

機械システム学コース



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、

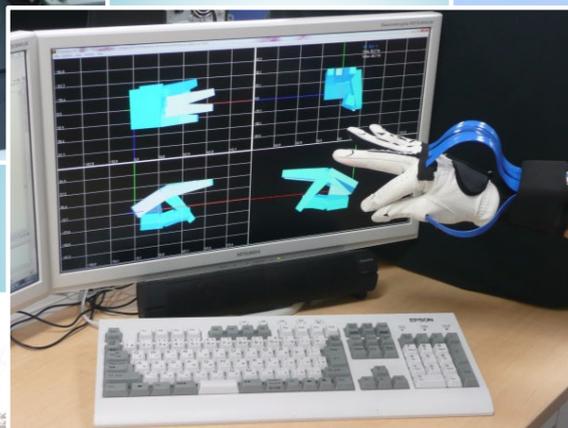
『人間の知を探り，機械の知を究め，共創の知をデザインする』

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の観点から、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顕微鏡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、民間旅客機の製造に用いられているオートクレーブ成形法や、曲面構造を賦形可能な自動積層プロセスなど、より効率的な生産プロセスを創出するための研究が盛んに行われている。特に、プリプレグテープ基材による曲面構造賦形時の変形や積層時の欠陥、欠陥レス・均一硬化のための成形方法の確立、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

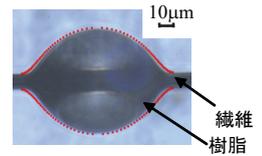
先進複合材料の力学機能を必要とされる性能要求に対して材料特性から適応的に制御することを目指し、剛性や強度といった従来の構造材料に必要とされてきた特性のみならず、成形性や難燃性、熱伝導特性といった複数の機能を同時に満たすバランスの取れた材料設計論を力学シミュレーションを援用して確立することに取り組んでいる。

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。

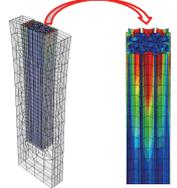
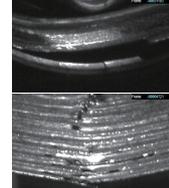
航空機構造材料に対して近年、性能要求水準が高まっている難燃性の課題について、燃焼解析と構造の熱伝導解析を連成した多物理にわたる力学シミュレーションにより、CFRP材料の特性に関する熱的異方性やCFRPを構成する樹脂の熱分解特性が及ぼす影響について評価している。

先進複合材料

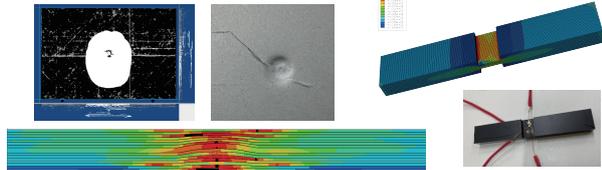
新型旅客機 Boeing 787



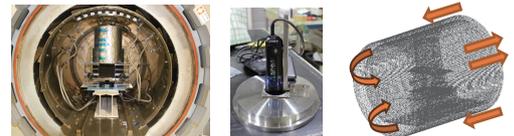
CFRPプリプレグ 積層構造の破壊 微視的破壊



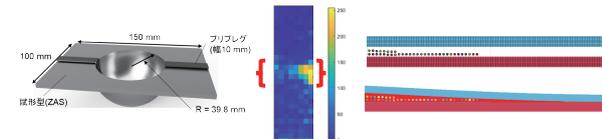
マイクロメカニクス・プロセスモデリング



薄層化CFRP積層板の力学特性や損傷の解析

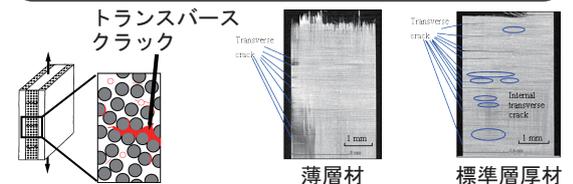


オートクレーブ成形の実験と解析

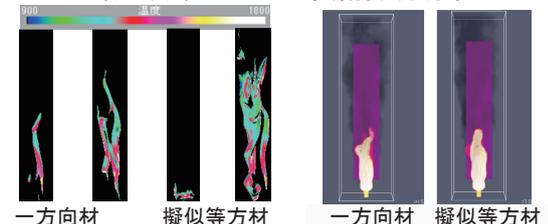


成型時欠陥の評価（赤外線・シミュレーション）

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



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, 助教 王 吟麗



研究室 HP

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。**

試験片作製



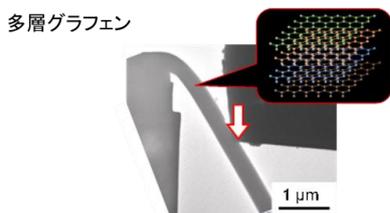
試験



観察, 解析

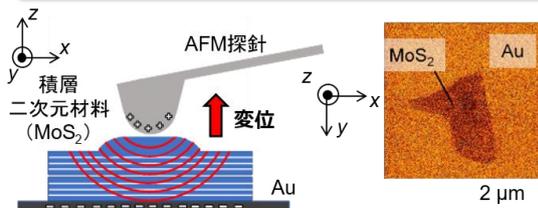


主な研究トピックは、「二次元材料・原子層積層構造の力学を解明し、壊れない材料を実現する」、「電子により材料強度の根源を制御し、革新的な技術を実現する」、「ナノ力学と物性を活かした環境にやさしい柔軟電子デバイスの基盤技術を開拓する」、「ナノ構造体・薄膜の変形と破壊の機構と支配力学を解明する」などです。



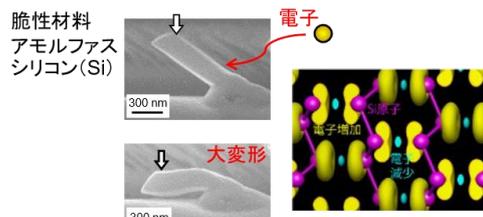
大変形を許容する多層グラフェン

二次元材料・原子層積層構造の力学を解明し、壊れない材料を実現する



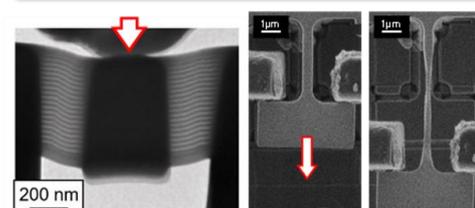
圧電性がない材料において電圧による変形の発見

ナノ力学と物性を活かした環境にやさしい柔軟電子デバイスの基盤技術を開拓する



余剰電子によるアモルファスSiの機械特性制御

電子により材料強度の根源を制御し、革新的な技術を実現する



ナノ積層構造のせん断試験 金ナノ材料の引張試験

ナノ構造体・薄膜の変形と破壊の機構と支配力学を解明する

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し、技術革新を実現することを目指しています。

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 准教授 渡邊 智昭

乱流現象の解明と工学応用

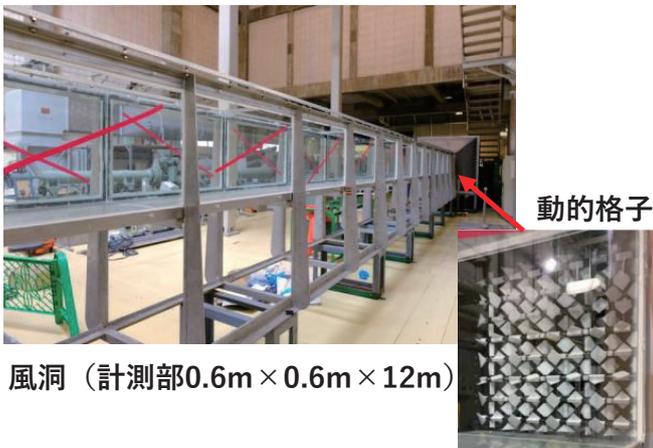
「**ながれ**」は大気・海洋などの環境中、自動車や航空機などの輸送機器、工業装置など至る所でみられます。本分野では、**ながれ**の中でも特に**乱流**に着目した研究を行っています。また、翼周りのながれなどの空気力学（空力）に関する研究も行っています。

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

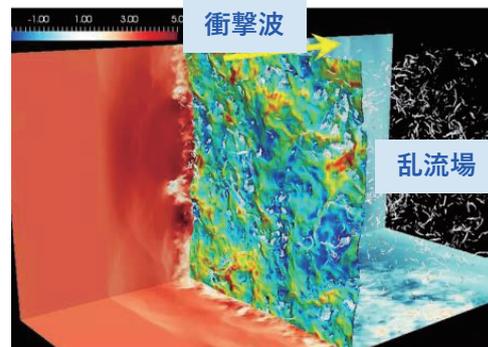
準一様等方性乱流（格子乱流など）の発達と減衰過程を明らかにすることを目指しています。



