OPEN

Introduction of Mechanical Engineering Group 2023
Tohoku University

TOHOKU
UNIVERSITY

東北大学機械系　研究室紹介

目 次　CONTENTS

機械システム	微小機械構成学分野	1	小野・トアン・チュオイ 研究室
		2	戸田 研究室
	ナノ界面制御工学分野	3	足立 研究室
		4	村島 研究室
	新エネルギー変換工学分野	5	湯上 研究室
		6	清水 研究室
	流体エネルギー工学分野	7	茂田・杉本 研究室
	熱制御工学分野	8	琵琶 研究室
		9	庄司 研究室
	表面・界面制御強度信頼性科学研究分野	10	小川・齋藤・Bernard 研究室
		11	市川 研究室
	エネルギー循環システム研究分野	12	佐藤（一）研究室
	エネルギー環境社会マネジメント分野	13	中田・ドラージュ 研究室
	交通社会マネジメント分野	14	長江 研究室
	分散エネルギーシステム学分野	15	川田・山口（実）研究室
	電磁機能流動研究分野	16	高奈 研究室
	協力講座 自然構造デザイン研究分野	17	鈴木（杏）研究室
	協力講座 伝熱制御研究分野	18	小宮・神田 研究室
	協力講座 先進流体機械システム研究分野	19	伊賀 研究室
		20	岡島 研究室
	協力講座 エネルギー動態研究分野	21	丸田・森井 研究室
		22	中村（寿）研究室
	協力講座 流動・材料システム評価研究分野	23	内一・武田 研究室
	協力講座 固体イオニクス・デバイス研究分野	24	雨澤・木村 研究室
		25	中村（崇）研究室
ファインメカニクス	知的計測評価学分野	29	祖山・久慈 研究室
	機械材料設計学分野	30	青柳 研究室
	破壊予知と破壊制御研究分野	31	三浦 研究室
	共同研究部門	32	竹田 研究室
	ソフトメカニクス分野	33	山口・西 研究室

	精密ナノ計測学分野	34 35	高 研究室 松隈 研究室
	材料システム評価学分野	36 37	燈明・木村 研究室 白須 研究室
	協力講座 分子熱流動研究分野	38	小原・Surblys 研究室
	協力講座 分子複合系流動研究分野	39	菊川 研究室
	量子ナノ流動システム研究分野	40	徳増・馬渕・上根 研究室
	グリーンナノテクノロジー研究分野	41	遠藤 研究室
	協力講座 表面物理プロセス研究分野	42	矢代 研究室
	材料機能信頼性設計学分野	43	鈴木 研究室
ロボティクス	ニューロロボティクス分野	47 48	林部・沓澤 研究室 大脇 研究室
	知能機械デザイン学分野	49 50	平田・翁・サラザル 研究室 田村 研究室
	イメージ解析学分野	51	岡谷・菅沼 研究室
	人間ーロボット情報学分野	52 53	田所・大野・多田隈・岡田・渡辺・小島・阿部・ベゼハ 研究室 昆陽 研究室
	分子ロボティクス分野	54 55	村田・川又 研究室 野村・松林 研究室
	スマートシステム集積学分野	56 57	田中（秀）研究室 塚本 研究室
	知能制御システム学分野	58 59	橋本・千葉・楊 研究室 鏡 研究室
	情報ナノシステム学分野	60 61	金森・岡谷 研究室 猪股 研究室
航空宇宙	空力設計学分野	65 66	河合・淺田 研究室 久谷 研究室
	材料・構造スマートシステム学分野	67 68	岡部・川越・南雲・龍薗 研究室 山本 研究室
	実験空気力学分野	69	野々村・永田・佐々木 研究室
	推進工学分野	70 71	大西・佐藤（慎）研究室 高橋 研究室
	宇宙探査工学分野	72 73	吉田・レネ 研究室 桒原 研究室
	宇宙構造物工学分野	74 75	槙原 研究室 大塚 研究室

	計算数理科学分野	76 77	山本（悟）・宮澤 研究室 古澤 研究室
	アーキテクチャ学分野	78 79	小林・小松 研究室 佐藤 研究室
	高性能計算論講座	80	滝沢・髙橋（慧）研究室
	協力講座 航空宇宙流体工学分野	81	大林・焼野 研究室
	協力講座 高速反応流研究分野	82	早川 研究室
	協力講座 宇宙熱流体システム研究分野	83	永井・伊神・常 研究室
	協力講座 混相流動エネルギー研究分野	84	石本・大島 研究室
	協力講座 計算流体物理研究分野	85 86	服部 研究室 廣田 研究室
機械・医工学	ナノデバイス医工学分野	89	芳賀・鶴岡 研究室
	医用ナノシステム学分野	90	田中（徹）・木野 研究室
	機械力学分野	91	福島 研究室
	バイオデバイス工学分野	92	西澤・照月 研究室
	生体流体力学分野	93 94	石川・大森 研究室 菊地 研究室
	医療福祉工学分野	95 96	田中（真）研究室 奥山 研究室
	ライフサポート工学分野	97	山口 研究室
	協力講座 融合計算医工学研究分野	98	船本 研究室
	協力講座 生体流動ダイナミクス研究分野	99	太田・安西 研究室
	協力講座 生体ナノ反応流研究分野	100	佐藤（岳）・劉 研究室
	協力講座 マニュファクチャリングプロセス分野	101	水谷 研究室
エネルギー環境	協力講座　地殻環境エネルギー研究分野	105	伊藤・椋平 研究室

機械システム

Mechanical Systems

機械システムコース
機械機能創成専攻

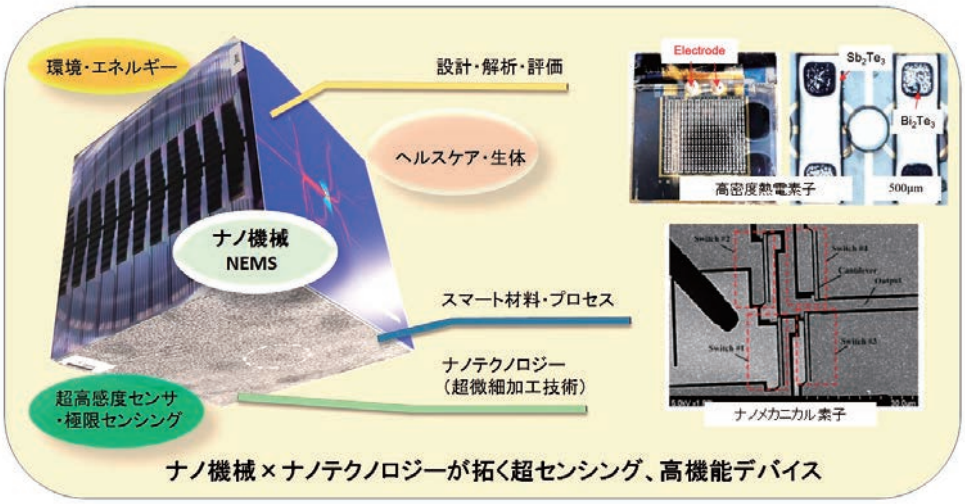
教　授
小野　崇人

准教授
グエン　バン　トアン

特任助教
グエン　チュオイ

小野・トアン・チュオイ 研究室

機能システム学講座
微小機械構成学分野
https://www.nme.mech.tohoku.ac.jp/



ナノ機械×ナノテクノロジーによる超センシングとその応用技術に関する研究

本研究室では、ナノ電気機械システム（NEMS）技術とナノテクノロジーの融合技術による、超高感度センサ・システムの開発を進めている。極限の感度をもつ超センシング・センサを創成し、ブレークスルーが期待されているヘルスケア・生体、環境・エネルギー、情報・通信など様々な分野において役立つシステムを創出することを目指している。ナノメカニカルセンサは、重さ、輻射といった種々の物理量を高感度に検出することができ、かつ小型・集積化が可能である。ナノスケールでの機械特性に関する基礎研究や、新しい原理のセンサ、材料、集積化システムなど、基礎から応用まで展開している。非侵襲に生体情報を取得する超高感度センサ、高度情報社会で必要とされる IoT センサシステム、また、これらのセンサに電力を供給するための発電デバイス / 蓄電デバイスなどの開発を進めている。

