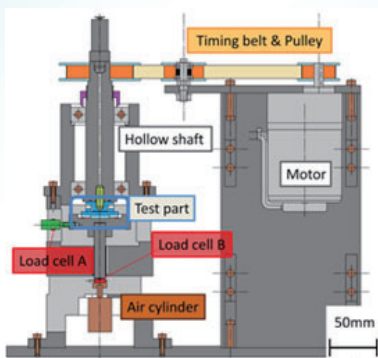


高感度な液中AFMによって得られた銅/パルミチン酸吸着界面の断面像
 (左：分析開始時、右：数時間の分析作業を行った後)

各種摺動試験機による境界潤滑層の摺動特性の把握

境界潤滑状態を表す摩擦モデルが初めて公に提示されたのは1930年代であり、固体間に形成される何らかの層の形成がキーとなっていることは古くより知られていました。しかしながら、境界潤滑層と呼ばれるそのような分子鎖状の層は極めて薄く、その構造や物性は近年に至るまで謎に包まれてきました。

当研究室では、独自の分析装置を用いて、そのような境界潤滑層の物性計測を行っています。

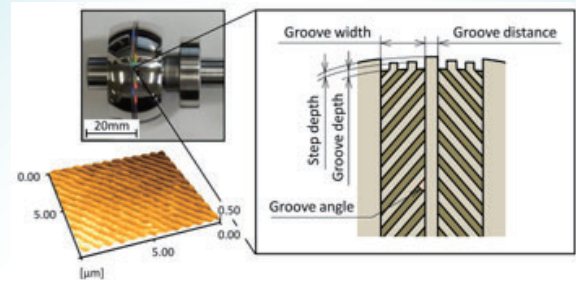


開発した実験装置一例：狭小すま摺動試験機

ナノテクスチャによる流体潤滑特性の向上とその応用

流体潤滑状態とは油膜を介して非接触摺動を実現している状態を指し、機械摺動面において最も望ましい潤滑形態とされています。その流体潤滑状態をより積極的に作るには、表面テクスチャの形成が有効です。

当研究室では、主に、フェムト秒レーザーや精密エッチングによって形成した表面ナノテクスチャを対象とし、流体潤滑から混合潤滑に至るまでの潤滑挙動について詳細な研究を行っています。

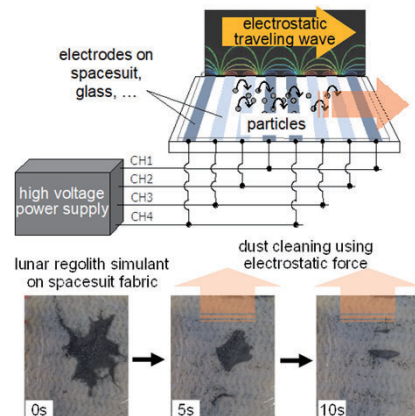


ナノテクスチャ加工を施した球によるEHL油膜厚さ増加実験例

電磁場を利用した月・火星レゴリスのハンドリングに関する研究

長期宇宙探査の実現には、現地資源であるレゴリス土壌の活用が不可欠です。また、このレゴリスは宇宙服や探査機器等に付着し易く、それらの故障を招くことから、その対策が最重要課題の1つとされています。つまり、宇宙環境下で粉体ハンドリングを問題なく行うための機械要素技術・システムが求められています。

当研究室では、宇宙環境との相性が良い静電気力や磁気力を利用して粉体をハンドリングするという、新しい機械要素技術の開発などにも取り組んでいます。



進行波電界を利用した宇宙服のクリーニングシステム



機能創成デバイス工学研究室

講師 平井 義和



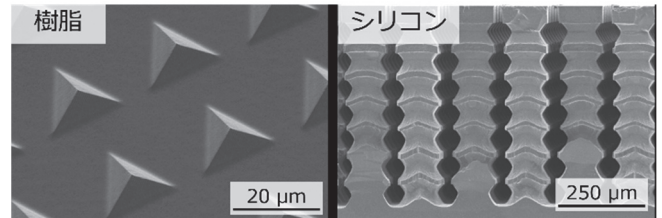
<https://mdde.me.kyoto-u.ac.jp>

世界最先端・独自の研究データは、オリジナルのナノ・マイクロオーダーの微細加工技術やデバイス、計測技術から生じるものと考えて研究を行っています。創造的・独創的な**ナノ・マイクロシステムの研究開発**に資する**3次元微細加工**と機械工学に基づいた設計・解析を主な基幹技術として、量子干渉効果を用いた超小型**原子時計**や医薬品開発・疾患機序解明における革新的なツールと期待される**生体模倣システム** (Body-on-a-Chip)など、世界をリードする分野融合型研究にも積極的に取り組んでいます。

キーワード： ナノ・マイクロ加工、ナノ・マイクロデバイス、量子センサ、生体模倣システム、1分子計測

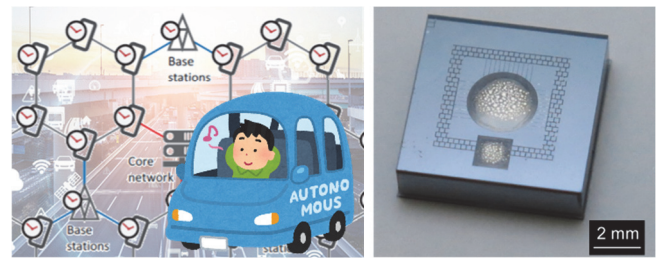
ナノ・マイクロ加工：3次元微細加工技術と設計論の構築

多様化が進むナノ・マイクロデバイスの高機能化・高性能化に対応する独自の**3次元微細加工・集積化技術**(シリコン、ポリマー)の開発や、**設計・解析の方法論**を構築することで、これまでにない機能デバイスの設計・開発へ応用する研究を行っています。



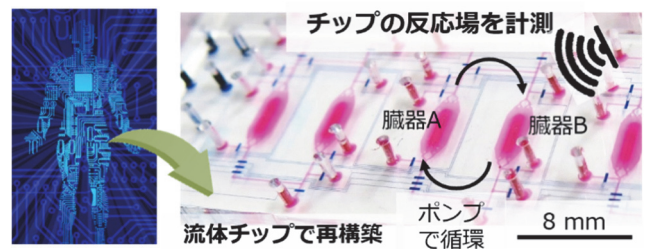
量子センシング：高性能チップスケール原子デバイスの開発

量子科学技術を応用した高度な操作・制御技術の進展により、**センサの感度や計測分解能を極限まで高める研究**が活発になっています。例えば、次世代情報通信基盤(Beyond 5G/6G)や自動運転技術・スカイカーの時空間同期・制御を行うために使う「**高性能な超小型原子時計**」の製造技術を開発しています。