風洞（計測部0.6m×0.6m×12m）

衝撃波／乱流干渉

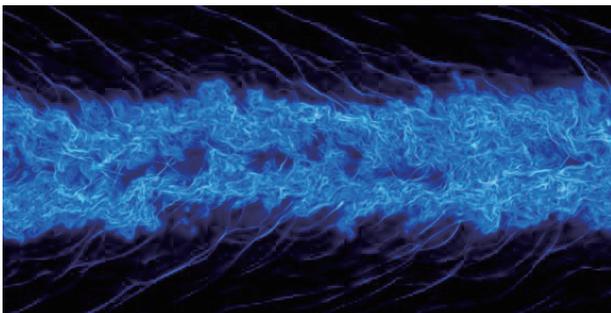
次世代民間超音速旅客機の実現に向けて、ソニックブームの正確な予測が重要となっています。乱流と干渉した衝撃波の特性の変化やソニックブーム低減に関する研究を行っています。



乱流中を伝播する衝撃波の変形

圧縮性乱流

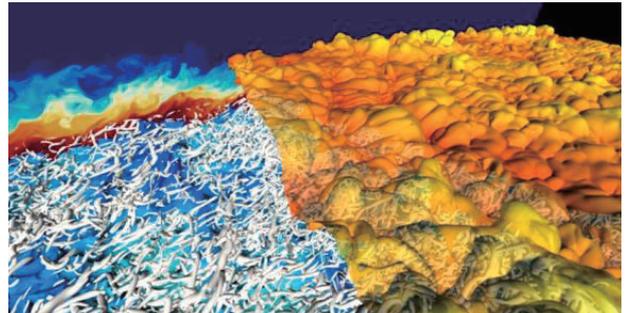
超音速機周りの境界層や超音速噴流などの圧縮性乱流に関する大規模数値計算や圧縮性乱流場生成装置を用いた実験を行っています。



超音速噴流と圧力波の伝播

浮力を伴う乱流場

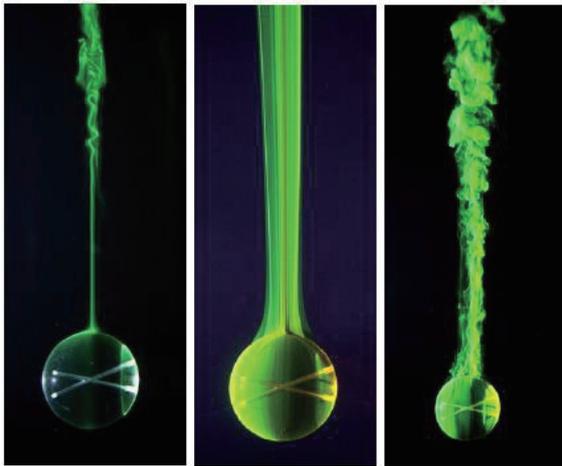
大気や海洋などにみられる圧縮性乱流に関する大規模数値計算や圧縮性乱流場生成装置を用いた実験を行っています。



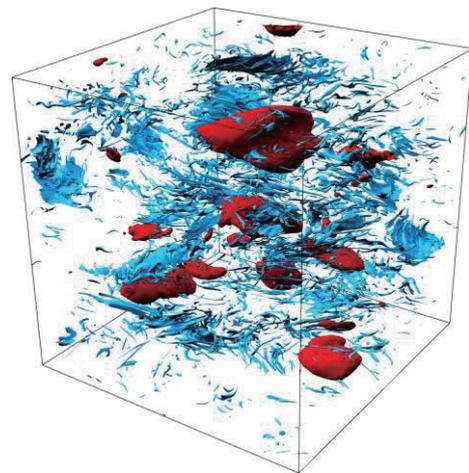
安定密度成層（浮力）を伴う乱流混合層

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。



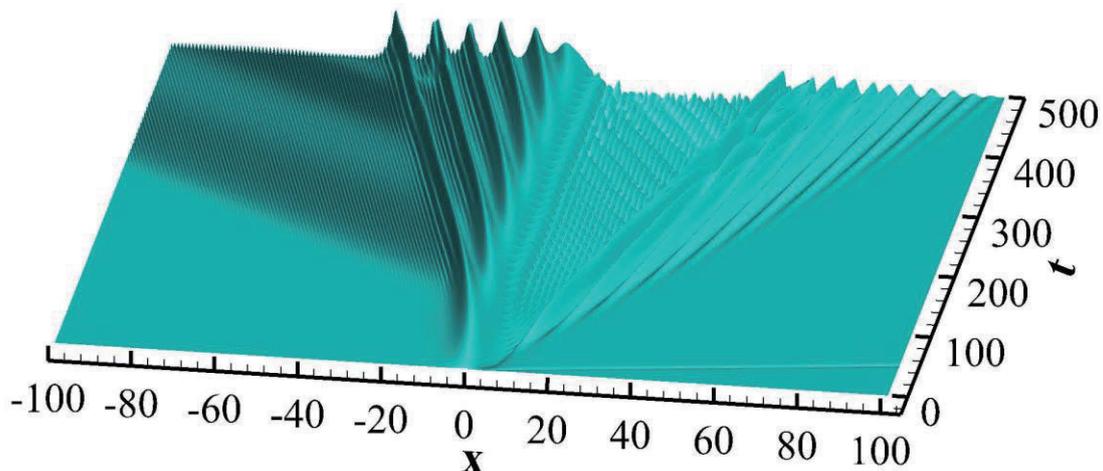
鉛直密度差のある流体中を下降する球による流れ



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

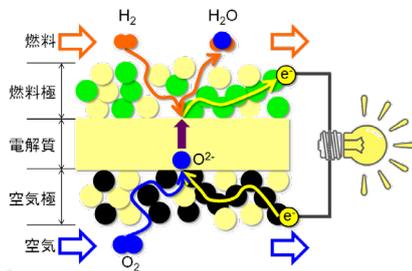


～エネルギー変換・輸送・貯蔵の未来を開拓～

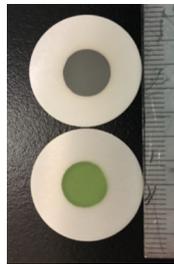
燃料電池や二次電池といった電気化学デバイス内の現象や、水素、炭化水素、アンモニアおよびそれらの混合燃料の触媒反応を対象に、熱・物質・電荷輸送の理解と制御という**機械工学的な観点からアプローチ**しています。ミクロからマクロにわたるマルチスケールの複雑現象を解明するとともに、デバイスの更なる展開につながる本質の理解をめざしています。また、新たなエネルギーシステムの創出に向けた研究を行っています。

高効率発電

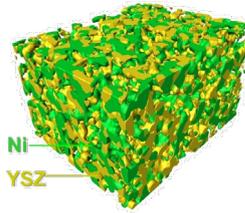
高い発電効率を有する固体酸化物形燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell: SOFC) の研究を行っています。電極に用いられる多孔質体の3次元構造観察技術と、熱・流体・電荷の連成シミュレーション技術、および機械学習技術を駆使してSOFCの高性能・高耐久化を目指しています。



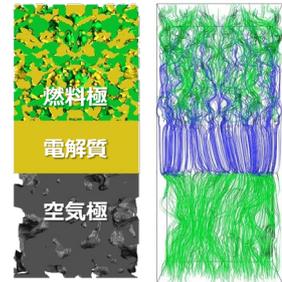
SOFCの構成と原理



研究室製ボタンセル



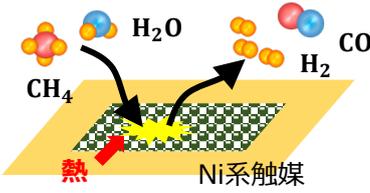
電極多孔質の3次元構造



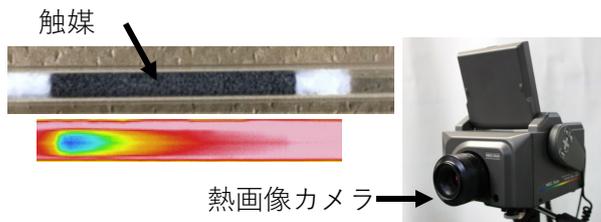
内部の電流経路の可視化

水素製造

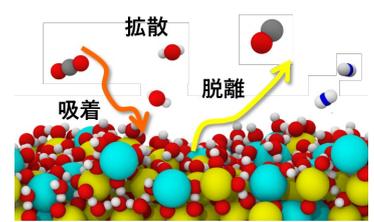
水素は貯蔵性や運搬性に課題があるため、化合物の状態での貯蔵・輸送を行い、必要な時に水素を取り出すことが考えられています。そこで、炭化水素やアンモニアから効率的に水素を製造するための研究を行っています。触媒における反応量を調べたり、温度分布の可視化や分子動力学計算を駆使して反応メカニズムを解明し、物理モデルの構築を行っています。