高感度・極限センシングシステム

力や電磁波などの物理量や分子などを高感度に計測する NEMS・センシングシステムを開発し、科学計測や産業応用を見据えた研究を進めている。センサをナノスケールに小型化することで、熱ノイズの影響を低減することができ、高感度化が可能になる。このためのナノ加工技術を開発し、ナノメカニカル機械構造による超高感度センシングシステムを研究している。

スマート材料・プロセス技術

高機能マイクロシステムに応用するため、機械的、電気的、熱的に高機能な特性をもつスマート材料とそのプロセス技術の開発を行っている。ナノカーボンやナノ粒子等の複合材料、熱電発電のためのナノ複合材料とプロセス技術、マイクロ蓄電素子のためのイオニクス技術、スピントロニクス×磁歪による新規アクチュエータを新たに開発し、新規ナノ電気機械システムへの展開を進めている。

IoT応用デバイス

ナノ材料を含有させることで高性能化した熱電材料をデバイス化するプロセスを開発している。排熱や温度揺らぎからの環境エネルギーで動作するシステムの研究を進めている。また、発電したエネルギーを蓄電するオンチップ・蓄電素子も同時に開発している。これらの技術を利用し、環境モニタリングなどの分野でバッテリーがなくても動作する IoT センサへの展開を進めている。

ヘルスケア・生体センサ

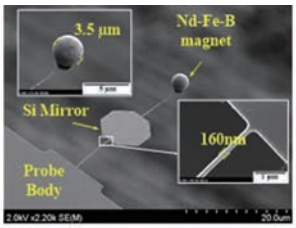
高感度・高機能センサ技術をヘルスケアや生体センシングに応用するための基礎研究を進めている。体内の成分を非侵襲で測定するため、高感度音波センサを開発し、レーザー光がターゲット物質に吸収される際の音波を検出する（光音響）ことで非侵襲計測を実現することを目指している。また、尿などの成分を自宅で簡易に測定できる高感度バイオ化学センサを開発している。

機械システムコース
機械機能創成専攻

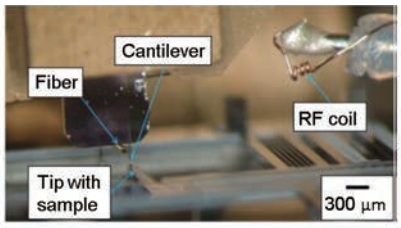
戸田 研究室

准教授
戸田　雅也

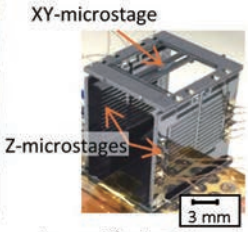
機能システム学講座
微小機械構成学分野
http://www.nme.mech.tohoku.ac.jp/



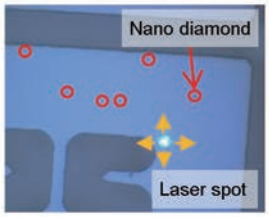
微小磁石付きナノプローブ



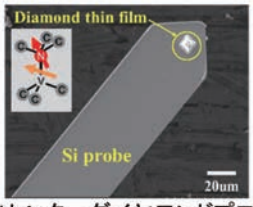
磁気共鳴力顕微鏡



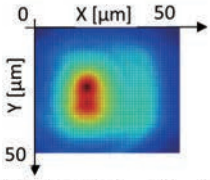
キュービックスキャナ



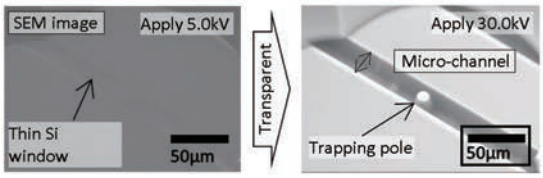
ナノダイヤモンド



NVセンターダイヤモンドプローブ



磁気共鳴イメージング



液中細胞の高真空下観察用のマイクロ流路

微小機械の極限計測への応用･新技術の創成

本研究室では、微細加工技術を用いてナノスケールの微小機械を作製し、今まで見ることの出来なかった微細な世界を、熱や光、力という物理量で高感度に計測し、精密に観察するための技術開発をしている。そのために、高感度な磁気センサや熱センサを作製し、液中の試料を真空中で計測するのためのマイクロ流路や極低温でも劣化なく動作する XYZ スキャニングステージを作製し、またそれらを組み合わて機能のシステム化を目指している。片持ち梁構造のプローブを作製し、その変位を計測することで、アトニュートンの力感度で磁気力の変化や局所的な熱をモニタするセンサデバイスを開発している。計測システム系のシミュレーションや画像処理技術の開発なども行い、生体試料や半導体試料を非破壊で高精度に３次元イメージングできる磁気共鳴力顕微鏡の開発している。

超高感度な磁気センサ

磁気共鳴イメージング（MRI）技術をナノ機械を用いて小型化したものが磁気共鳴力顕微鏡である。MRI の対象をより小さな半導体素子や単一細胞にし、半導体プロセスのダメージ評価や細胞診断の新技術開発を進めている。高感度に磁気共鳴現象を観測するためのナノワイヤープローブの開発や蛍光強度から磁場計測が可能な窒素欠陥（NV）センターを有するプローブの開発を行っている。

ミニチュアMRIのための3次元スキャナ

ナノメートルの分解能を維持した数十マイクロメートルの３次元走査は、ドリフトやヒステリシスの問題があり、長時間の計測は困難である。本研究室では、シリコン製の２次元スキャナと１次元スキャナを組み合わせ、低温でも劣化無く長距離動作するような 3D スキャナを開発している。静電駆動型で、室温でも極低温下でもヒステリシスが少なく長距離動作させることに成功している。

ダイヤモンドセンサを使った応力センシング

窒素欠陥のあるダイヤモンドには、特有の磁気光学的性質があり、スピントロニクスの分野では盛んに研究されている材料である。このナノダイヤモンドを振動センサ上埋め込むことで、印加応力とダイヤモンドが発する蛍光強度の関係調べ応力計測応用への可能性を検証した。窒素欠陥を有するダイヤモンドを用いた振動子はにより、応力の向きを同定するなど精密な応力センサが実現できる。

単一細胞計測のためのマイクロ流路の開発

生きた細胞は常に動いているため単一細胞の精密検査には、細胞を如何に生きたまま捕らえるかが課題である。本研究では、流路内トラップ構造を用いて細胞を生きたまま捕らえ、真空環境で長時間観察できるような Si 薄膜窓を有するマイクロ流路を開発した。単一細胞の挙動や個性、細胞間の繋がり、ガン化細胞の仕分け、一分子タンパク質の検出などを目指して研究開発に取り組んでいる。