バイオマイクロシステム：センサ・マイクロ流体技術を利用した生体模倣システムの創製

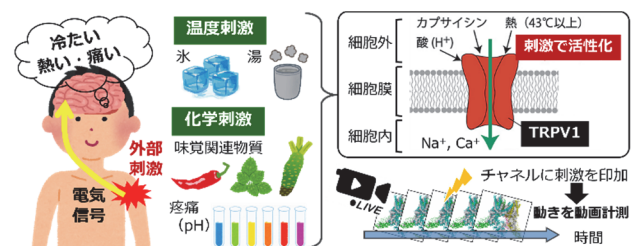
微小な流路や容器で構成される手のひらサイズのマイクロ流体デバイスとヒト由来細胞を使って**体のしくみを模倣する「組織チップ／ボディ・オン・チップ」**は、動物実験を代替する創薬試験デバイスとして世界的に注目されています。本研究では、チップにセンサを搭載して細胞組織や臓器間相互作用をリアルタイムに計測する技術を開発し、**新しい医薬品の開発や疾病進行・機序の解明のスピードアップ**を目指しています。



桂図書館・「桂の庭」で紹介中
<https://seeds.t.kyoto-u.ac.jp/seeds/hirai/>

ナノバイオ科学：膜タンパク質の機能制御機構を解明する1分子動態計測技術

細胞膜に存在する**温度感受性(TRP)イオンチャネル**群は、生体マルチセンサとして熱や力、化学物質による刺激を受感して働くことが知られています。その本質的な機能を理解するために、マイクロデバイス技術を使って物理・化学的刺激を TRP チャネルに印加し、**機械のように動く様子をその場で動画計測**する「1分子計測技術」に取り組んでいます。



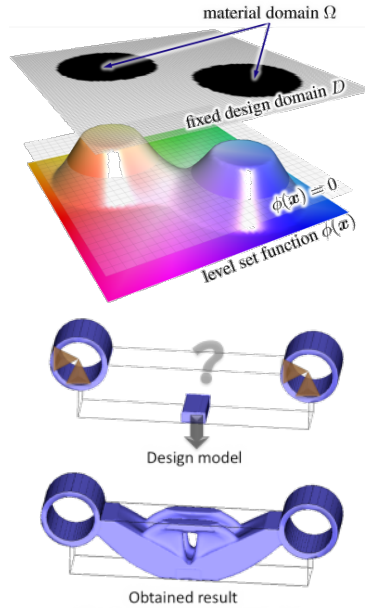
構造材料強度学講座

教授 泉井一浩, 講師 林聖勳

Topology optimization

-トポロジー最適化-

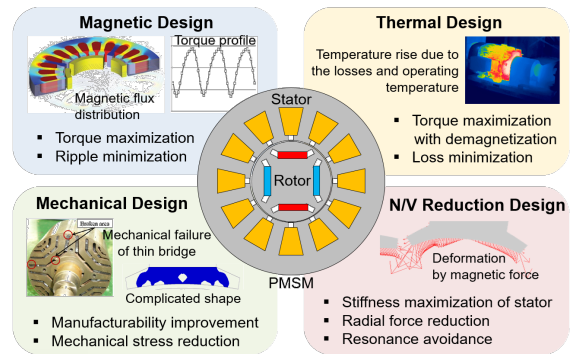
トポロジー最適化は、構造物の最適な形状・トポロジー（穴の数）を、物理学・数学理論に基づくコンピュータ計算により自動的に求める方法であり、次世代の機器設計開発に必要不可欠な基盤技術として、学术界・産業界において注目されています。当研究室では、レベルセット関数による形状表現（左図上）を用いた独自の最適設計手法に基づき、機器の高性能化・高機能化に加えて、今までにはない新しい機能を持つデバイスや材料の創成設計法の開発を、世界に先駆けて取り組んでいます。



Electromagnetic devices

-電磁デバイス-

近年の環境問題に関連し、燃費に対する規制が厳しくなっています。そのような状況の中、産業界では燃費向上のために電磁デバイスを用いることが増えていきました。私たちの研究室では、下図のような電磁デバイスの性能を向上させるためのマルチフィジックス・マルチマテリアルの最適設計手法を開発しています。



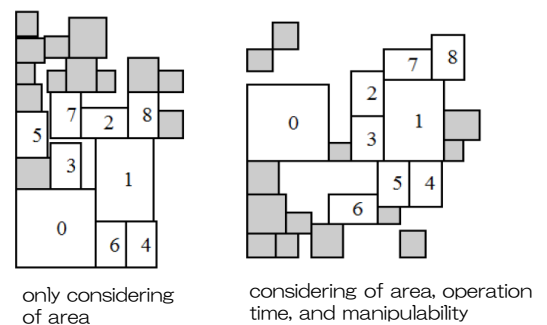
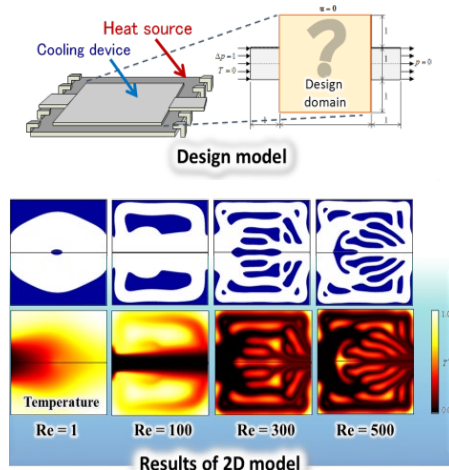
国際競争を勝ち抜く 革新的な次世代機器

先駆的な新産業の創成を目指して

Thermal fluid devices

-熱流体デバイス-

代表的な熱流体デバイスとして、流れによる熱交換・冷却を行うヒートシンクがあります（右図）。熱・流体のように複数の物理現象が連成する問題に対しても、トポロジー最適化法を適用することができます。当研究室ではこの他にも、ペルチェ素子やピエゾ素子等の様々なマルチフィジックスデバイスの最適設計法の開発を行っています。



Layout Design Optimization

-レイアウト設計-

近年、多品種少量生産に対応可能なことから注目が集まっているロボットセル生産システムでは、ロボット等の機器の位置を決定するレイアウト設計が重要となります。当研究室では、遺伝的アルゴリズムに基づく発見的手法により、複数の評価基準を考慮したレイアウトの最適設計を行っています。

Activities

-活動実績-

日本機械学会、日本計算工学会、精密工学会を中心として、関連する講演会及び学術雑誌において、研究成果を発表しています。国外では WCSMO を始めとする最適設計分野の国際会議、WCCM を始めとする計算力学分野の国際会議において講演発表を行っています。さらには、“Computer Method in Applied Mechanics and Engineering” などの著名な国際雑誌において研究成果を発表しています。