$CH_4 + H_2O \rightarrow 3H_2 + CO$
メタン水蒸気改質



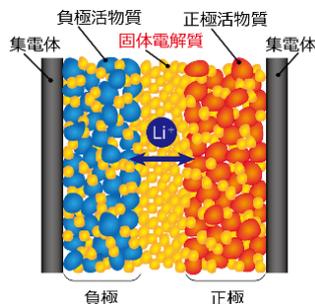
触媒上温度分布の可視化



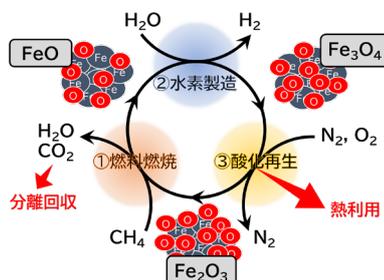
分子輸送・反応解析

蓄エネルギー技術

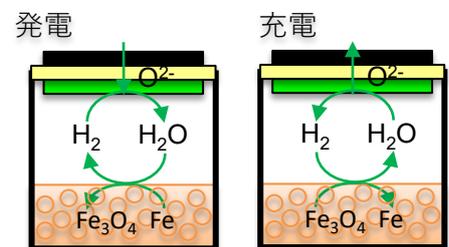
再生可能エネルギーの導入が進み、電気を貯める技術の重要性が高まっています。数値シミュレーションによるリチウムイオン電池内部現象の解明、ケミカルループ法に用いられる酸素キャリアの反応特性の解明、SOFCと鉄の酸化還元反応を組み合わせた新規蓄電デバイスの検証などを行っています。



全固体リチウムイオン電池



ケミカルループ法



固体酸化物形鉄空気電池

光工学研究室

— 物質と光との関わりの理解と制御に向けた分光法の創出 —

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によりその本質に肉薄し、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、固体などの物質と光の関わりを理解・制御することを目的に、**レーザーや分光を用いた計測法の研究**を行っています。研究を行う上では、**原理からの検討による抜本的な性能向上**を目指しており、この達成により、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。

レーザー計測

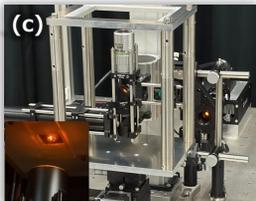
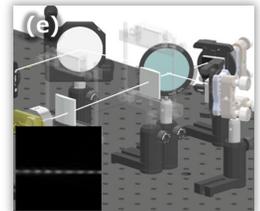
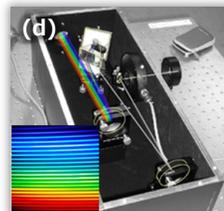
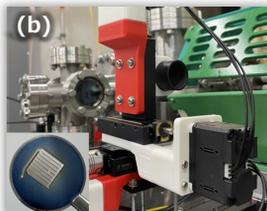
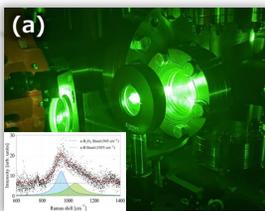
- プラズマ、表面、固体を対象とする**レーザー計測法**を研究しています。
- プラズマ照射した表面のその場計測法や、ダイヤモンドを使った蛍光温度センサなどの**技術開発**に取り組んでいます。

分光計測

- プラズマの原子、分子、イオン発光を対象とする**分光計測法**を研究しています。
- **原理の考案**に加え、実験に用いる**分光器開発**も手がけています。自分達の手で、光学設計、CAD作成、性能評価、制御プログラム構築を行っています。

プラズマ実験・計算

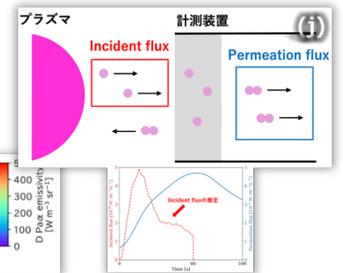
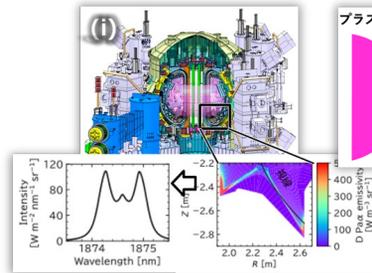
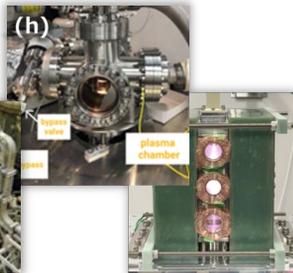
- **核融合・基礎プラズマ装置**を用いて、開発したレーザー・分光計測法の実証実験を行っています。
- **計算**にも取り組んでおり、核融合プラズマ中の輝線スペクトルや材料内の水素輸送のシミュレーションなどを行っています。



(a) ラマン散乱 (表面の分子構造計測)
 (b) レーザー誘起ブレイクダウン (表面の組成計測)
 (c) フォトルミネッセンス (ダイヤモンドの温度計測)



(d) エシェール分光器 (高分解、広波長域)
 (e) 空間ヘテロダイン分光器 (高分解、高スループット)
 (f) カメラレンズ分光器 (多チャンネル、高スループット)



核融合・基礎プラズマ装置 (h) 京大ヘリオトロン、九大QUEST、(i) 熱陰極グロー放電、ECR放電

シミュレーション (i) 核融合プラズマ中の重水素スペクトル (量研機構JT-60SA)、(j) 材料中の水素輸送

光に興味のある、好奇心旺盛な皆さんを歓迎します！

【2025年度メンバー】 教員 3名、博士学生 2名、修士学生 10名、4回生 5名
 【共同研究先】 京大工能理工研、九大応研、量研機構、核融合研、独カールスルーエー工科大、阿爾及バドナ大など。



研究室HP



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



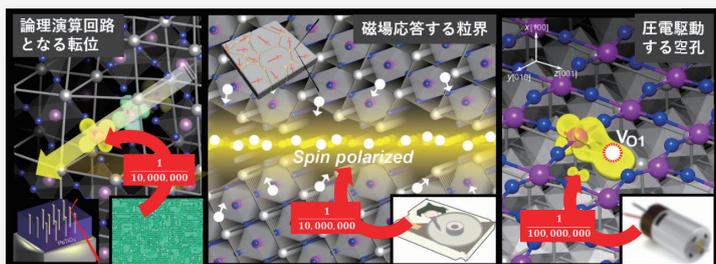
研究室HP

<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

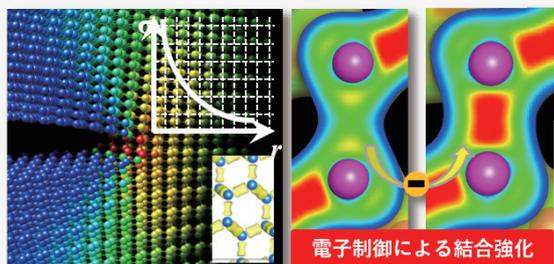
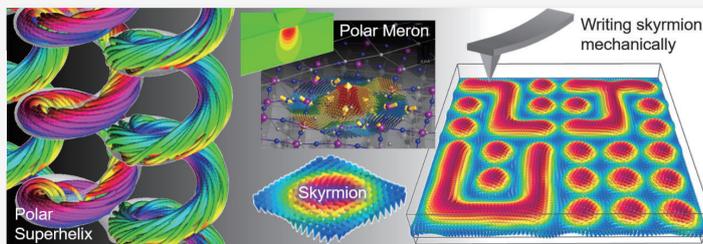
科学

電子・原子 ナノ メソ マクロ

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

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。

機械システム学コース 機械理工学専攻
熱物理工学分野

教授 黒瀬良一, 准教授 松本充弘, 助教 若林英信, Abhishek Pillai

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

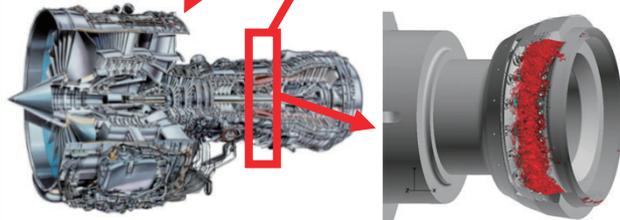
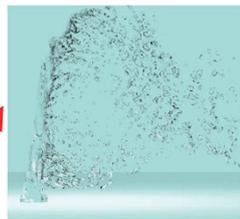
乱流燃焼解析