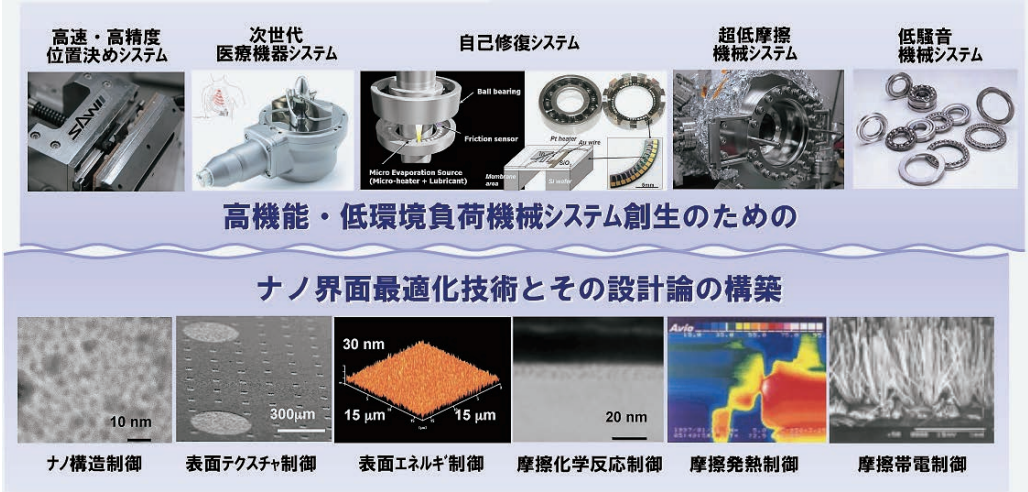
機械システムコース
機械機能創成専攻

教　授
足立　幸志

足立 研究室

機能システム学講座
ナノ界面制御工学分野

http://www.tribo.mech.tohoku.ac.jp/



高機能ナノ界面による機械システムイノベーション

機械がその機能を果たすべく稼働する時、動く部分において必ず摩擦が発生し、物がすり減る摩耗が生じる。それらは、機械における大きなエネルギー損失となり、不具合、寿命の主原因となる。また、それらは高度な機械の機能と性能の限界を支配する。本研究室では、そのような接触面で発生する現象の制御を可能にする高機能ナノ界面を創成するための最適化技術を開発し、それらの機能制御を実現した高度な機械機器の創成により低炭素社会・持続可能な社会・安全安心な社会の構築に貢献することを目指している。また接触面での現象の原子・分子レベルでの物理・化学的解明とナノテクノロジーが可能にするものづくりを融合させた「高機能機械機器のためのナノ界面層からのボトムアップ型設計（Tribologically-based Machine Design）」の構築を目指している。

超低摩擦発現のためのトライボ化学反応を制御したナノ界面創成　～ なじみの科学となじみの技術 ～

稼働開始時に高く不安定であった摩擦が徐々に減少し、一定期間の後に低く安定した摩擦を示す定常状態となる。この期間を「なじみ」と呼ぶ。このなじみ期間の摩擦によって自己形成され超低摩擦を発現するナノ界面に着目し、機械に加え材料、化学、物理の視点から摩擦により誘起されるトライボ化学反応を解明し制御することによる半永久寿命を有する超低摩擦システムの創成を目指している。

超低摩擦のためのナノ界面最適化技術 ～ 低環境負荷機械システムの研究開発 ～

ナノ構造を制御した炭素系硬質膜は大気中無潤滑下で0.003の低摩擦係数を発生し、ナノ・マイクロテクスチャを施したセラミックスは水中において0.0001の低摩擦係数を発生する。大気中、水中に加え自動車エンジンに代表される油中を対象に、テクスチャ技術、コーティング技術を中心に実用化を目指した信頼性の高い低摩擦発生のためのナノ界面の設計と創成の研究開発を行っている。

高摩擦･耐摩耗のためのナノ界面最適化技術 ～ 高機能摩擦駆動アクチュエータの研究開発 ～

小型化、軽量化、簡素化、高速化、高精度化を可能にする摩擦駆動アクチュエータ（超音波モータ及び表面弾性波モータ）の開発を行っている。高精度の位置決めには、滑りを制御するための高摩擦と同じ表面であり続けるための耐摩耗性が鍵となる。現在、これらを両立するナノ界面創成のために、ナノ構造制御技術及びナノ形状制御技術を駆使した最適化技術の研究開発を行っている。

高機能ナノ界面新規評価法の開発 ～ その場摩擦摩耗解析プラットホームの研究開発 ～

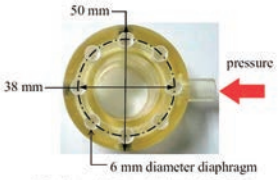
摩擦中に自己形成、自己修復する高機能ナノ界面の形成機構、それによる超低摩擦機構の解明が低摩擦技術開発には不可欠である。これに対し、走査電子顕微鏡、環境制御型走査電子顕微鏡、ラマン分光装置、X 線光電子分光装置と摩擦試験機を組み合わせたその場摩擦摩耗解析プラットホームおよび摩擦面広域における微小領域の特性（硬度、表面自由エネルギー）分布解析法の開発を行っている。

機械システムコース
機械機能創成専攻

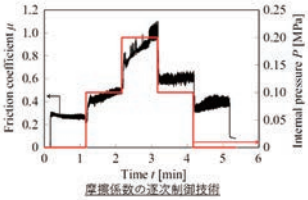
村島 研究室

准教授
村島　基之

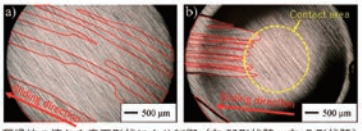
機能システム学講座
ナノ界面制御工学分野
http://www.tribo.mech.tohoku.ac.jp/



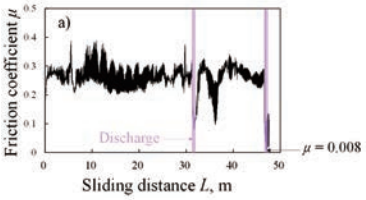
3Dプリンタを用いて作成した変形表面



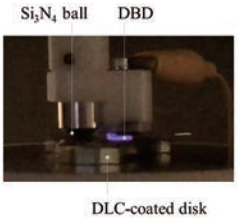
摩擦係数の逐次制御技術



潤滑油の流れを表面形状により制御（左:凹形状時，右:凸形状時）



誘電体バリア放電(DBD)による超低摩擦の実現



DBDの摩擦面直接照射

表面機能の環境に応じた能動的制御による機械表面の高機能化

物体には必ず”表面”が存在しています。この表面が示す特性は、材料内部の特性とは大きく異なることが知られています。機械においては最終製品の表面だけでなく、構成する部品一つ一つの表面機能を目的に合わせて作り込んでいくことが必要とされています。私たちの研究室では表面同士が接触や相対運動することで生じる、摩擦・摩耗・吸着などの現象に着目して研究を進めています。これらを最適化することは、長寿命・高信頼性・高効率特性を有する機械を作るために重要です。さらに、近年は多様な環境でも効率的に仕事をする機械や個々人の身体的特徴・嗜好に寄り添った機械が求められています。このような機械の実現のために私たちは、能動的に表面機能性を制御する技術の開発を日々続けいています。

変形表面を用いた摩擦制御技術の開発

私たちは3D プリンタや金属薄膜を用いることで凸や凹形状に変形する表面を新しく開発しました。この表面は、例えばブレーキが必要な状態では大きな摩擦となる形状、損失を低減したい状態では小さな摩擦となる形状に任意のタイミングで変形が可能です。開発された変形表面は、これまでブレーキと低摩擦軸受けという二つの機械要素が担っていた役割を両立することを可能にします。

有機潤滑物質を用いた超低摩擦技術の開発

機械しゅう動面の摩擦係数は潤滑油を用いた場合でも0.01であり、これより摩擦損失が小さい状態は超低摩擦と呼ばれます。私たちの研究室ではダイヤモンドライクカーボン膜と有機潤滑物質を用いることで、水溶液中でも超低摩擦が実現されることを示しました。この研究は次世代の潤滑技術開発につながるとともに、現象の解明により既存潤滑剤の改良にもつながるものと期待されています。