ナノシステム創成工学講座 マイクロバイオシステム分野

教授 横川 隆司, 特定准教授 Ramin B. Sadeghian, 助教 藤本 和也, 特定助教 Hang Zhou

研究室HP: <http://www.ksys.me.kyoto-u.ac.jp/>

研究概要

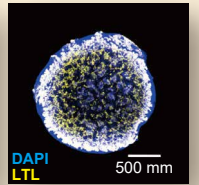
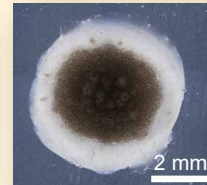
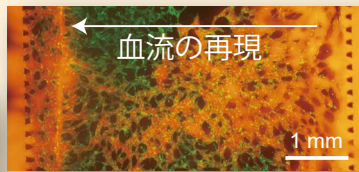
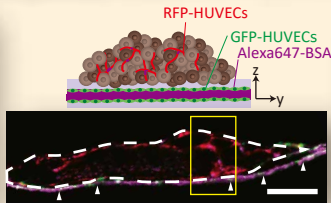
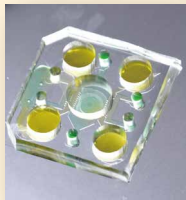
マイクロ・ナノ加工技術を基盤に、細胞スケールの生体材料と融合した**バイオメカニクス**および**再生医療研究**を展開しています。ヒトiPS細胞由来の各種細胞を用いて、血管網と実組織の界面をマイクロ流体デバイス内に再現します。臓器発生過程の理解を目指す基礎研究、薬物動態や安全性を評価する流体デバイスの開発、機械学習による血管網の評価など、マイクロ・ナノ加工技術の貢献する幅広い研究を対象としています。

研究室HPへ



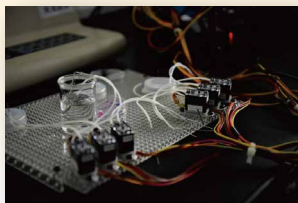
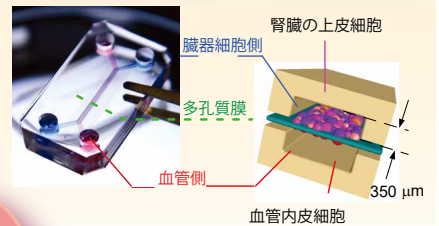
Organ-on-a-Chip/MPS (生体模倣システム) 体の中の組織を体の外で再現する

二次元培養 血管側と臓器細胞側を分離



血管網と三次元組織の共培養により生体を再現
疾患モデルとして診断や創薬技術に応用

iPS細胞由来腎臓オルガノイド



生体機能を見る

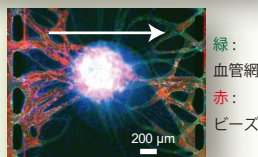
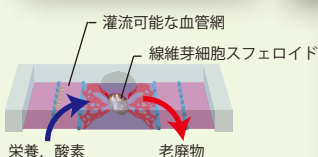
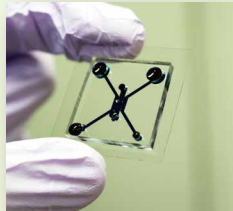
オンチップ ナノバイオ システム

生体機能を作る

生体機能を測る

三次元組織に血管網をつなげる

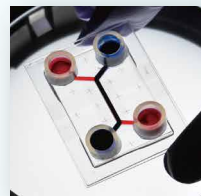
オンチップ血管新生



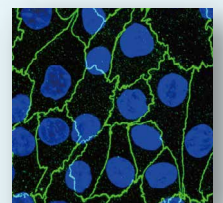
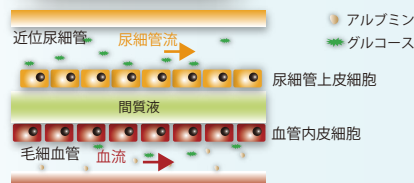
がんの三次元組織に血管網を接続し薬剤開発へ

細胞の機能を測る

細胞機能評価のための実験系



1. 上部電極
2. PDMS チャンネル
3. 多孔質膜
4. PDMS チャンネル
5. 下部電極



腎臓の近位尿管の機能を模倣したデバイス開発

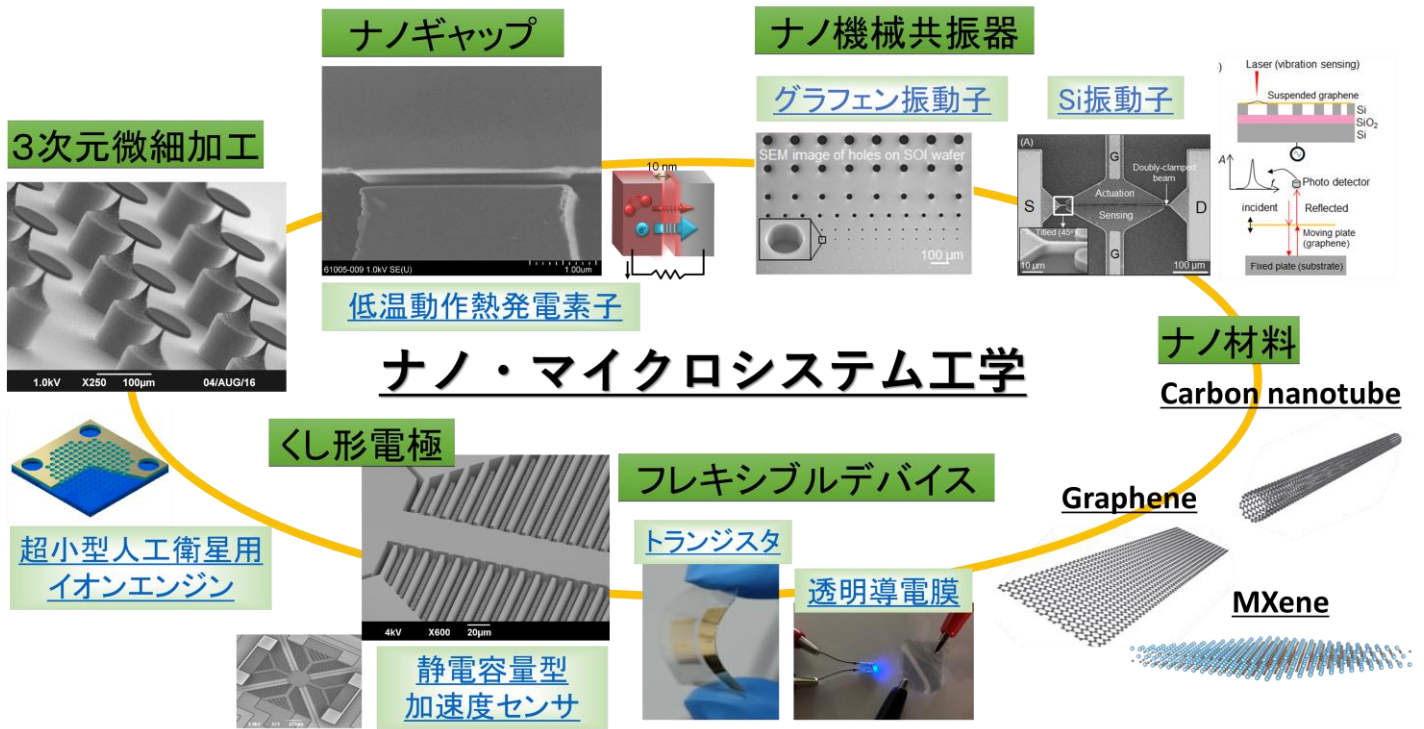
機械システム学コース マイクロエンジニアリング専攻 ナノシステム創成工学講座 ナノ・マイクロシステム工学分野