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

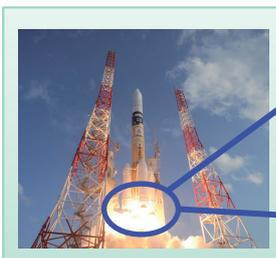
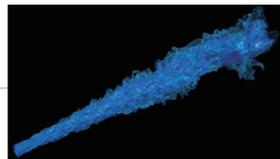


Gas turbine engine 丸ごと数値シミュレーション
(©Pratt & Whitney) (JAXAと共研)

ロケットエンジンの数値シミュレーション



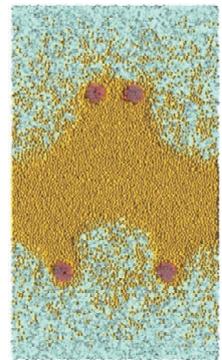
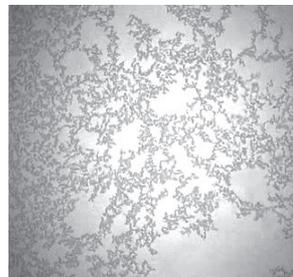
数値シミュレーション
(MHIと共研)



LE-7/7A (© MHI)

ミクロスケールの輸送現象

間隙内の流体相変化



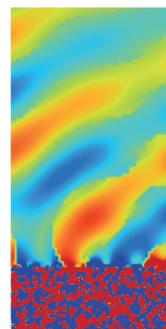
板の間の液体が蒸発する
過程で見られる複雑なパターン

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



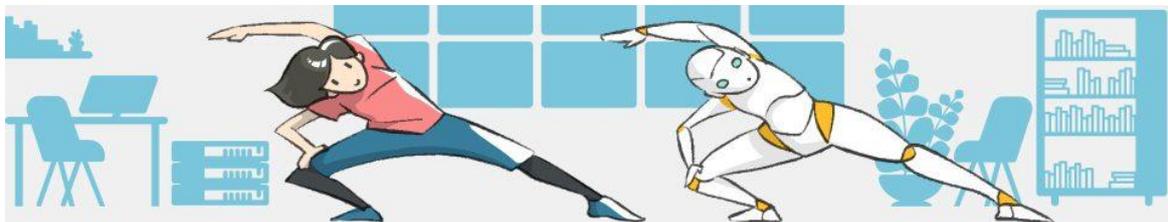
金属表面から
放射されるふく射の
シミュレーション



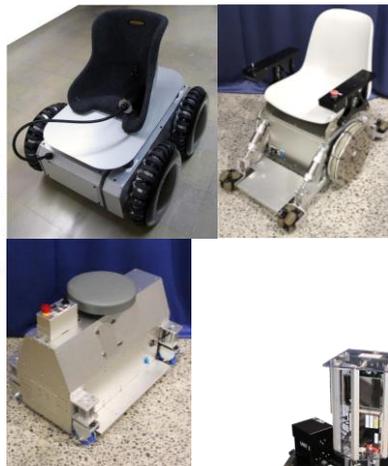


機械とヒトのメカニズムと運動を創る！知る！

パーソナルモビリティなどの小さな乗り物は人の生活を便利にしてくれます。また、移動や作業をするロボットは工場の効率化や省力化に貢献します。我々の研究室では、新しい機能を持った乗り物やエンターテインメントを目的とした乗り物、新しいロボットや機械のメカニズムの提案をしています。また、ヒトは骨格と筋肉の構造を基にして様々な動きをします。本研究室では、ヒトの動作に含まれる不思議な特性を発見する研究や、ヒトの未知の能力を発見する能力マイニングの研究、足・脚の動作による操作の研究、アート/デザインとモーションに関する活動を行っています。



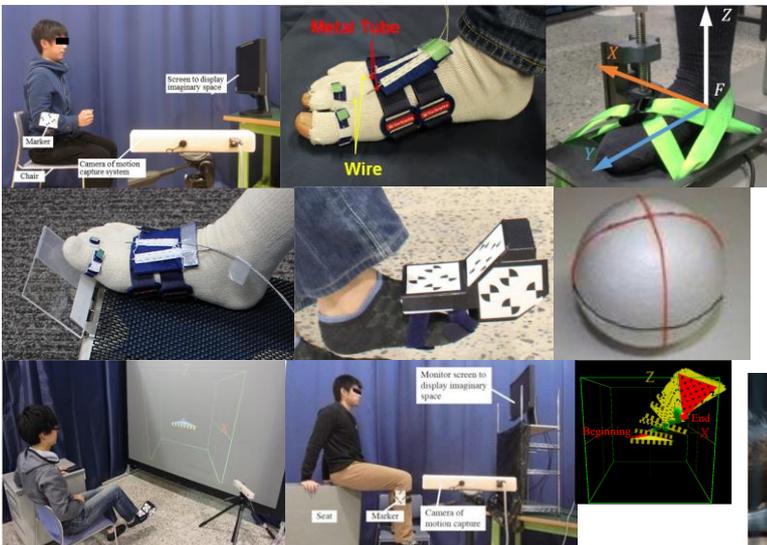
ライディング ロボティクス



ロボット機構



直感的操作 ヒトの動作特性 能力マイニング



アート/デザインとモーション



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

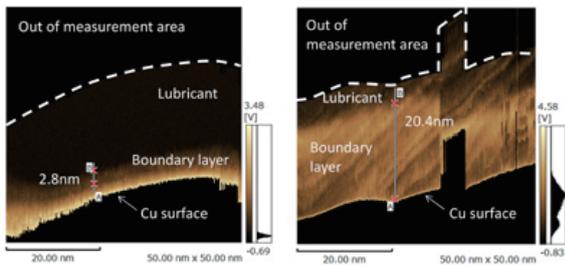
物理メカニズムに立脚した機械要素の高性能化・高機能化

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。

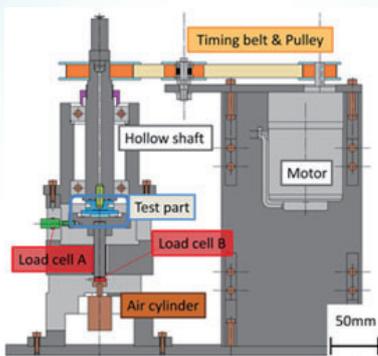


高感度な液中AFMによって得られた銅/パルミチン酸吸着界面の断面像
 (左：分析開始時、右：数時間の分析作業を行った後)

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。

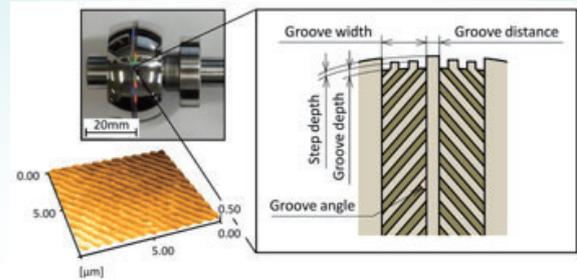


開発した実験装置一例：狭小すま摺動試験機

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。

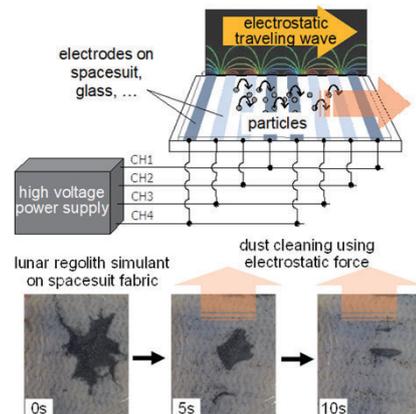


ナノテクスチャ加工を施した球によるEHL油膜厚さ増加実験例

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。



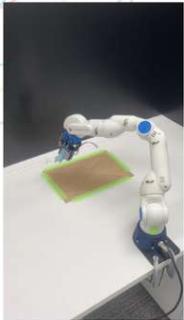
進行波電界を利用した宇宙服のクリーニングシステム

ソフトロボティクス x AI

コンピューターの情報処理能力が飛躍的に向上し、大規模言語モデルや実世界シミュレーションを使った強化学習、模倣に基づく学習などの技術が発達してきています。これらのAI手法には大きな計算資源と電力、そして膨大な学習データが必要であり、巨大な計算機環境を使った学習が欠かせません。

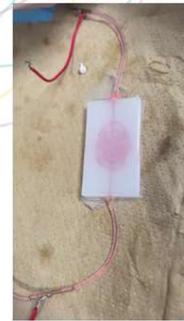
一方、生物は、エネルギーや計算資源（脳）が限られているにもかかわらず、環境に合わせて動きを学び取り、短い時間で適応することができます。この生物の仕組みに学び、柔らかい身体の特性をAIと結びつけることで、生物のように実世界でその場で学び、適応し続けるロボットの実現を目指します。高性能なAIと、柔らかい身体による「賢さ」を融合させることで、ロボットが実環境でより長く、しなやかに、そして安全に活躍できる未来を拓いていきます。