表面損傷の発生時にも安定的摩擦の維持を可能とするAIを活用した接触点制御技術の開発

機械の摩擦面は、荷重を支えつつ滑り運動をするという過酷な環境にさらされます。そのため、疲労や異物のかみこみにより摩擦面が損傷してしまい、機械の振動、摩擦係数の大幅な上昇などが引き起こされてしまいます。私たちの研究室では変形表面の変形を人工知能（AI）を用いて制御することで、損傷部を回避しながら安定的な摩擦を実現する新しい技術を開発しています。

誘電体バリア放電を用いた潤滑剤の地産地消技術開発

摩擦面の安定的な滑りを実現するために、機械には潤滑油が多く使用されます。一方で、潤滑油は石油から生成される材料であり、環境保護・持続型社会の実現に向けてはこれに代わる潤滑技術が必要とされています。私たちの研究室では、炭素系材料表面に誘電体バリア放電を照射することで潤滑剤が表面に自己形成され、これが優れた低摩擦効果を有することを新たに発見しました。

機械システムコース
機械機能創成専攻

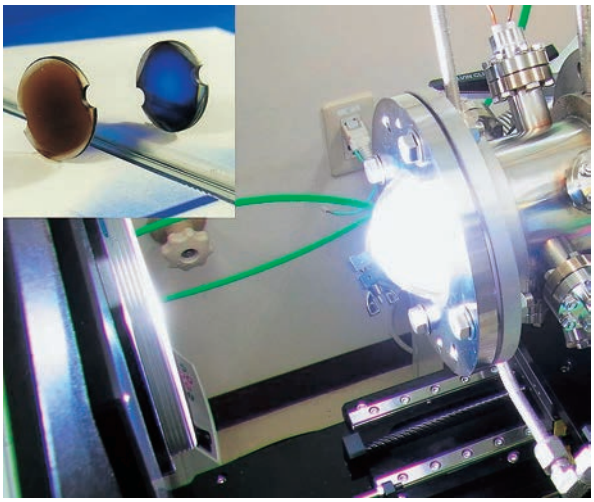
湯上 研究室

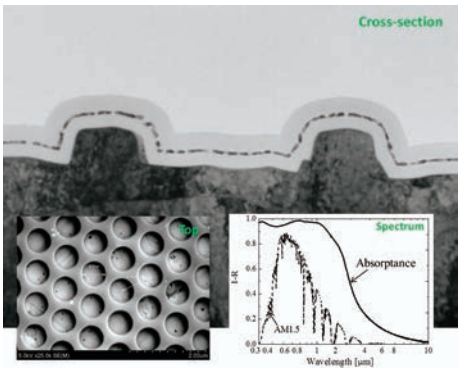
教　授
湯上　浩雄

特任准教授（工学研究院）
須藤　祐子

エネルギー学講座
新エネルギー変換工学分野

https://www.renewable.energy.mech.tohoku.ac.jp/





原子層堆積装置（テクノファイン社製）を用いて作製された微細構造ー多層膜ハイブリッド型太陽光選択吸収材料

開発したソーラー TPV 発電試験システム。
挿入図は使用されている熱ふく射スペクトル制御材料

再生可能エネルギーで開く未来!　～高温フォトニクス～

産業革命から続く工業、産業の発展や西洋文明の拡大により我々の生活は飛躍的に向上しました。しかしエネルギー特に化石燃料消費量の増大により、地球規模の環境破壊や将来的なエネルギー不足という大きな問題に直面しています。これらの問題を解決し、且つ今後も発展を続ける社会を成立させるためには、太陽エネルギーなどの再生可能なクリーンエネルギーの利用や、限られた化石燃料の高効率利用に基づく持続的発展可能なエネルギーシステムの構築が必要です。そのために、我々は高温フォトニクス技術に基づき太陽エネルギーを高効率で利用できる新しいエネルギー変換デバイスなどの研究に取り組んでいます。また、今後やってくる厳しい環境制約の下でも、物質的にも精神的にも豊かに暮らすことができるライフスタイルを描き、その実現に必要な技術を創出していく手法研究も行っています。

高温フォトニクスによる高効率ソーラーTPVシステムの実現

我々は高温フォトニクスと呼ばれる高温の熱ふく射スペクトル制御技術を用いた太陽エネルギー高効率利用のためのソーラー熱光起電力発電（TPV）を提案しています。ソーラー TPV は太陽光を熱として吸収し、PV セル感度波長と整合した熱放射光へ変換するため、単接合セルでも50% 以上の高い効率が期待でき、これまで本システムにおける世界トップレベルの効率実現に成功しています。

太陽熱利用システム高効率化のための高温用太陽光選択吸収材料

近年、注目されている集光型太陽熱発電では太陽エネルギーを高効率で吸収する太陽光の選択吸収特性が重要な要素技術の一つです。我々は、太陽熱利用システムの更なる高温化に対応可能な、多層膜構造を用いた高効率太陽光選択吸収材料の開発や、Ni 基超合金における自己組織化を用いた微細構造作製技術を用いた大面積作製技術の開発を行っています。

高分子薄膜を用いた熱輻射のスペクトル特性･放射角度特性制御

高分子膜を反射基板上へ形成することで分子振動由来の熱輻射が薄膜導波路で増幅され強い放射（吸収）ピークとして現れます。我々は高分子薄膜の膜厚や材料物性を制御することで熱放射波長域の制御および放射指向性の制御技術を実現しました。これにより従来にない熱輸送制御方法の実現が可能となります。

固体酸化物型燃料電池（SOFC）の実用化、将来研究

小型で高効率なエネルギー変換デバイスである固体酸化物型燃料電池（SOFC）や水蒸気電解器（SOEC）による、分散型エネルギー源とそれに基づく負荷平準機能等を取り入れた、環境負荷が低くエネルギー使用効率の高い新しいエネルギー供給システムの実現に向け、高温プロトン導電体等を用いた固体イオニクスに関する研究開発を行っています。

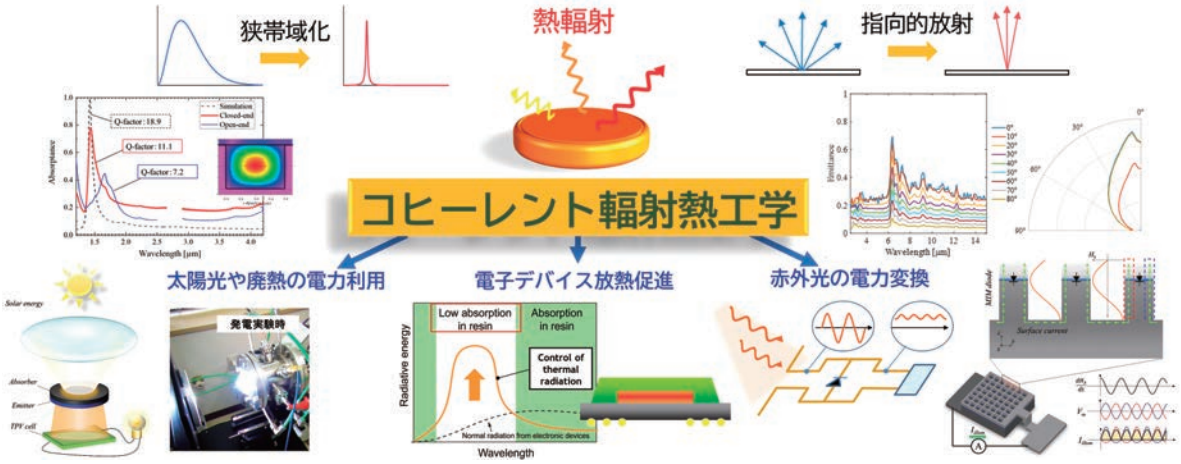
機械システムコース
機械機能創成専攻

清水 研究室

准教授
清水　信

エネルギー学講座
新エネルギー変換工学分野

https://www.renewable.energy.mech.tohoku.ac.jp/



当研究室で実施しているコヒーレント輻射熱工学の概要とその応用例

輻射熱輸送制御による先進熱マネジメント　～コヒーレント輻射熱工学～

これまで人類社会は化石燃料由来のエネルギーに支えられ発展を遂げてきました。しかし今、その弊害が CO_2 排出量増加に伴う地球温暖化という形で顕れ始めています。したがって CO_2 排出を伴わない人類社会の発展、すなわちグリーン成長社会実現を推進するための大きな社会構造変革が必要とされています。そのための重要な項目の一つはエネルギー消費形態において大きな割合を占める「熱」の最適利用であり、我々は特に熱輻射に注目した先進熱マネジメント技術の研究を行っています。従来の熱工学では輻射伝熱を他の２つの形態（伝導、対流）同様、熱量の移動として考えますが、スペクトル特性や指向性といった熱輻射の波動的特性を制御、利用することで従来にはない方法での熱輸送制御や、エネルギーシステムの省エネルギー化、さらには新たな高効率エネルギー変換技術の実現を目指しています。