研究室構成員

教授 土屋 智由 准教授 廣谷 潤 講師 Amit Banerjee



秘書 1名、研究員 2名
学生：
博士課程 3名
修士課程 13名
学部生 6名
特別研究学生 1名
(2023年6月現在)



研究内容

主に半導体微細加工技術で作製するナノ・マイクロスケールの機械、すなわちナノ・マイクロシステムに関する研究をしています。この領域では寸法効果によってマクロの機械とは異なった現象、たとえば身近にありながらあまり注目されない静電気、気体の粘性、さらには量子効果に基づく現象を取り扱い、機械工学を新しい視線で理解することが求められています。我々は、ナノスケールサイズの新材料や最新の加工技術、計測・評価技術、設計・解析技術を駆使して、新たな機械を創成することを目指しています。

<詳細はホームページで> <https://www.nms.me.kyoto-u.ac.jp>

京都大学 ナノ・マイクロシステム工学研究室

検索



機械システム学コース マイクロエンジニアリング専攻
ナノサイエンス講座 ナノ物性工学分野
 准教授 中嶋 薫

ナノテクノロジーの扱う対象の大きさは1 nmから1 μm程度です。物質がこのような大きさになると、巨視的な大きさの物質とは異なる物理的・化学的性質が現れます。当研究室では、ナノスケールの領域での固体・液体の構造や性質に関する研究を行っています。

$$1 \mu\text{m (マイクロメートル)} = \frac{1}{1,000,000} \text{ m}$$

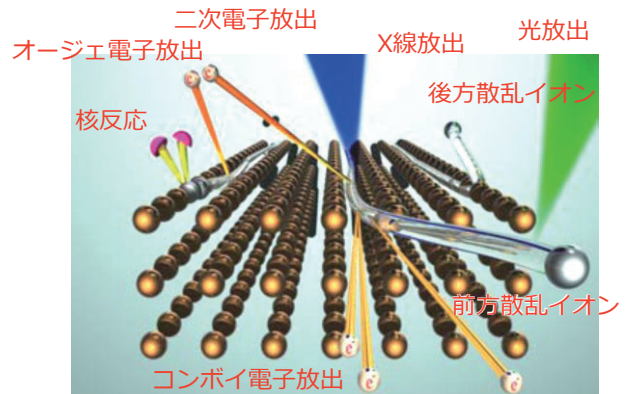
$$1 \text{ nm (ナノメートル)} = \frac{1}{1,000,000,000} \text{ m}$$

高速イオンと表面の相互作用の解明

マイクロマシンや超LSIなど、工学のいろいろな分野で微細化が進んでいます。扱う対象が小さくなると、表面の影響が大きくなるため、表面の構造を知ることや表面を制御することが重要になっています。当研究室では、高速のイオンを使って表面を調べたり、表面を加工または制御したりするための基礎として、高速イオンと表面の相互作用を調べています。



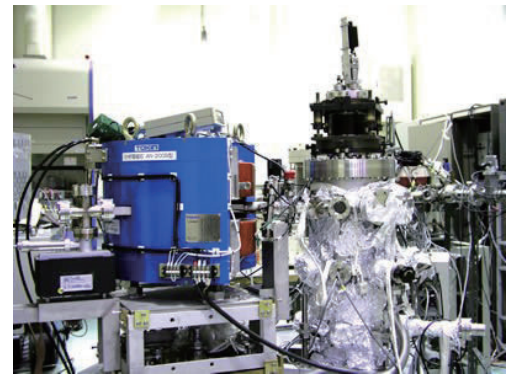
マイクロイオンビーム
 解析実験装置
 (京都大学量子理工学
 教育実験センター)



高速イオンと表面との相互作用の結果、光放出や二次電子・二次粒子放出などの様々な興味深い現象が観察されます。

超小型高分解能RBS装置の開発と応用

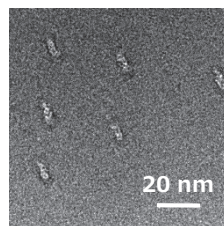
ナノテクノロジーにおいては、原子数個分程度の厚さの各種の薄膜が主役になっています。望み通りの高品質の薄膜を作るためには、それらを測る（分析する）技術が不可欠です。このため原子レベルの分解能を持った分析手法の開発が求められています。当研究室では、高速イオンを使って世界で初めて1原子層ごとの組成分析・構造分析を可能にする高分解能RBS法を開発しました。さらに、神戸製鋼所との共同研究で装置の小型化と製品化に成功しました。



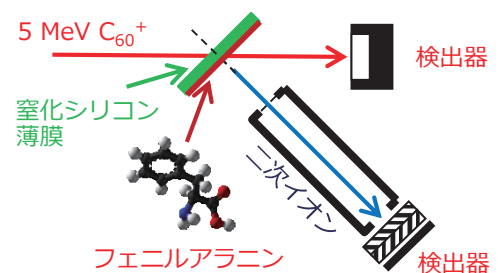
(右写真) 開発した高分解能RBS装置

高速クラスターイオンを用いた加工法・分析法の開発

多数の原子で構成されるイオンをクラスターイオンといいます。高速のクラスターイオンを物質に照射すると、非常に狭い領域に一度にエネルギーが与えられるので、1個の原子から成るイオンを照射したときと全く異なる効果が得られます。高速クラスターイオンと物質との相互作用の解明とともに、これを利用した高効率な加工法や、高感度な表面分析法の開発に取り組んでいます。



高速C₆₀イオンを照射した窒化シリコン薄膜の透過電子顕微鏡写真



高速のC₆₀イオンを薄膜状にした試料に照射することで、表面に存在する生体分子を高感度で分析することができます。



生命数理科学分野

教授 井上 康博

講師 瀬波 大土

生命現象に根差した新しい数理科学の創成と工学応用

細胞が作業員となり体を作る
『体』の建築工法

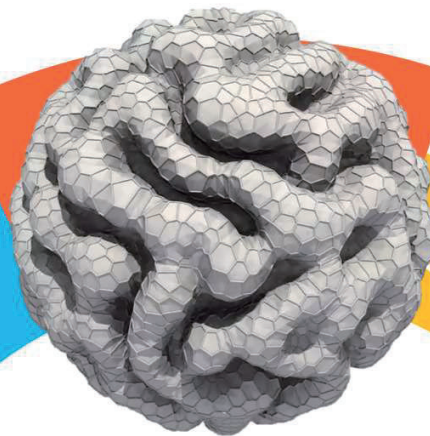
生物から学ぶ完全変態技術

4Dプリント



多様性と適応進化

進化的機械設計



不明瞭な境界

いきものらしさの数理



結びつきから制御

ネットワーク理論



右か左か

電子カイラリティ

工学研究科 マイクロエンジニアリング専攻
マイクロシステム創成講座 マイクロ加工システム分野
 教授 鈴木基史, 准教授 名村今日子

<http://www.mpe.me.kyoto-u.ac.jp>

研究の概要 マイクロ・ナノデバイスにおいては様々な材料の微細な形状を整えることで、性能の飛躍的な向上や、新しい機能性の実現が期待できます。高度に発達したトップダウンの微細加工技術に加えてボトムアップのプロセスを取り入れることで、従来にない新しい構造をもったデバイスをデザインし、創り出すことが可能になります。本研究室では、ボトムアップの手法に基づいた新しいナノ形態の制御法の開発とその応用を目指した研究を行っています。

