# 機械システム学コース



カ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



# 機械システム学コース 機械理工学専攻 機械システム創成学講座

教授 椹木 哲夫, 講師 中西 弘明

# 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、

nergy awaragilab

- 人(Q)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応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。





研究室ホームページ:http://www.syn.me.kyoto-u.ac.jp/ja/

### 機械システム学コース 機械理工学専攻 生産システム工学講 准教授 泉井一浩. 講師 林聖動

## **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、学術界・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

- 雷磁デバイス-

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-



Heat source





only considering of area

considering of area, operation time, and manipulability

### Lavout 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.

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



一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)を組合わせた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ープ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









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



CFRP積層板に対する燃焼実験とその解析



# 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。



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。





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 流れとその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)と密度撹乱(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(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.



# 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安全かつ効率的 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.



# 蓄電技術

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.



# 機械システム学コース 機械理工学専攻 物性工学講座 光工学分野 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。









私たちは、材料に「カ」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か たちによって新しい物性を開拓しています。







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 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。

# <u>真横にも、どの方向にも移動できる!</u>

### 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.





前後方向移動時: 車輪本体が 回転する

横方向移動時: 外周ローラが 回転する

斜め方向移動時: 車輪本体と外周 ローラが回転する





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

### **Rescue Robot System**

ー国際救助隊『サンダーバード』の実現ー 「2050年までにITとロボット技術を基盤とした国際救 助隊『サンダーバード』を実現する」というスローガ ンを掲げ、災害やテロの際に現場や要救助者の情報を 収集するレスキューロボットシステムの開発を行って います、例えば、細長い体幹を生かして倒壊家屋内な どの狭隘地に進入するヘビ型ロボットや、クローラ アームを使って瓦礫や階段などの不整地を踏破するロ ボットなどの開発を行っています.さらに、これらの ロボットの遠隔操縦を支援するインタフェースや半自 律制御システムに関する研究を行っています.



## Dynamics Based Control

-物理法則に合った制御-

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ト制御系を構築します. 複雑なシステムの本質をついた簡単な制御系の構築を 目指し、宇宙ロボット、柔軟構造物、形状可変ロボッ トの制御を研究しています。また、複数ロボットの フォーメーション移動や協調運搬などを対象に、群ロ ボットの分散制御を研究しています.さらに、エン ターテイメントロボットや、高齢者やリハビリのため の歩行支援ロボットの制御技術の開発も行っています.

# 宇宙ロボット

HANO



柔軟アームに アシストカート よる物体把持 制御



アバター没入型遠隔操作システム



生物の運動知能の解明とロボットによる実現を目標に、 ヘビ型ロボットや4脚ロボットなど生物規範型ロボットを 研究開発しています.また、フェロモンにより他のロ ボットとコミュニュケーションし、餌を協調運搬する蟻 を模倣したロボットを研究しています.さらに、3本の脚 を持つモジュールが結合分離再構成して多様な環境に適 応する3脚モジュラーロボットの研究を行っています. 生物に学び生物を超えるロボットを創ることを目指して います.



Human-Centered Interface 一人間中心型のロボット操縦インタフェースー

人がロボットを遠隔操縦する際の負担を軽減することを 目的としたヒューマンセンタードインタフェースの研究 を進めています.例として、ロボットの存在を感じるこ となく、アバータに乗り込むことにより、自身で動作し ているような感覚で、移動マニピュレータを介して作業 をできるインタフェースの開発を行っています.

また、ハプティクスに関する研究として、ヒトの触知 覚能力を高める研究を行っています. ヒトの指先での触 知覚能力を高める確率共鳴現象を発現するVRシステム、 それを用いた運動学習スキームの提案等を行っています.