熱輻射の波動性に基づく電力変換技術の実現

太陽光発電に代表される光の粒子性に基づく光電変換技術に対し、光アンテナとダイオードを併せたデバイス（光レクテナ）によって光の電場波動を直流電力へ変換することで変換損失が極めて低く、且つ感度波長域の制約がない光電変換システムの構築が期待でき、中・低温熱の電力変換への応用が可能となります。将来的には超高効率太陽エネルギー変換への応用を目指しています。

熱輻射スペクトル制御による樹脂封止された電子機器の放熱促進

電子機器発熱密度増大に伴い、熱設計の重要性は益々高まっており、冷却にエネルギーを要しない受動型冷却技術が必要とされています。我々は電子機器を覆う樹脂において吸収係数の小さい窓波長域に注目し、熱源からの熱輻射を樹脂の窓から選択的に放射する新規放熱技術を提案し、効果の実証に成功しました。更なる放熱性能向上、適用性拡大を目指し、引き続き研究を行っています。

熱光起電力発電による排熱の電力変換技術

熱光起電力発電（TPV）は熱源からの熱輻射を中間体によってPV セル感度波長と整合した熱輻射へ変換し電力変換する高効率な発電技術です。高温物体からの熱放射エネルギー密度は大きく高い発電密度も期待できます。従来のボイラータービン型排熱利用の適用が難しい中・小規模の工業炉や焼却炉における排熱の電力利用が期待でき、現在、実用を目指した研究を行っています。

合金の自己組織化現象に基づく熱輻射スペクトル制御デバイスの大面積化技術

熱輻射波長と同程度の構造を金属表面へ形成することで特定波長域における熱放射（吸収）の増大が可能です。高温で利用するために耐熱性金属への構造形成が必要ですが耐熱性金属は難加工材料が多く大面積作製は困難です。我々はニッケル基合金の自己組織化に基づく微細構造大面積作製技術をこれまでに実現しています。さらに構造の配列制御による性能向上を目指した研究を行っています。

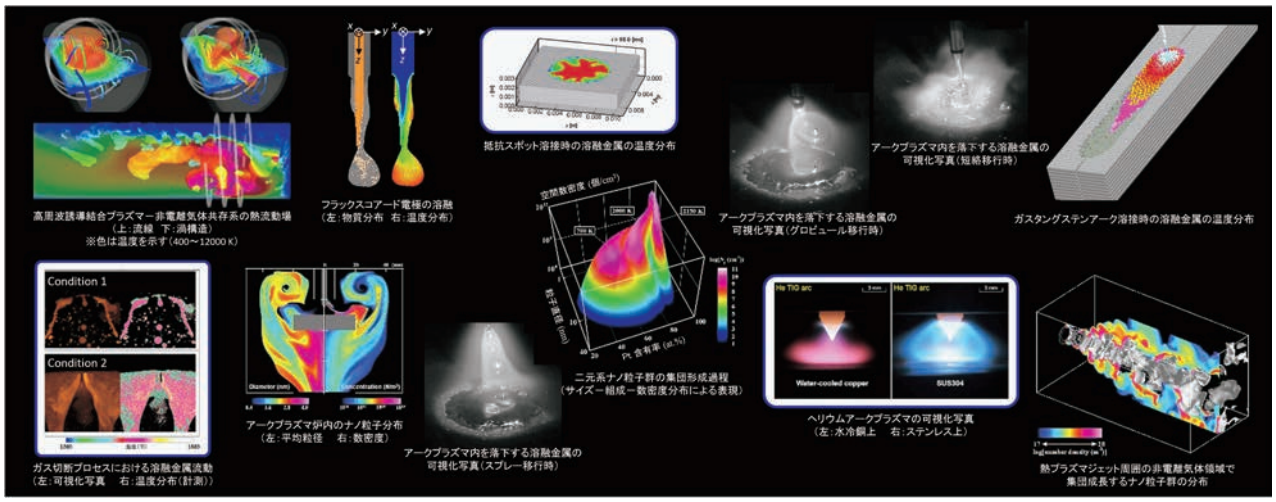
機械システムコース
機械機能創成専攻

教　授
茂田　正哉

助　教
杉本　　真

茂田・杉本 研究室

エネルギー学講座
流体エネルギー工学分野
http://www.fluid.mech.tohoku.ac.jp/



ものをつくる流体プロセスの探究

１万度を超えるプラズマの流れを利用した新材料の創製や加工、有害な難分解性物質の無害化処理などの高エネルギー流体プロセスの研究に取り組んでいる。これらは、電磁気的エネルギーを流体の熱エネルギーと運動エネルギーに変換し、それらをさらに化学反応・材料形成といった物質の変化（物質の保有エネルギーの変化）につなげるという、“ものづくりを意図した多段階のエネルギー変換・制御プロセス”とみなすこともできる。いずれも複雑なマルチフィジックスシステムであること、高温で直視できないほどの強発光をともなうことから、従来のシミュレーション手法や計測手法が適用できない。そこで新たな手法をつくり、不可視の現象を「視る・観る・診る」ことによって解明、得られた知見をもとに問題を解決し、新しい熱流体プロセスを創成することを目指している。

プラズマ－非電離気体－ナノ粒子群共存系の数理モデルとシミュレーションアルゴリズムの構築

ナノ粒子群の集団形成と輸送をともなうプラズマ－非電離気体共存系の数値解析的な解明を目的としている。そのために、流体の物性や化学反応性を決定づける室温～１万度超という温度の時空間変化とマルチスケール性を考慮した数理モデルを組み上げ、さらに物理的な不安定性（渦運動）の捕捉と数値的に安定な長時間計算を両立できるシミュレーションアルゴリズムの構築に取り組んでいる。

溶接における溶融金属流動と熱エネルギー輸送を捉える粒子法シミュレーターの開発

わずか１立方センチメートルに固・液・気・プラズマの４相が共存するアーク溶接における熱エネルギー輸送現象の解明を目的として、実測できない情報（溶融金属内の温度や流速、電磁気力など）を可視化・解析できるシミュレーターを開発している。流体工学を専門としない研究者やエンジニアにとっても使いやすいツールにすることを意図して、直感的にわかりやすい粒子法を基盤としている。

超高温材料加工プロセスにおける熱流動現象の実験的可視化診断法の研究

ナノ粒子量産や高速溶接に用いられるプラズマは１万度を超える強発光の流体であり接触型の計測が困難であるが、プラズマ物理学にもとづき発光スペクトルをフィルタリング処理・解析することでプラズマ内の温度・物質分布や溶融金属の挙動を可視化診断する方法を研究している。例えば、アークプラズマ内を高速流に逆らってイオンが遡上して停滞し続けるメカニズムの解明等に至っている。