指の柔らかさを活用した柔軟物のハンドリング学習



学習・模倣の枠組みの中で、身体が柔らかいことのメリット（適応性、省計算量、計算誤差小など）を活かした、「AI+ソフトロボティクス」研究

故障・回復を前提とした適応し続ける触覚センサの学習



故障・回復を陽に記述しないシームレスな学習、学習を仮定した新しい触覚センサの設計法、学習を前提としたソフトロボットの設計論

複数のセンサを使ったロボットハンドの行動学習



イオン液体を活用したソフトセンサの開発とロボットへの実装

文脈に依存したセンサの多モダリティ学習

モータと人工筋同時駆動マニピュレータの制御



モータと人工筋によって駆動されるロボットのための、運動学習と適応、習熟過程

インソールセンサの開発と応用



壊れにくい無線インソールセンサの開発と足裏ビッグデータによるヒト歩行知能の解明

足部データの多様性と適応性に関する原理の解明

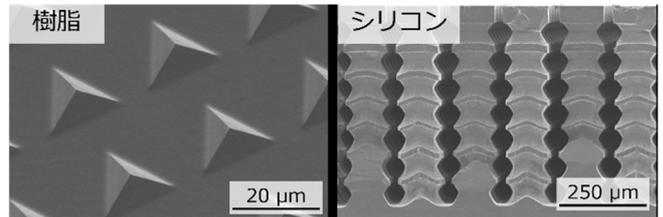


世界最先端・独自の研究データは、オリジナルのナノ・マイクロオーダーの微細加工技術やデバイス、計測技術から生じるものと考えて研究を行っています。創造的・独創的な**ナノ・マイクロシステムの研究開発**に資する**3次元微細加工**と機械工学に基づいた設計・解析を主な基幹技術として、量子干渉効果を用いた超小型**原子時計**や医薬品開発・疾患機序解明における革新的なツールと期待される**生体模倣システム** (Body-on-a-Chip)など、世界をリードする分野融合型研究にも積極的に取り組んでいます。

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、蛍光ナノダイヤモンド)、また**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を開発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。

Beyond 5G:「時空間同期」の実現による未来像
(時刻と位置を超高精度にデバイス自身が把握できる)



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

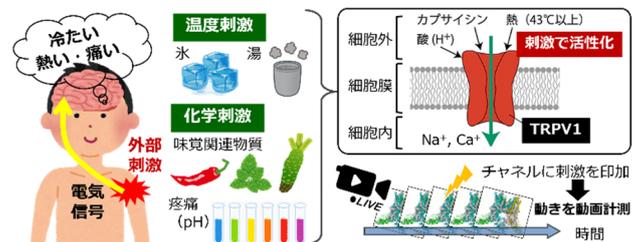
微小な流路や容器で構成される手のひらサイズのマイクロ流体デバイスとヒト由来細胞を使って**体のしくみを模倣する「組織チップ/ボディ・オン・チップ」**は、動物実験を代替する創薬試験デバイスとして世界的に注目されています。本研究では、チップにセンサを搭載して細胞組織や臓器間相互作用をリアルタイムに計測する技術を開発し、**新しい医薬品の開発や疾病進行・機序の解明のスピードアップ**を目指しています。



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。その機能やメカニズムを詳しく理解するために、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。



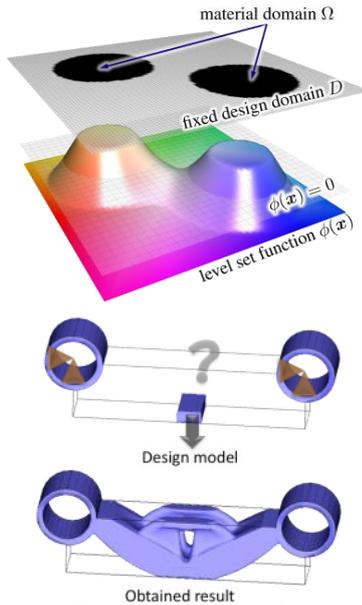
構造材料強度学講座

教授: 泉井一浩, 特定准教授: 古田幸三, 講師: 林聖勳, 特定助教: 韓霽珂

Topology optimization

-トポロジー最適化-

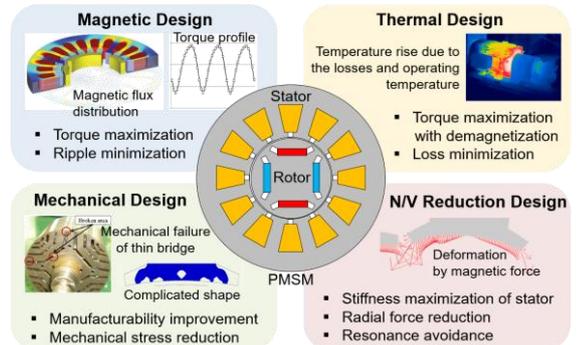
トポロジー最適化は、構造物の最適な形状・トポロジー（穴の数）を、物理学・数学理論に基づくコンピュータ計算により自動的に求める方法であり、次世代の機器設計開発に必要な基盤技術として、学术界・産業界において注目されています。当研究室では、レベルセット関数による形状表現（左図上）を用いた独自の最適設計手法に基づき、機器の高性能化・高機能化に加えて、今までにはない新しい機能を持つデバイスや材料の創成設計法の開発を、世界に先駆けて取り組んでいます。



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す。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。



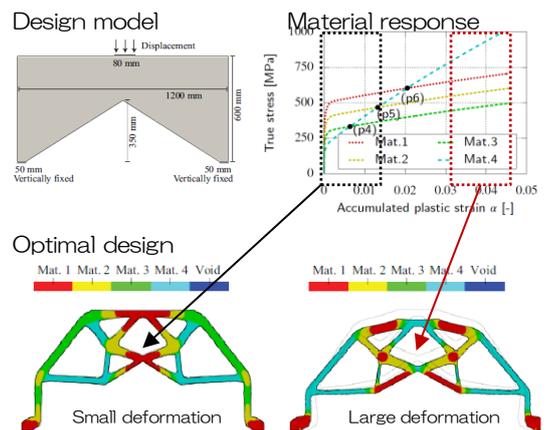
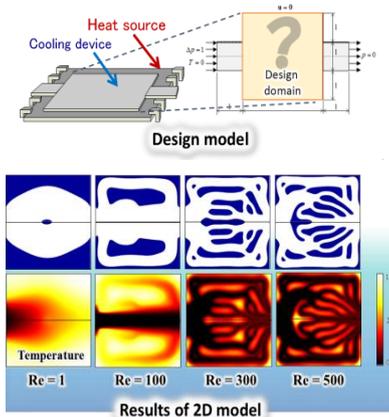
国際競争を勝ち抜く 革新的な次世代機器

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。



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。

Material nonlinearities

-材料非線形性-

ゴムや金属などの多くの材料は粘性、塑性、損傷といった材料非線形性を示します。本研究室では、材料力学理論とトポロジー最適化法を積極的に組み合わせることで、これまでの手法では実現不可能な、材料特性の特異性を発揮する形状を創出する最適設計法の研究を進めています。

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 マイクロバイオシステム分野

教授 横川 隆司, 准教授 藤本 和也, 助教 松本 倫実, 特定助教 馬 成



研究室HPへ

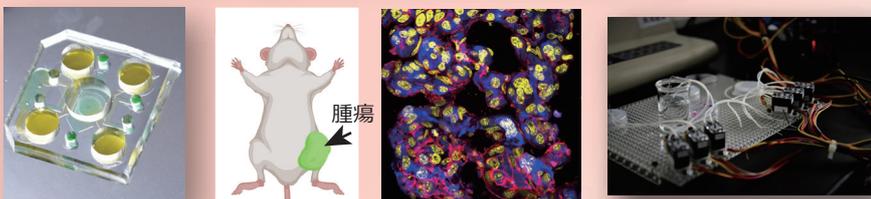
研究室HP: <http://www.mbsys.me.kyoto-u.ac.jp/>

研究概要

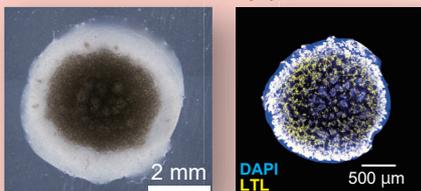
私たちの研究室では、機械工学の技術を使って「生きた体のしくみ」を再現する研究をしています。特に、マイクロ流体デバイス(チップ)の中に小さな血管網を作る「**オンチップ血管網**」が私たちの基盤技術です。この技術を使って、脳、肺、肝臓などのミニチュアモデル(**生体模倣システム**)を作ることができます。