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

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、シール等ー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。



開発した実験装置一例:狭小すきま摺動試験機

# 機械システム学コース 機械理工学専攻 機能創成デバイス工学研究室



250 µm

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センサや医薬品開発・疾病機序解明における革新的なツールと期待される組織 チップ(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

樹脂

ナノ・マイクロ加工:3次元微細加工技術と設計論の構築

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し、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

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制御を行うために使う「高性能な小型 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

小な流路や容器で構成される流体チップとヒト 由来細胞を使って体のしくみを模倣する「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 疾病機序の解明のスピードアップを目指しています。



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

胞膜に存在する温度感受性(TRP)イオン チャネルは、生体マルチセンサとして働く 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、物理・化学的刺激をチャネルに印 加して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。



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 ナノメトリックス工学分野

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

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、分子から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生命科学研究への応用を対象としています。



mportance

### 



# 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



システム



### 微小管の自己組織的な 集団運動を機械学習で分類





生体機能を

作る

# 細胞の機能を測る

細胞機能評価のための実験系 2. PDMS チャネル

0 0

生体機能を

測る

3. 多孔質膜

1. 上部電極

- 4. PDMS チャネル
- 5. 下部電極

がんの三次元組織に血管網を接続し薬剤開発へ

腎臓の近位尿細管の機能を模倣したデバイス開発

• グルコース

● 尿細管上皮細胞

血管内皮細胞

# 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



# 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<u>寸法効果</u>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<u>静電気、気体の粘性</u>、さら には<u>量子効果</u>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	



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

 $1 \text{ nm} ( \neq J \times - \vdash J ) = \frac{1}{1,000,000,000}$ 

### 🚳 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)



m

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C<sub>60</sub>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C<sub>60</sub>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

生物から学ぶ完全変態技術 4Dプリント





<sup>多様性と適応進化</sup> 進化的機械設計



<sup>不明瞭な境界</sup> いきものらしさの数理





# エ学研究科 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 マイクロ加エシステム分野 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. 液晶プロジェクタ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).

機械システム学コース・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 精密計測加工学分野

教授 松原 厚, 准教授 河野 大輔, 特定准教授 Anthony Beaucamp, 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. エ 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.

### 高能率・高精度な加工機 Project 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.

# 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,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



最先端の科学を支える 研磨技術



研磨加工機 最新スマートフォンのディスプレイ用の金型 指が鮮明に映るほどの滑らかさが画面表示の質を左右する

研磨加工は最も歴史の古い加工法の1つであるが,現在の科学技術 においても重要度が高い.例えば光学製品は,X線望遠鏡などの最 先端装置だけでなく、カメラ用レンズなどのごく身近な製品であっ ても,数nm~数+nmの表面の滑らかさ(10万~100万分の1mm レベルの表面の凹凸. 原子 数十~数百個レベル!) が必要とされる. このような表面を切削加工や研削加工で得ることは難しく、微小な 研磨剤を用いた研磨加工が必要である.本研究室では、製品の形状 は崩さず,表面の滑らかさのみを向上させるために,機械を用いた 研磨技術開発に取り組んでいる. 左の写真は7軸制御の研磨加工機 であり、研磨時の工具経路の改良や、研磨剤の混ざった流体を吹き 付ける先進的な研磨方法の研究を行っている.

機械システム学コース マイクロエンジニアリング専攻 バイオメカニクス分野

教授 安達 泰治, 助教 亀尾 佳貴, 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—生化学連成メカニズムの解明
- (4) 多細胞組織の形態形成の in silico モデリングと in vitro 実験
- (5) クロマチンのナノカ学動態を介した遺伝子転写メカニズムの解明

# 骨組織の機能的適応のバイオメカニクス



□□□□は周囲の力学環境変化 日 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。

# 力学刺激感知

マウス大腿骨

小脳しわ形成



形態形成ダイナミクスの多階層バイオメカニクス





細胞による力感知の分子メカニズム



細胞核内における DNA の力学動態

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。











骨リモデリングによる機能的適応

増殖

1 mm

脳形態形成シミュレーション



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.