1. ナノ形態の制御: 原子や分子の蒸気が固体表面で凝集するプロセスを理解してそれを利用することで、 10^{-8} mレベルの微小な要素の形を制御します。(図1)

2. ナノ形態を用いた光の制御: ナノ形態を制御すると、均一な物質にはないユニークで有用な特性が得られます。新しい機能の探索から実用化まで幅広い研究を行っています。(図2)

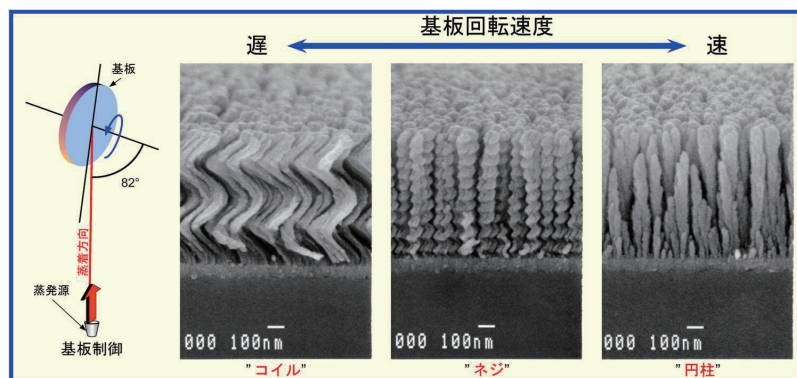


図1. 動的斜め蒸着法による螺旋型ナノコラム構造の形成。

M. Suzuki et al., Jpn. J. Appl. Phys., 40, L398 (2001).

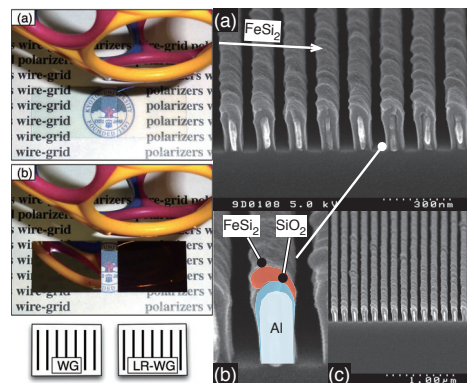


図2. 液晶プロジェクトに搭載された低反射型ワイヤグリッド偏光板。

M. Suzuki et al., Nanotechnology, 21, 175604 (2010).

3. ナノ形態を用いた流れの制御: 光を熱に変換できるナノ形態を用いて、ごく少量の液体を操る流れを発生できます。このユニークな流れの発生原理解明と制御に関する研究に取り組んでいます。(図3,4)

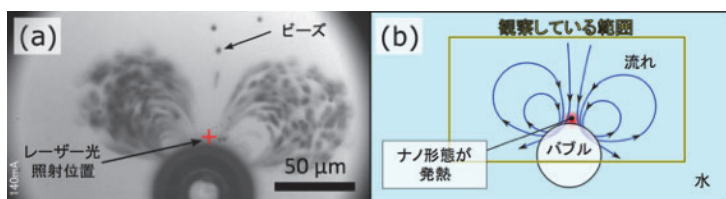


図3. マイクロバブル周辺に誘起される典型的なマランゴニ対流の(a)顕微鏡像と(b)その模式図。

K. Namura et al., Appl. Phys. Lett., 106, 043101 (2015).

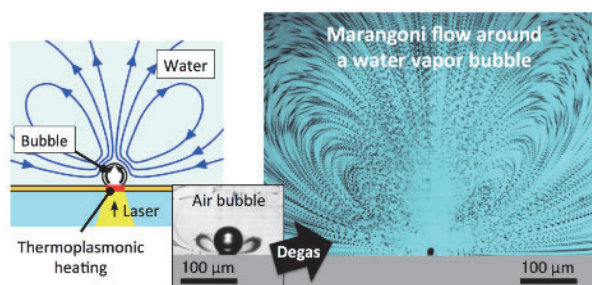


図4. 水蒸気マイクロバブルおよび 1 m/s オーダーの劇的な対流の生成に成功。

K. Namura et al., Sci. Rep., 7, 45776 (2017).

マイクロシステム創成講座 精密計測加工学分野

教授 松原 厚, 准教授 河野 大輔,
特定助教 森 幸太郎, 特定助教 大和 駿太郎, 技術専門員 山路 伊和夫

精密計測加工学研究室では…… 現代の生産現場を支える機械加工についての研究を行っています。特に、機械を作る機械である「マザーマシン」＝工作機械の運動精度の向上や工作機械そのものの技術革新、さらに、加工の難しい工作物のための加工プロセスの提案などに取り組んでいます。

より詳細は：研究室ホームページ <http://mmc.me.kyoto-u.ac.jp/>



「マザーマシン」＝工作機械

日常にあふれる工業製品を生産するための機械、機械を作る機械の意味で工作機械は「マザーマシン」と呼ばれるときがある。工業生産の根幹を支える機械であり、日本のメーカは世界市場でトップレベルにある。

Project

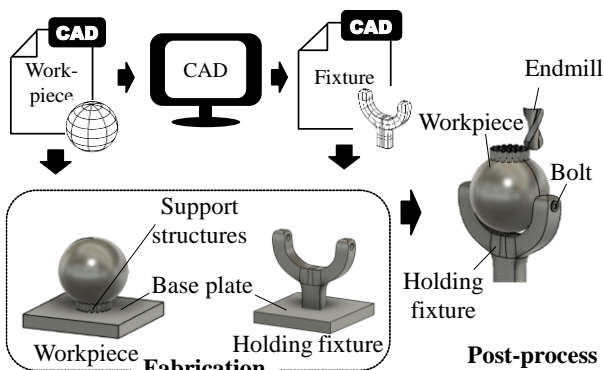
高能率・高精度な加工機のための技術

産業革命以来の長い歴史を持つ工作機械は、それを構成する要素技術の多くは成熟している。しかし、近年の更なる高能率化・高精度化の要求に応えるためには、加工・制御・計測・機械要素・設計技術など多方面からの技術的なブレークスルーが必要である。右の写真は本研究室で試作したテストスタンドである、学生や教員のアイデアに基づいて、センサや駆動軸の追加など、少しずつ改良が加えられ、案内や駆動機構などの機械要素の誤差解析とその改良、誤差補正技術の提案、加工や機械の状態のモニタリング技術などの研究に使用されている。