血液の流れを再現することで、疾患発症のメカニズムや薬効をリアルタイムで調べられます。作っているのは小さな「機械」ですが、対象は生命というダイナミックな世界です。流体、熱、構造、制御など、機械工学の知識がすべて活かされています。私たちは、工学と生命科学の融合で未来の医療に貢献したいと考えています。「機械工学を基盤に生命を理解する」——そんな挑戦にワクワクする人にぜひ来てほしいです。

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

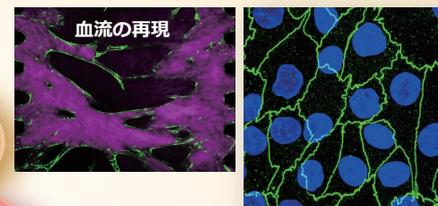
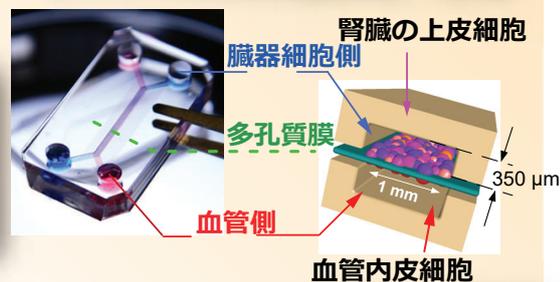


血管網と三次元組織の共培養により生体を再現
疾患モデルとして診断や創薬技術に応用



iPS細胞由来腎臓オルガノイド

デバイス内の組織を“見る”



デバイス内の組織構造
を詳細に観察

生体機能を
見る

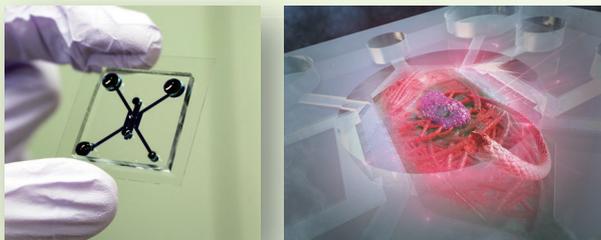
マイクロバイオ システム

生体機能を
作る

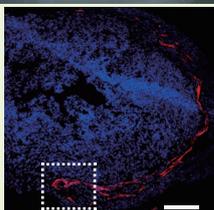
生体機能を
測る

血管網とつながった組織を“作る”

オンチップ血管新生

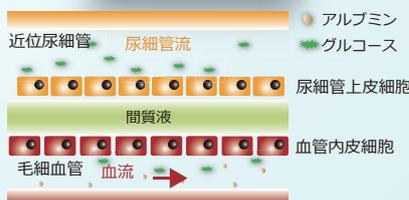
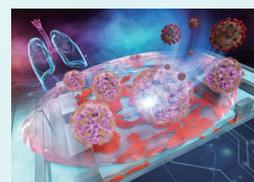
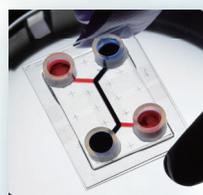


線維芽細胞スフェロイド
栄養、酸素 老廃物
灌流可能な血管網

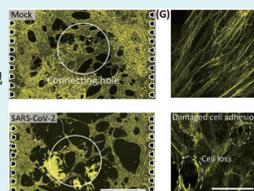


がんや脳を再現した組織に
血管網を接続し薬剤開発へ

物質輸送や免疫応答を“測る”



腎臓の近位尿細管による
薬剤排泄、再吸収能の計測



ウイルス感染における
組織の免疫応答計測

デバイスで再現した組織で生体機能を評価

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

メンバー



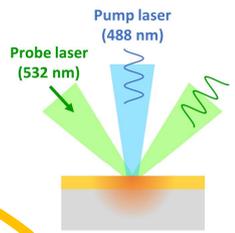
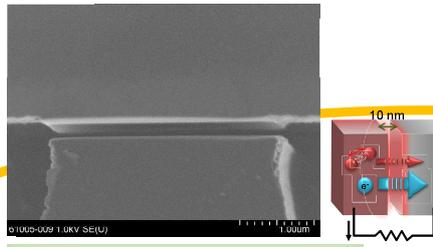
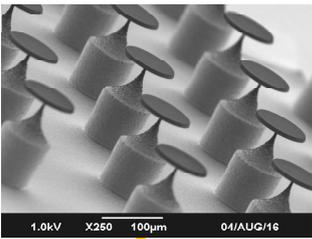
教授 土屋 智由
 准教授 廣谷 潤
 助教 霜降 真希

秘書 1名
 学生：
 博士課程 1名
 修士課程 10名
 学部生 5名
 (2025年6月現在)

ナノギャップ

ナノ熱物性計測

3次元微細加工

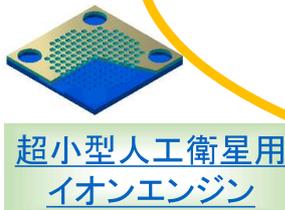


低温動作熱発電素子

ナノ・マイクロシステム工学

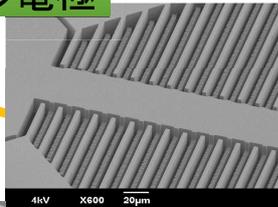
ナノ材料

Carbon nanotube



超小型人工衛星用
イオンエンジン

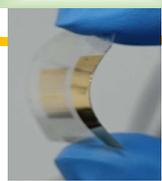
くし形電極



静電容量型
加速度センサ

フレキシブルデバイス

トランジスタ



透明導電膜



Graphene

MXene

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。

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

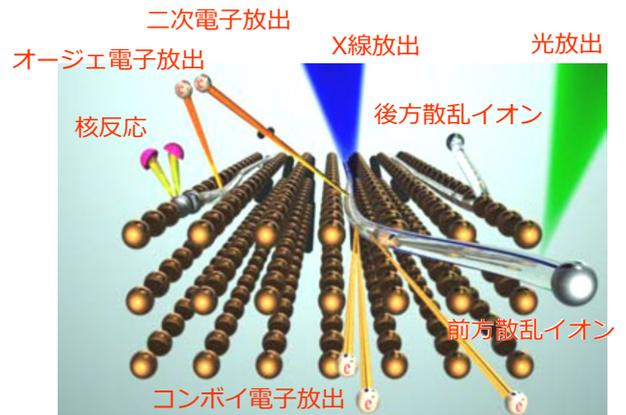
$$1 \text{ nm (ナノメートル)} = \frac{1}{1,000,000,000} \text{ m}$$

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。

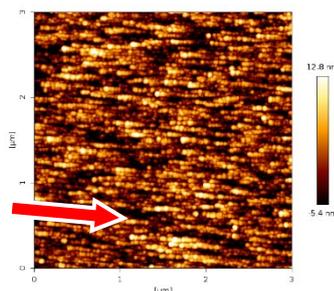


【右写真】イオン散乱分析（高分解能RBS）装置

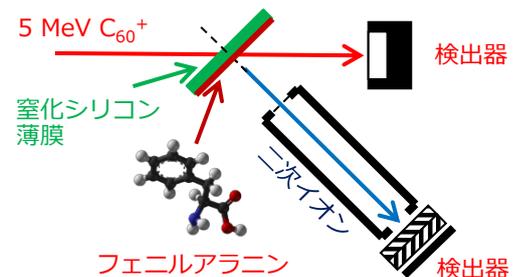
高速クラスターイオンを用いた加工法・分析法の開発

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、これを利用した表面加工法や、高感度な表面分析法の開発に取り組んでいます。



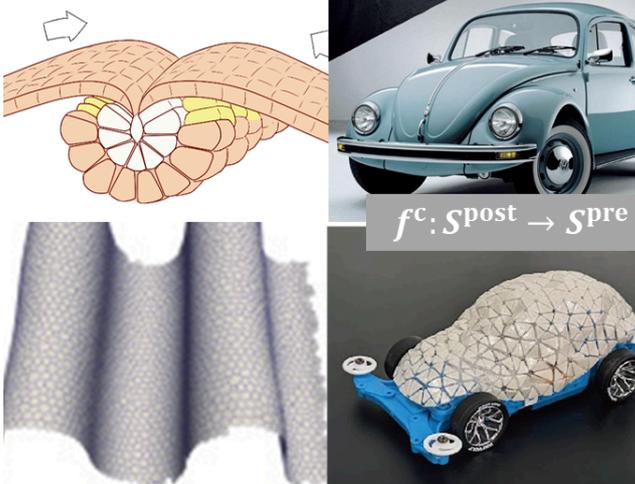
高速C₆₀イオンを斜めに照射したアミノ酸薄膜の表面（原子間力顕微鏡像）



高速のC₆₀イオンを薄膜試料に照射することで、試料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。

Math Meets Life From Lab

2025



数学が拓く！生物の形づくりと未来のものづくり

私たちの体は、無数の細胞からできています。博士課程の三村君と助教の森川さんは、数学の力でその謎に迫っています。三村君は、細胞をシンプルな「点」と捉え、その相互作用を計算することで、組織全体の変形をシミュレーションできる画期的なモデルを開発し、iPS細胞を使った再生医療での臓器作製に役立つと期待されています。森川さんは、数学的な写像で生物の成長を分析し、複雑な生物の形がどのように作られるのかを解明しました。これらの原理を応用し、まるで細胞が体を作るように、工業製品が勝手に作られる未来的な技術の開発を行っています。