新たな高エネルギー流体プロセスの創成

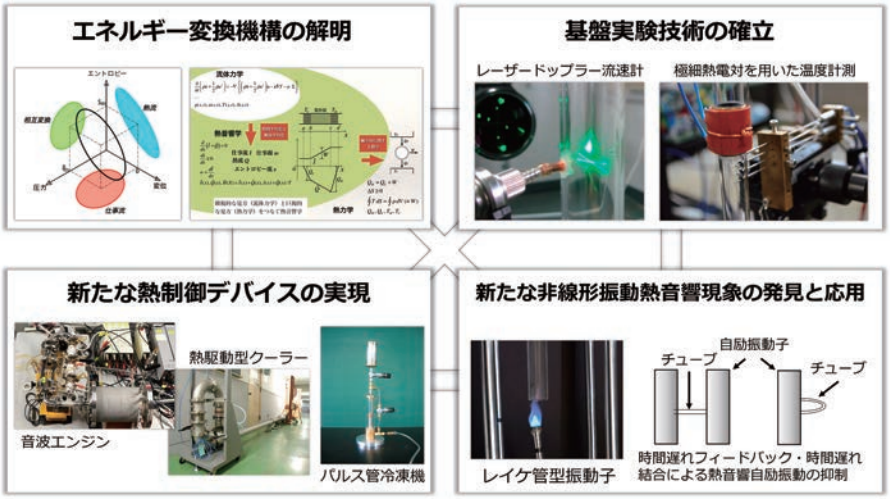
難分解性有害物質の安全な分解、災害・事故時の電流遮断による二次災害防止といった環境改善・安全化にプラズマの解離性・乱流現象・太陽光との相互作用を利用する新たな高エネルギー流体プロセスの研究も進めている。また、医用材料合成プロセスの開発を意図した超臨界流体中のプラズマ流動特性の研究などの未踏領域の開拓にも着手している。

機械システムコース
機械機能創成専攻

琵琶 研究室

教 授
琵琶 哲志

エネルギー学講座
熱制御工学分野
http://www.amsd.mech.tohoku.ac.jp/



音波を使った新しい熱機関の理解と応用

熱音響現象を利用した可動部の無い熱機関「熱音響デバイス」の理解と応用を目指しています。気柱管の一端を加熱することで発生する強い気柱振動を使って動力を音波として発生する「音波エンジン」を作成しています。また、音波を使って冷却する「音波クーラー」を作ることも可能です。これらの熱音響デバイスは固体ピストンの代わりに音波を使う点で通常の熱機関とは大きく異なります。そのため、本質的に可動部を必要としないことや、少数の配管パーツで構成される著しく簡単な構造という特徴が熱音響デバイスにはあります。作動流体には不活性ガスを用いることができるため、フロンなどの冷媒を必要としません。また外燃機関であるために産業排熱や太陽光などの利用が期待できます。熱音響デバイスを発展させるための基礎と応用に関する研究を行っています。

エネルギー変換機構の解明

熱音響デバイス内でどのようにしてエネルギー変換が行われるのかを解明することは、効率がよく出力の大きな音波エンジン・音波クーラーの開発には不可欠です。流体要素に関わる圧力、流速、温度の3つの振動量を同時に計測することでエネルギー流やエントロピー流を観測し、エネルギー変換の実験的観測を行っています。物理量の計測による熱音響現象の実験的な理解を目指しています。

基盤実験技術の確立

エネルギー変換機構の解明には流体要素に関わる基盤実験技術の確立が不可欠です。レーザードップラー流速計、two-sensor 法、極細熱電対による温度計測技術を組み合わせ、流体要素に関わる流速、圧力、温度の3つの振動量を同時に計測することでエネルギー流やエントロピー流を観測しています。物理量の計測を通じた熱音響現象の実験的な理解を目指しています。

新たな熱制御デバイスの実現

音波エンジンと音波クーラーを組み合わせた熱駆動型クーラーや低温度差で動作可能な音波エンジン発電機、気柱と液柱ピストンを組み合わせたタイプのエンジン・クーラーに加えて、最近では相変化を利用した熱制御デバイスの開発にも取り組んでいます。可動部品を持たないエネルギー変換システムと可動部品と組み合わせたハイブリッドデバイスの発展を目指しています。

新たな非線形振動熱音響現象の発見と応用

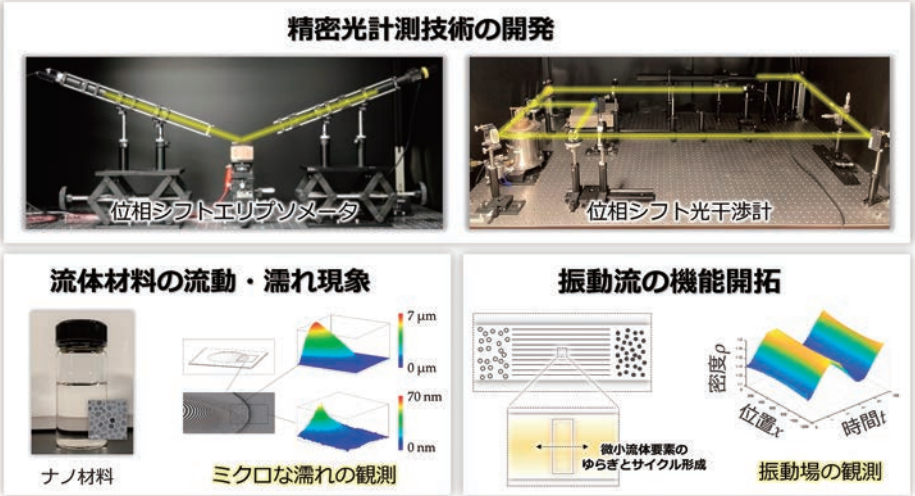
熱音響振動は典型的な非線形現象です。これまでに熱音響衝撃波や熱音響カオス、熱音響自励振動子の同期などの非線形熱音響現象を観察してきました。これらの発見は熱音響現象の理解だけではなく、熱音響を通じた非線形振動の理解へもつながります。これら非線形熱音響の知見を基に、最近はごく単純な方法で「燃焼振動を抑制」することにも取り組んでいます。

機械システムコース
機械機能創成専攻

准教授
庄司　衛太

庄司 研究室

エネルギー学講座
熱制御工学分野
http://www.amsd.mech.tohoku.ac.jp/index.html



熱･物質輸送の精密観測に基づく、ものづくりプロセスの理解･制御･創成

工学プロセス内の熱・物質輸送の現象理解を通じて、新たな制御方法の提案や新規工学プロセスの創成に関わる研究を進めています。具体的には、ナノ材料を始めとした複雑流体の流動や濡れ、あるいは音波などの振動流を対象に、個々の現象に応じた光計測手法を開発することで、従来法では測れない輸送現象を非接触かつ高精度に観測しています。さらに、独自の光計測技術を既存の計測技術と組み合わせることで、現象の多元的な理解を進めています。これら熱・物質輸送の精密観測を軸に、ニュートン流体や一方向流動では顕れなかった現象や機能を発見するとともに、その理解および制御、さらには新たな工学プロセスの創成を目指しています。

精密光計測技術の開発

多様な熱・物質輸送の精密観測を実現すべく、従来のエリプソメータおよび光干渉計の課題を克服した新たな光計測技術の研究開発を行ってきました。これまでに、ナノスケールの膜厚を有する液膜の動的変化を観測可能な位相シフトエリプソメータ、独自の光学プリズムの導入により高速な熱・物質輸送の観測可能な高速位相シフト光干渉計などを開発しました。

機能性流体材料の流動･濡れ現象の理解

コロイド分散系、界面活性剤、高分子といった複雑流体（あるいはソフトマター）は、ソフトな力学的性質を有する物質群であり、その流動は自然界や我々の生活において重要な役割を果たしています。しかし、これら材料は内包する多階層性によって特有の流動を示し、その現象理解は容易ではありません。当研究室では、独自の光計測手法を軸に、これら現象理解を目指しています。