3軸のテストスタンド

本研究室で試作した超精密テストスタンド
市販機と異なり、様々なセンサや付加駆動軸を搭載可能。



Additive Manufacturing を前提とした加工プロセス

AM の自由度の高さを活用するために、最適化手法を応用して、製品と加工用の治具を同時に設計・生産するプロセスを研究している。

Project

多軸加工機の高精度化

日常にあふれる工業製品の多くは、工作機械と総称される機械を用いて生産される。近年、直交 3 軸 (X, Y, Z) に加え、工作物・工具の傾きを制御するための回転軸を持った工作機械が急速に普及している。特に、回転テーブルとその傾斜軸を持った 5 軸制御工作機械は航空機エンジン用タービンブレードの加工などで活躍している。5 軸制御工作機械による加工は、回転運動と直進運動の組み合わせになる。そのため、5 軸制御工作機械は、従来の 3 軸制御工作機械と比較して加工精度が劣ることが多い。しかし、回転軸・直進軸が持つ誤差要因が複雑に影響し、最終的な加工精度として転写されるために、誤差の原因分析や低減は非常に難しく、多くのメーカで課題とされている。本研究室では、3 軸・5 軸制御工作機械の運動誤差の測定法、測定装置開発、誤差の原因分析に基づく補正法提案などに取り組んでいる。

Project

次世代の生産加工技術のために

現代の生産工程において、切削・研削などの除去加工と、プレスなどの成型加工は中心的な役割を果たしている。近年は 3D プリンタとも呼ばれる Additive Manufacturing (AM) が発達し、AM を応用した生産加工技術の発展が期待されている。また、従来型の加工技術であっても、低い環境負荷や生産環境 (保有機器の稼働状況, サプライチェーン, etc.) の変動に対する生産継続性など、新たな課題解決への要求が高まっている。社会の幸福を持続的に維持できる次世代の生産加工のために、新旧様々な機械の混在する生産現場であっても情報を共有・分析でき、人の意思決定を助けるようなシステム、ものづくりのハードルを下げて、人の創造性を自由に発揮できるシステムの実現を目指している。

バイオメカニクス分野

教授 安達 泰治, 助教 牧 功一郎

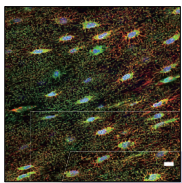
研究概要

生物の発生過程における細胞分化、形態形成、成長、さらには生体組織・器官のリモデリングや再生による環境への機能的適応など、多様な生命現象における自律的な制御メカニズムの解明を目指し、力学、生命科学、医科学を含む学際的研究を行っている。特に、細胞・分子レベルにおける要素過程と、それらの複雑な相互作用により組織・器官レベルにおいて創発される生命システム動態の本質を理解するため、「力学環境への適応性」と「構造・機能の階層性」に着目し、実験と数理モデリング・計算機シミュレーションを組み合わせたバイオメカニクス・メカノバイオロジー研究を進めている。

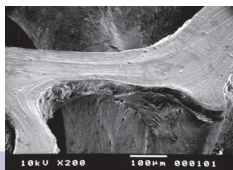
研究テーマ

- (1) 力学環境に応じたリモデリングによる骨の構造と機能の適応メカニズムの解明
- (2) 連続体力学モデリングに基づく脳の形態形成過程の再現と予測
- (3) 骨細胞の力学刺激感知における力学-生化学連成機構の理解
- (4) ゲノムDNAの力学動態を介した細胞分化・老化メカニズムの解明
- (5) 細胞内構造の力学制御に基づくマイクロ・ナノマシナリーの創製

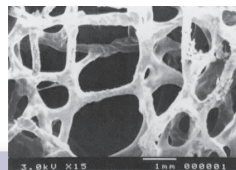
骨組織の機能的適応のバイオメカニクス



骨細胞による力学刺激感知



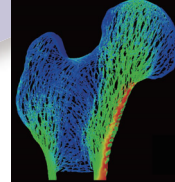
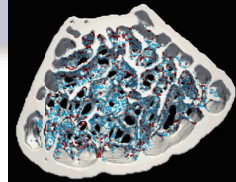
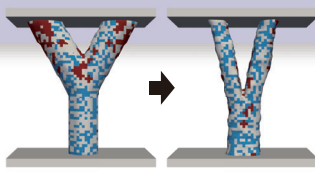
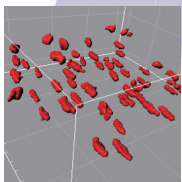
骨梁の形態変化



海綿骨の形態変化

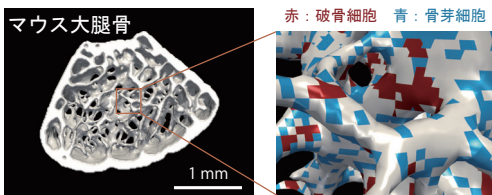


大腿骨の機能的適応



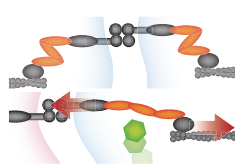
骨は周囲の力学環境変化に応じてリモデリングすることで、外部形状や内部構造を能動的に変化させる。本研究では、力学刺激に対する骨構成細胞の協調的な代謝活動が、骨組織の機能的適応変化を引き起こすメカニズムの解明を目指している。

形態形成ダイナミクスの多階層バイオメカニクス

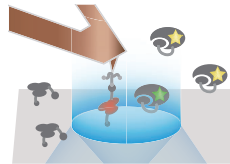


骨リモデリングによる機能的適応

細胞間における力感知

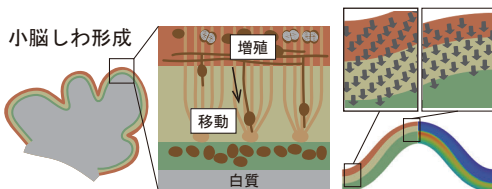


AFM-TIRF システム

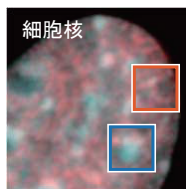


細胞による力感知の分子メカニズム

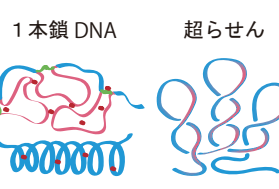
生体組織の形態形成は、組織から細胞・分子のスケールにおける力の作用により、多階層で制御される。本研究では、マルチスケールの実験・シミュレーション、人工ナノ・マイクロシステムを駆使して、力学的観点から形態形成ダイナミクスのメカニズム解明を目指している。



脳形態形成シミュレーション



細胞核内における DNA の力学動態



機械システム学コース マイクロエンジニアリング専攻
ナノ生物工学分野
教授 新宅博文

学部学生 3名
教務補佐員 1名
(2023年4月)