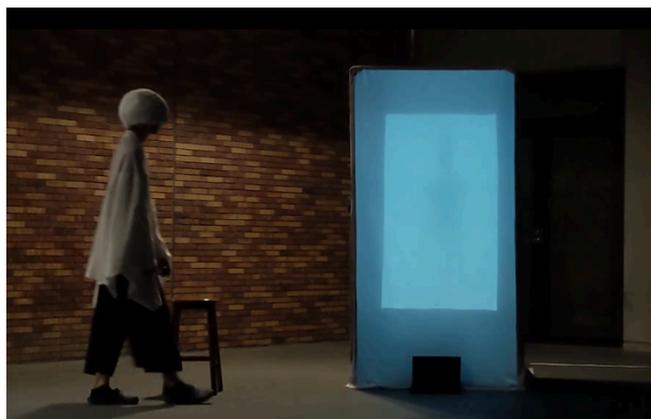
ロボットの未来を動かす 脚機構の進化！



博士課程の松本君は、動物のように滑らかに動けるロボットの脚を実現するため、「リンク機構」を自動で設計する研究をしています。従来の設計では難しかった、設計者の発想を超えた自由な形のリンク機構を、コンピュータの中で進化させて生み出せるのだそうです。

アートと科学の融合が生み出す、新たな表現！

博士課程の根本君は、隠すことで想像力を掻き立てる芸術表現を研究しています。絵画の一部を覆い隠したり、あえてぼかしたりすることで、見た人が自由に想像を膨らませられるように工夫した作品を制作し、展示会やコンペティションで活躍しています。根本君は、「開発した情報提示手法で再構成した日常風景の中に、かつて妖怪と呼ばれた異形のものたちと遭遇する日を夢見ています！」と、今後の展望を語ります。



編集後記

メンバーたちの熱意と、未来への希望に満ちた言葉に、心を打たれました。彼らがこれからどんな未来を創造していくのか、楽しみでなりません！

[制作・編集担当 教授 井上 康博]

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)

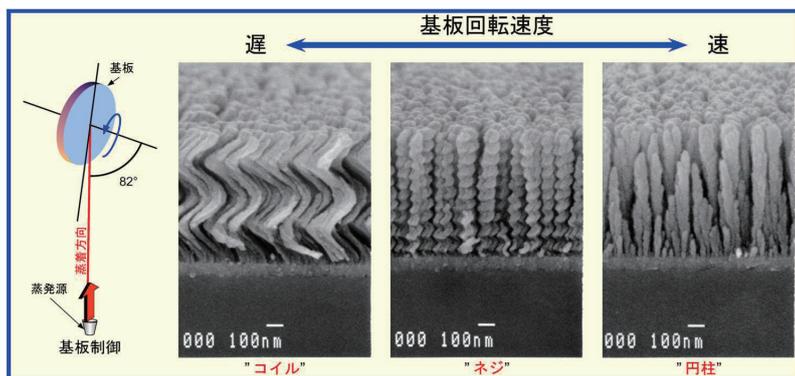


図1. 動的斜め蒸着法による螺旋型ナノコラム構造の形成。

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

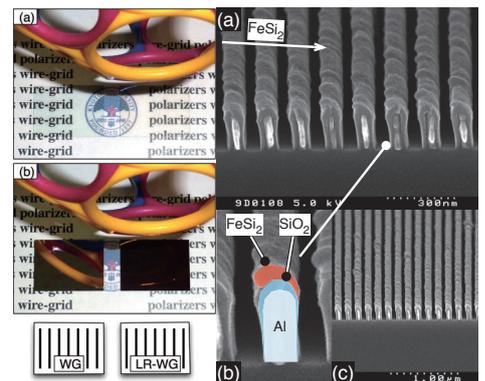


図2. 液晶プロジェクトに搭載された低反射型ワイヤグリッド偏光板。

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)

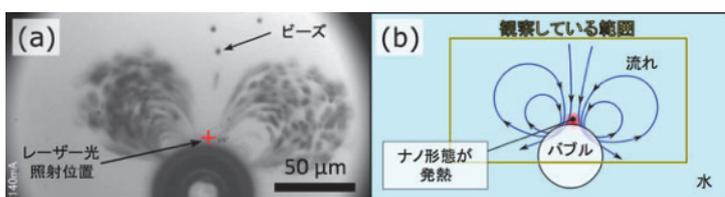


図3. マイクロバブル周辺に誘起される典型的なマランゴニ対流の(a)顕微鏡像と(b)その模式図。

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

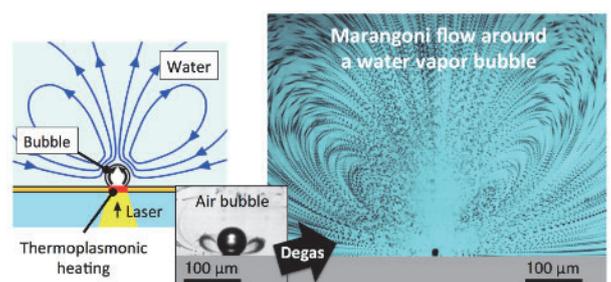


図4. 水蒸気マイクロバブルおよび 1 m/s オーダーの劇的な対流の生成に成功。

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, 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。

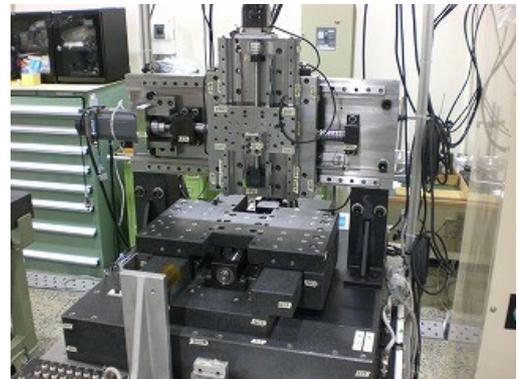
より詳細は: 研究室ホームページ <http://mmc.me.kyoto-u.ac.jp/>



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 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。



3軸のテストスタンド

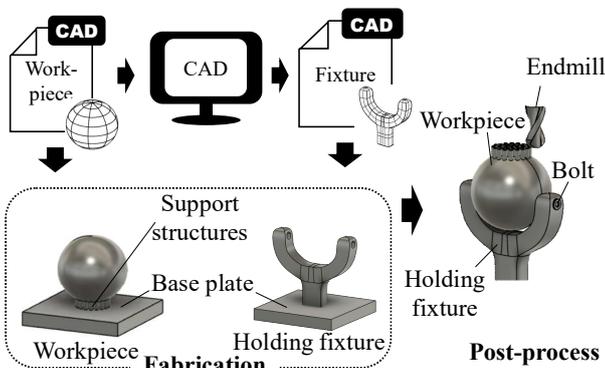
本研究室で試作した超精密テストスタンド

市販機と異なり、様々なセンサや付加駆動軸を搭載可能。

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。



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 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 准教授 牧 功一郎 助教 金 英寛 助教 竹田 宏典

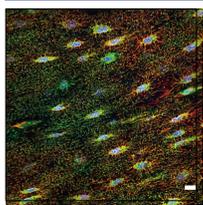
研究概要 力学 × 生命科学 × 医科学

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。

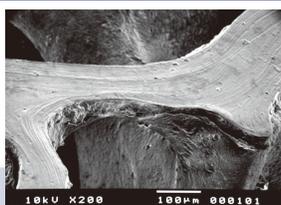
研究テーマ

- (1) 力学環境に応じた生体システムの構造・機能適応のメカニズム
- (2) 多細胞組織の発生・形態形成の多階層力学モデリングとシミュレーション
- (3) 骨細胞の力刺激感知と細胞間コミュニケーションによる骨リモデリング
- (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
- (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

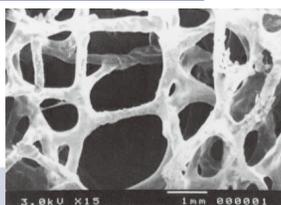
骨組織の機能的適応のバイオメカニクス



骨細胞による力学刺激感知



骨梁の形態変化



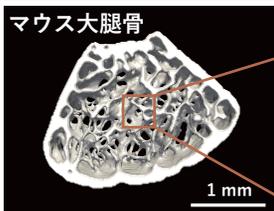
海綿骨の形態変化



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。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。