微小流体要素のサイクルに着目した分離機能の開拓

振動する流れの微小流体要素に、ある種の熱力学的サイクルを形成・制御・連鎖させると新たな機能が発現します。当研究室では、このサイクルを利用した分離効果の発現を目的に研究を進めています。本研究を通じ、微小流体要素のサイクルに着目した新たな工学分野を開拓するとともに、未利用熱利用・低コスト・低環境負荷・長寿命を兼ね備えた分離技術の実現を目指しています。

各種材料の熱物性計測

熱・物質輸送の現象理解には、対象材料の熱物性が不可欠です。しかし、日々新しく開発される材料には未知の熱物性が数多くあります。また、濡れ現象など界面を有する系では材料自身の熱物性に加え、界面張力など材料の組み合わせに依存した熱物性も必要となります。当研究室では、各種現象において鍵となる未知の熱物性値の取得に取り組んでいます。

機械システムコース
先端材料強度科学研究センター

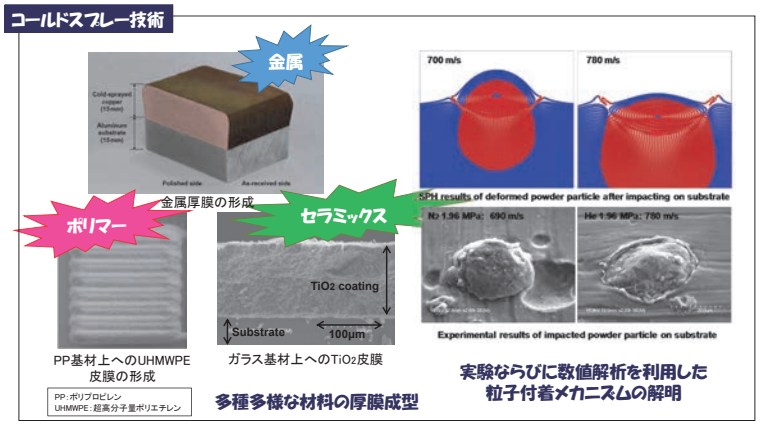
小川･齋藤･Bernard 研究室

教　授
小川　和洋

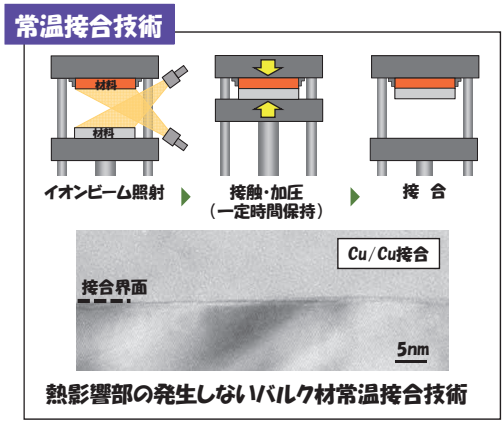
助　教
齋藤　宏輝

助　教
Chrystelle Bernard

エネルギー・環境材料強度信頼性科学研究部門
表面・界面制御強度信頼性科学研究分野
http://www.ogawa.rift.mech.tohoku.ac.jp/



コールドスプレー技術



常温拡散接合技術

エネルギー･環境材料強度信頼性科学研究の推進

当研究室においては、エネルギー・環境材料開発の基盤技術として、界面ミクロ・ナノ組織制御ならびに界面接合強度に着目した材料・構造物の安全性・信頼性研究を推進しています。特に、Ni 基超合金や遮熱コーティング等の構造材料において生ずる経年的劣化・損傷機構の解明を通して破壊の物理化学を明らかにし、その体系化を通して社会的要請の高いエネルギー変換設備の飛躍的効率向上を実現し環境負荷の低減に貢献していきます。また、新しいコーティング手法であるコールドスプレー法の応用による各種構造部材劣化・損傷部の補修技術の確立に関する研究や材料表面を活性化させてバルク材を常温で接合させる技術の開発を実施しています。これらの手法は、経年劣化・損傷を引き起こす可能性がある熱影響部が発生せず、次世代の補修技術・バルク材料用接合技術として期待されます。

コールドスプレー法による金属･セラミックス･ポリマー材料の革新的コーティング技術の開発

コールドスプレー法を用いた革新的な補修並びにコーティング技術の確立と同法により得られた付着層の健全性評価を実施しています。また、付着メカニズムおよび科学的な根拠の基づく基材／粒子間の相性を評価する目的で、ミクロ／ナノ組織観察および粒子法等による数値解析を実施しています。また、コールドスプレー法による厚膜を利用した革新的補修・接合技術の開発も進めています。

熱影響部が発生しないバルク金属材料の常温拡散接合技術

材料表面を高速原子ビームで活性化させることにより、バルク金属材料を接合させる技術の開発とその強度特性評価を行っています。この手法は、一切加熱プロセスを必要としないため、機器構造物の経年劣化の起点となり得る熱影響部が全く存在しない接合部を得ることが可能となります。現在は、真空チャンバー内で接合させていますが、将来的には大気下での接合を目指しています。

高温酸化物の生成･成長挙動の制御による経年劣化しない遮熱コーティングの開発

ガスタービン動静翼等で必要不可欠な技術となっている遮熱コーティング（TBC）は、これまで高温酸化の発生を抑制し、昇温降温時の熱応力を軽減させてはく離等の損傷が生じないよう開発が進められてきました。本研究では、逆転の発想で高温酸化を積極的に発生させ、酸化物内に微細な縦割れを生じさせることで熱応力を解放し、経年劣化し難い TBC の開発を進めています。

酸化反応を利用した異種材料未溶融接合技術の開発

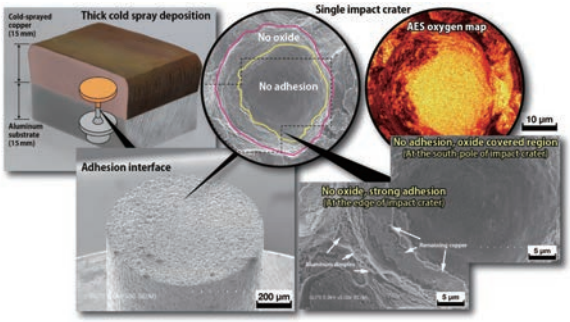
ぜい性材料であるセラミックスと延性材料である金属材料との組み合わせによるマルチマテリアル化はそれぞれの欠点を補い、優れた特性を発揮させることが可能です。現在、これらの新しい接合方法として、酸化物系セラミック基板上で活性な金属を積極的に酸化させることにより、金属／セラミック異種材料の接合を可能にする技術の確立に挑戦しています。

機械システムコース
先端材料強度科学研究センター

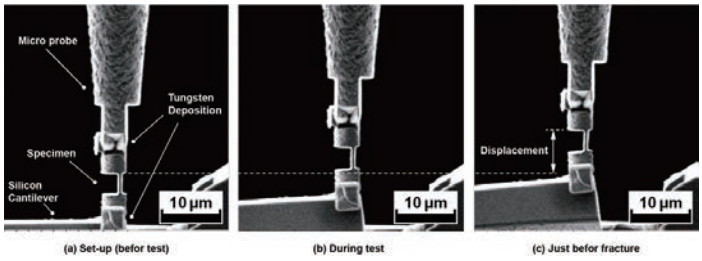
准教授
市川　裕士

市川 研究室

エネルギー・環境材料強度信頼性科学研究部門
表面・界面制御強度信頼性科学研究分野
http://www.rift.mech.tohoku.ac.jp/



オージェ電子分光分析を用いて明らかとなった界面構造



超小型試験片による局所界面強度評価

材料力学･材料強度学の視点に立った固相接合材料プロセスの実現

コールドスプレー法に代表される溶融を伴わない粒子の衝突積層、すなわち固相接合現象による新しい材料創成技術を中心に研究を進めています。この技術は従来の溶射技術などに代表される積層によるコーティング・表面改質を深化させ、そしてアディティブマニュファクチャリングなど新しい材料プロセスへの応用が期待されています。