研究概要

工学・理学・医学など異なるバックグラウンドの研究者が集う学際的な研究チームの強みを活かし、マイクロ・ナノスケールの物理現象を利用した新たな生物工学を生み出すことで、未解明の生命現象の理解を目指しています。

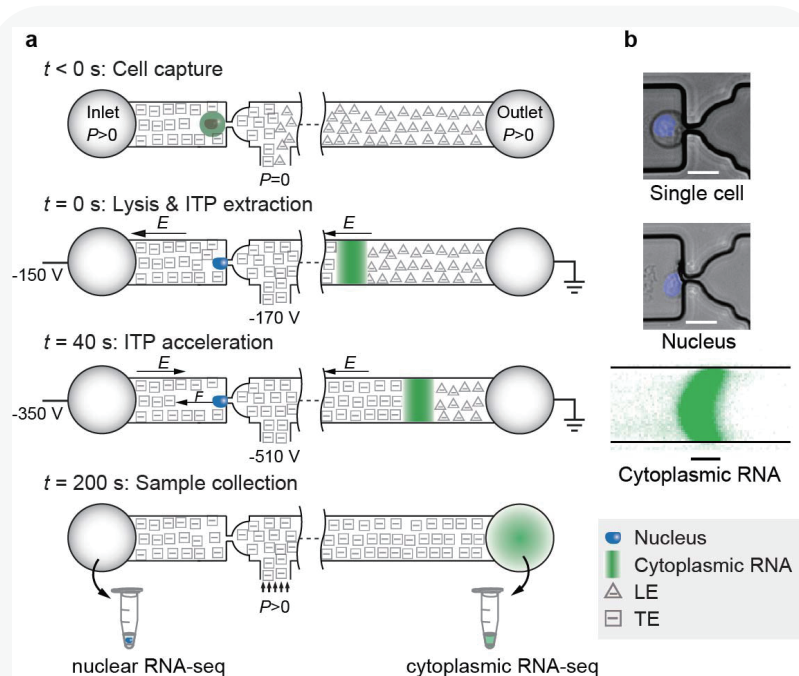


図: マイクロスケールの集中電場を活用した細胞膜の選択的破碎と細胞質分子の電場による抽出。電場を活用することで細胞質分子を高純度で抽出できる^{1,2,5}。特にRNAについては長さバイアスの少ない細胞質RNA-核RNAの分画を実現³。次世代シーケンス解析との融合により、1細胞解像度でありながら遺伝子網羅的にRNAの局在解析が可能⁴。

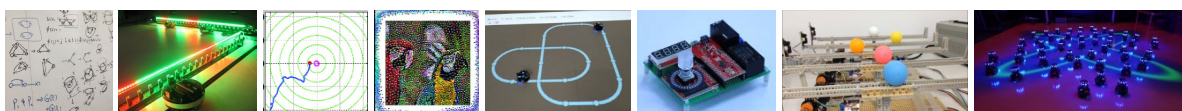
エレクトロポレーション法は細胞を電場に暴露することで一時的に細胞膜の分子透過性を上昇させ細胞内へ外来分子を導入する汎用性の高い方法です。私たちの研究室では、マイクロ・ナノスケールの集中電場を活用したマイクロ・ナノエレクトロポレーションを利用し、新しい細胞解析技術を開発しています。例えば、1細胞の細胞質と核の高精度分画と次世代RNA-seqを融合したSINC-seq(Abdelmoez *Genome Biol* 2018)やNanoSINC-seq(Oguchi *Sci Adv* 2021)を開発し、RNA分子の局在を1細胞解像度かつ遺伝子網羅的に解析することを可能にしました。現在私達の研究室では、(1)時系列遺伝子発現解析法、(2)細胞の力学的表現型と遺伝子発現の大規模解析法の二つを基盤技術として、細胞老化、幹細胞、がんにおける表現型と遺伝子制御の連成ダイナミクスを1細胞解像度で理解することを目指しています。

1. Abdelmoez, M.N. et al. *Genome Biol* **19**, 66 (2018).
2. Subramanian Parimalam, S. et al. *Anal Chem* **90**, 12512-12518 (2018).
3. Abdelmoez, M.N. et al. *Anal Chem* (2020).
4. Oguchi, Y. et al. *Sci Adv* **7**, eabe0317 (2021).
5. Subramanian Parimalam, S. et al. *Analyst* **146**, 1604-1611 (2021).

機械システム制御分野

教授 東 俊一

動的システムのダイナミクス（動き）をデザインするための学術的基盤が「システム制御理論」です。本研究室では、システム制御理論の開発とそれを先端科学分野や産業界に展開します。特に、「物理と情報をつなぐ」という視点から研究を実施し、新しい未来を拓く動的システムの創成に挑戦します。また、この研究活動を通じて、学界や産業界においてシステム制御のリーダーになれる人材を育成します。



マルチエージェントシステムの制御と群知能化

マルチエージェントシステムとは、複数のエージェントの局所的な相互作用をもとに大域的な機能を発現するシステムのことです [東ほか, マルチエージェントシステムの制御, コロナ社, 2015]. 近年, 産業界で大きな注目を集めているスマートグリッド, スマート物流, 自動車の自律化 (自動運転) を実転する技術として, また, システム生物学や群知能学の数理モデルとして重要な研究対象になっています. 本研究室では, エージェント間の情報の流れに注目してマルチエージェントシステムの解析と制御のための理論を構築します. さらに, マルチエージェントシステムを, 大規模システムを制御する「群知能」にまで昇華させるための研究を実施します.

量子化制御

大規模システムの制御においては, 現実世界に存在する物理系をセンサで計測し, サイバー空間でその情報を分析して制御入力を生成します. 現実世界の物理量は連続的な値になるのに対し, サイバー空間で扱われる情報は離散的な値となります. このような連続値の物理量と離散値の信号が混在したときに必要となるのが量子化制御です. 本研究室では, サイバー空間で扱う情報量と現実世界での制御性能の関係を明らかにし, それを基に量子化制御の設計理論を構築します.

データ駆動型システム解析と制御

動的システムを解析する際の標準的なアプローチは, 「計測データ \Rightarrow 数理モデル \Rightarrow 解析結果」という手順に従うことです. しかし, 計測データが不十分な場合には, 精度の良い数理モデルが得られず, 手順の途中で断念することもあります. そこで, 計測データから, モデルを構築することなく, 直接, 解析結果を得る, すなわち「計測データ \Rightarrow 解析結果」というデータ駆動型のアプローチが重要です. 本研究室では, データ駆動型アプローチが本質的に必要となる解析問題や制御問題の特徴付けと, 具体的な解法の開発を行います.