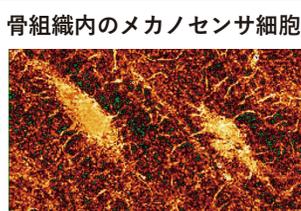
形態形成ダイナミクスの多階層バイオメカニクス



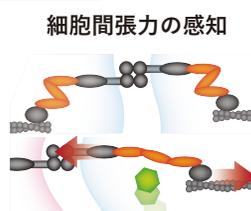
骨リモデリングによる機能的適応



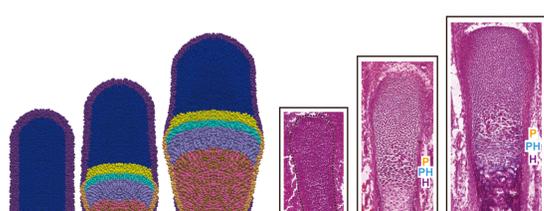
赤:破骨細胞 青:骨芽細胞



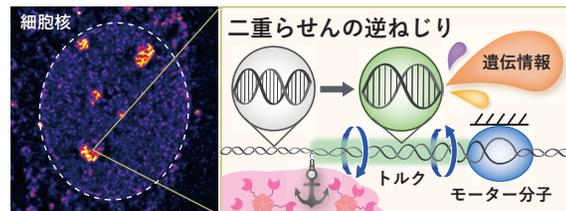
細胞による力感知の分子メカニズム



細胞間張力の感知



多細胞の増殖による組織形態形成



細胞核内におけるDNAの力学動態

力 学的な視点から、細胞・分子レベルの複雑な相互作用より組織・器官レベルにおいて創発される生命システム動態の理解を目指し、実験や数理モデリング・シミュレーション、人工ナノ・マクロシステムを駆使して研究を進めている。

ナノ生物工学分野

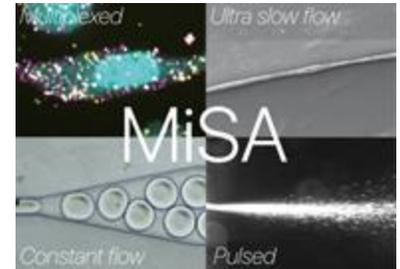
教授 新宅 博文, 白眉特定准教授 塩見 晃史

助教 金子 泰洸^{ポール}, 助教 峯岸 美紗

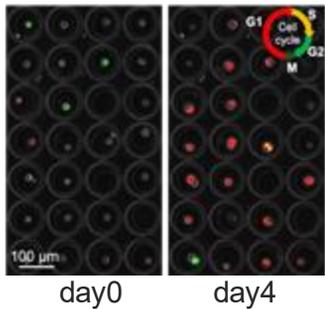
Our laboratory aims to develop diverse methods to profile the state of single cells—the fundamental units of life. By leveraging recent advancements in micro/nanofluidics and electrokinetics, we seek to understand how heterogeneous cell populations collectively give rise to organized biological systems.

Microfluidic Sequencing Automation: MiSA

MiSA offers flexible and multiplexed fluid control for various applications, providing a constant flow rate and transient flow. We demonstrate the practical use of MiSA for multiplexed chemical reactions by performing HybISS. Further, we show the extensions of our system by demonstrating microfluidic spinning of spider silk fiber and atomization of protein solution for time resolved Cryo-EM. This device will offer resources for researchers to quickly explore microfluidic applications with an affordable investment.



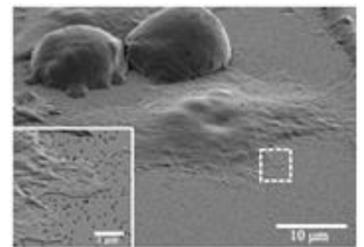
High-throughput analysis of cancer cells under mechanical confinement



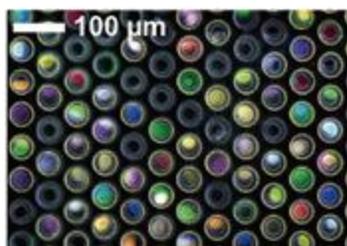
Mechanical confinement, commonly found in living tissues, affects cancer cell behavior. To systematically investigate the cancer cell behavior, we developed MECH-seq, a platform that encapsulates single cancer cells in hydrogel beads using microfluidics. This method enables high-throughput analysis of cancer cells under mechanical confinement. We found that the confinement induced cell-cycle arrest and a dormancy-like state. MECH-seq provides a powerful tool to elucidate the mechanisms of dormancy induction and identify therapeutic targets for preventing cancer relapse.

Exploring cell mechanics with single-cell omics approaches

The mechanical properties of cells are known to be associated with physiological states in various biological contexts, such as cell differentiation, cancer, and aging. To elucidate the intricate molecular mechanisms governing cellular behavior in diverse biological processes, We have developed novel methods capable of integrating cell mechanics profiling with unbiased transcriptomics for thousands of single cells (Shiomi *et al.*, *Nat Commun.*, 2024).



Linking phenotypic response to perturbation and transcriptome



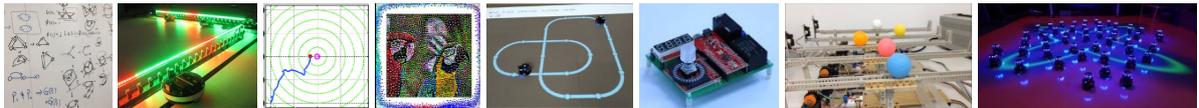
Genetically identical cells can show diverse responses to drugs, leading to different cell fates, such as drug resistance in cancer. To study the molecular cascade of how the variation in gene expression gives rise to different phenotypic responses, we introduced a method combining optical indices from cells and hydrogel beads with single-cell RNA sequencing, linking cellular drug responses to gene expression variations (Tsuchida *et al.*, *Lab Chip*, 2024).



機械システム制御分野

教授 東 俊一 ・ 講師 船田 陸 ・ 助教 坂野 幾海

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, 分子サイバネティックス, ロボティックネットワーク, 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, 講師 江口 佳那, 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、その想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・省エネルギーで実現するために、様々な病気が引き起こす痛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つけて、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 情報学専攻 システム科学コース
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

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．そして，あらゆる分野への応用に取り組み，理論的かつ実践的な教育・研究を行っています．

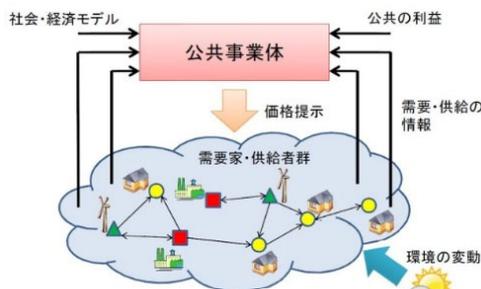
システムのモデリングと制御

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

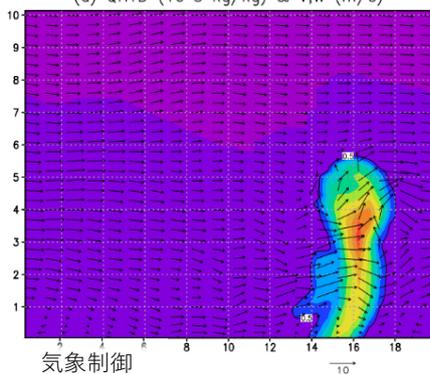
制御

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



電力ネットワークの需要供給制御

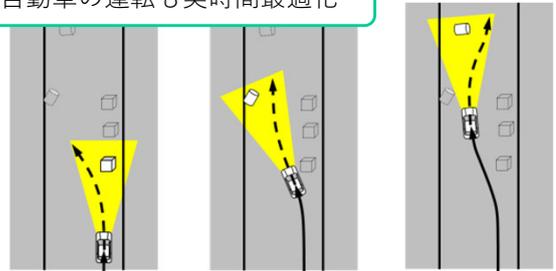
(a) QHYD (10^3 kg/kg) & V;W (m/s)



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

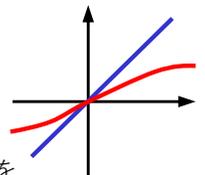
非線形システムの制御

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

「重ね合わせの原理」が不成立
 →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，位相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.

不確かさを考慮した制御

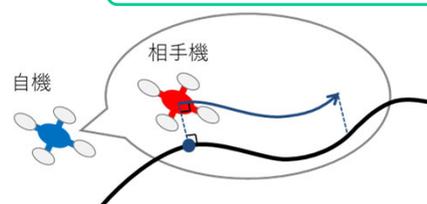
確率制御

風の強さのように偶然生じる変化を考慮した制御

微分ゲーム

レースのように相手が邪魔してくることを考慮した制御

ドローンレースも微分ゲーム



相手機の戦略を読んで自機の行動を決定