先端科学分野や産業界への展開

化学・ロボティクス・AI: 分子ロボティクス, 分子サイバネティクス, 医療: 疾患の予兆検出と予防, 生物: 生体ネットワーク, データ科学・エージェント: オープン群知能学, 交通: トラックの隊列走行制御, エネルギー: エネルギー管理システム

※ 研究室ウェブサイト: <http://www.ctrl.sys.i.kyoto-u.ac.jp/>

情報学研究科 情報学専攻 システム科学コース
人間機械共生系講座 ヒューマンシステム論分野
教授 加納 学 , 助教 加藤 祥太

自分たちの研究で、社会をより良くしたい、人を幸せにしたい。これまでに培ったデータ解析・モデリング・制御の技術を基盤にして、対象を選ばないシステム科学的アプローチにより、その思いを実現する研究に取り組んでいます。鉄鋼・製薬・半導体・化学などの製造業で高品質製品の安定生産を省資源・省エネルギー下で実現するために、様々な病気が引き起こす苦しみから患者さんを解放し、人々が健康であり続けることを支援するために、あるいは美味しく栄養価の高い農作物の収量を最大化し、生産者と消費者の双方を笑顔にするために、企業・病院・行政とも協力しながら、それぞれの現場に入り込み、解くべき重要な課題を見付けて、粘り強く解決しています。

研究1) プロセスデータ解析・制御・最適化：企業との共同研究で本物の課題を解決

製品品質を制御したくても肝心の品質をリアルタイムには計測できない。不良品をなくしたいが原因がわからない。超高効率生産を実現したいが実現方法がわからない。そのような産業界に共通する課題を解決するため、プロセス・インフォマティクス（プロセスデータ解析技術）や制御技術を開発し、様々な産業界で研究成果の実用化を進めています。製造分野でのデジタルトランスフォーメーション実現の鍵を握る研究です。



研究2) 物理モデル自動構築 AI の開発

製造プロセスを思い通りに動かすためには、プロセスの挙動を正確に表現できる物理モデルが欠かせません。しかし、物理モデルの構築は極めて難しく、専門家が長い時間をかけて取り組まなければなりません。その労苦から専門家を解放し、短期間でモデルを利用可能にするため、文献情報から自動的に物理モデルを構築できる人工知能（AI）を開発するという壮大な目標を掲げて挑戦しています。

研究3) 生体信号処理による医療・ヘルスケアサービスの創出

ウェアラブルヘルスケアサービスに注目が集まっています。本分野では、ドライビングシミュレータや脳波計、回路製作環境を整備し、病院や企業と共同でウェアラブル心拍センサを用いたてんかん発作予知・運転時居眠り検知・ストレス評価などの医療・ヘルスケアサービスを開発しています。研究成果を社会実装するため、2018年にクアドリティクス株式会社を創業しました。



研究4) 農業システム工学：生産者と消費者の共栄を目指す地域密着型研究開発

種子島の自治体や生産農家さんと一緒に、スーパー安納いもプロジェクトを推進しています。自然を相手にする農業では、いかに美味しい農作物を安定して栽培するかが課題です。そこで、土壌、気象、栽培、貯蔵のデータを収集し、モデル化することで、最適な農作業を助言できるシステムを開発しています。さらに、美味しさを予見できる非破壊分析技術の実現、最高に美味しい焼き芋を焼くための焼き芋シミュレータの開発にも取り組んでいます。



機械システム学コース 情報学研究科システム科学専攻
人間機械共生系講座 統合動的システム論分野
 教授 大塚敏之, 准教授 櫻間一徳, 助教 星野健太

あらゆるシステムのモデリング, 解析, 設計, 制御

人間, 機械, 社会, 環境などさまざまな対象を包含する今までにないシステムを解析・設計し共生と調和を実現するには, システムのモデリング, 解析, 設計, 制御における普遍原理の解明が不可欠です. そのために, さまざまな問題で根本的な困難となる非線形性や不確かさを扱う新しい方法論や, 動的最適化アルゴリズムについて研究しています. また, 局所的な相互作用をもとに大域的な機能を実現する分散制御理論の研究も行っています.

システムのモデリングと制御

モデリング

機械などのシステムにおいて, 入力 (加える力や操作量) に対してどのような出力 (動き) が生じるかを数式で表す

制御

望ましい出力を実現するように入力を加える. 入力の決め方が重要



ドローン



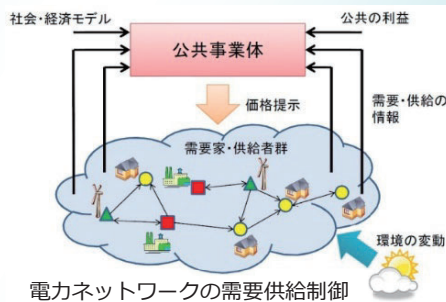
四脚ロボット



浮体式洋上風力発電システム



テザー衛星



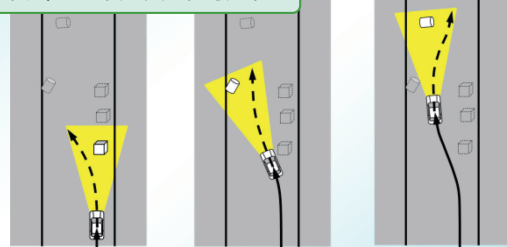
電力ネットワークの需要供給制御

実時間最適化のアルゴリズム

あらゆるシステムを巧みに操作するための一般論

- モデルを用いて未来の応答を予測・最適化
- 高速な数値計算によってフィードバック制御を実現

自動車の運転も実時間最適化



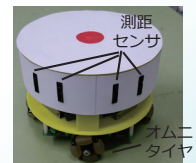
各瞬間で見える範囲の情報を使って動作を決定

分散制御理論

たくさんの要素から構成される大規模システムを, 個々の要素が判断して動く「自律分散制御」で管理 → 全体に指示を出す集中管理機構が不要に

群ロボットの分散制御

ロボットの協調作業の内容に応じて, 隊列形状を様々に変化させる「分散型フォーメーション制御法」を開発



移動ロボット

道路交通システムの分散制御

カーシェアリングシステムにおける車両偏在の問題を解決する「分散型ダイナミックプライシング」を開発



道路交通シミュレーター



フォーメーション制御

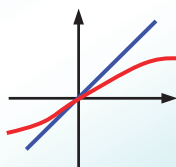
非線形システム制御理論

線形

「重ね合わせの原理」が成り立つ
 → 入力を倍にすれば出力も倍になる

非線形

成り立たない.
 → 非線形性を含むシステムは, 性質を調べたり制御したりするのが難しい!



- 代数学や代数幾何学などの数学を利用して未解決問題に挑戦
- 可制御性, 安定性, 最適制御, 状態推定, etc.

確率システム理論

現実の問題では避けられない不確かさを確率的に扱い, 不確かさのもとでモノ・コトを制御する

確率ノイズに対する制御

ノイズなどの不確かな要素が存在しても確実な制御を実現する



ドローン

情報のダイナミクスの解析・制御

機械学習で扱われる確率的な情報のダイナミクスを動的システム理論で扱う

ドローンの場合:
 センサノイズ,
 風などの影響を受ける