固相接合現象を理解し技術としてさらに発展させるためには材料力学・材料強度学をはじめとする機械工学が取り扱ってきた知識と経験が必要不可欠です。材料強度学は材料の強度信頼性を議論するための学術体系であることは言うまでもありませんが、材料がその姿や形を変えることを議論する学問でもあります。材料の予期せぬ変形は破壊・損傷として克服すべき問題となりますが、それをうまく活用し任意の形状に制御することは材料プロセスであるとも言い換えられます。材料強度学で扱う破壊の本質はき裂の進展、すなわちき裂先端の新生面の生成です。固相接合現象も本質的には非平衡な新生面の生成とそれらの接触による新しい界面の創成こそがその本質であり、実は材料力学・材料強度学と同じものと考えることができます。このような視点に立ち、実学としての新しい材料プロセスの実現、そして学術としての材料力学・材料強度学を発展させるべく研究を進めています。

先進的な実験技術による固相接合現象の解明

固相接合現象を理解するために最も重要なアプローチは、その新しい界面を観察し、構造を知ることです。しかしながら、試料準備の困難さから、これまでは生成された界面をそのままで見ることが困難でした。そこで本研究室ではオージェ電子分光分析装置内の超高真空環境下で引張試験を行うという画期的な手法により、生成された界面の本来の姿を観察することに成功しました。また、高速で粒子が衝突し変形する素過程を再現し、より深く理解するための衝撃ナノインデンテーション試験など新しい実験技術の確立にも注力しています。

マルチスケールなアプローチによる新しい界面強度評価技術の開発

新しい固相接合技術で作られた材料の強度、特にその界面強度を知ることはその信頼性を担保するためにも非常に重要です。そして、固相接合現象の理解にも繋がる重要なテーマでもあります。そこで、本研究室ではその破壊現象の素過程を理解するために集束イオンビーム加工観察装置（FIB）を援用した数 μm サイズの超小型試験片を採取し微視的界面強度評価技術を開発しています。また、実際の構造物の界面強度を簡便評価するためにレーザー衝撃波を用いた巨視的な界面強度評価技術の開発も進めています。

これらのマルチスケールなアプローチにより微視的強度と巨視的強度の関係を評価し破壊現象の統一的な理解、そして固相接合現象の理解を目指します。

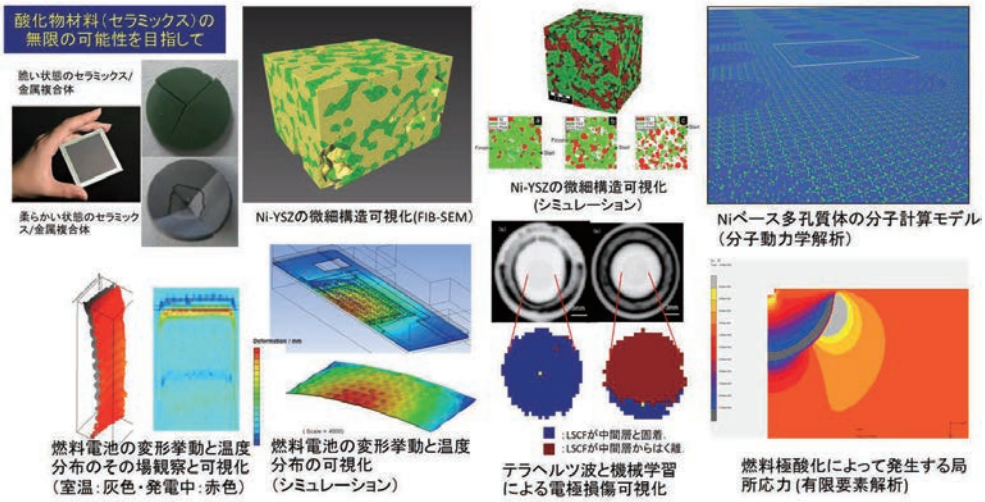
機械システムデザインコース
先端材料強度科学研究センター

佐藤（一）研究室

准教授
佐藤　一永

エネルギー循環システム研究分野

http://www.ecslab.rift.mech.tohoku.ac.jp/



機械･材料･電気化学･情報の融合で実現する完全固体型エネルギー変換機器

電気エネルギーを効率的かつ長期間安定的（10年以上）に製造し、貯蔵することはサステナブル社会の実現に向けて極めて重要な役割を果たす。そこで、機能性酸化物をベースとした完全固体型の燃料電池やリチウムイオン電池等の２次電池開発に向けた以下の基礎・応用研究を推進している。材料物性評価や設計段階において機械・電気化学相互作用効果を考慮した実験ならびに数値計算を行うことで、性能と信頼性･耐久性を両立したデバイスを提案することが可能となる。また、非破壊評価手法と高度情報処理技術を併用したデバイスの信頼性･耐久性評価を行うことで、研究から開発への変遷過程で増え続ける情報を解析・可視化し、研究・開発・製造者の援用を行う。

その場観察手法と高度情報処理技術を併用したデバイスの信頼性評価

信頼性・耐久性向上に向けて電気化学デバイスの劣化をその場で評価する技術の開発が求められている。そこで、超音波やテラヘルツ波等のその場観察手法を用いて、得られたビックデータを観察しながらその場で解析する手法の開発に取り組んでいる。今後、高度情報処理技術を併用することにより、研究・開発。製造者への援用や知識データベースの構築に役立てる。また、本手法は医療･経済･人文をはじめとする多くの分野での活用が期待できる。

機能性酸化物の高靭性化へ向けた研究

全固体電池は全て脆性特性を示すセラミックス材料が用いられており、その長期信頼性が問題となっている。そこで、セラミックス材料でありながら環境に応じて機械的特性が変化する材料を探索・評価している。特に、還元・酸化環境で変化する材料の機構を解明することで電池以外の分野でも応用できる材料を見出す研究を行っている。

低温成膜法によるフレキシブル全固体電池の創成

現在の全固体電池はセラミックス材料が主な構成材料であり、成膜には超高温（1000℃以上）の高温プロセスが必要である。信頼性・耐久性を高めるために金属とセラミックスのハイブリット電池の創成を目指している。そこで、600℃以下の低温プロセスでセラミックス膜を成膜し、曲げても壊れない画期的な電池を創成する手法を開発している。

ひずみを活用したイオン･電子輸送現象制御

電気化学積層デバイスの界面近傍に発生するひずみに注目してイオン・電子輸送機構の解明ならびに制御を行っている。実験では、ひずみ負荷環境中での電気化学特性評価ならびに価数、欠陥濃度、電子構造等の評価を行い、数値計算では、分子動力学や第一原理計算を用いたイオン・電子輸送現象の可視化に注力しており、全ての材料で適用できれば性能と信頼性を兼ね備えたデバイスが設計できる。

機械システムコース
技術社会システム専攻

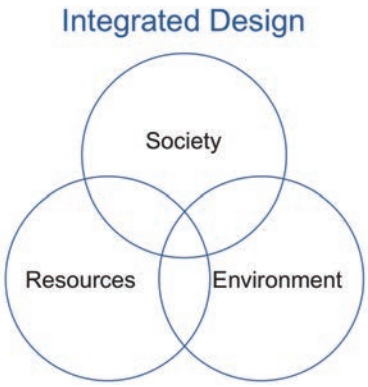
教　授
中田　俊彦

助　教
Delage Remi

中田・ドラージュ 研究室

先端社会工学講座
エネルギー環境社会マネジメント分野

www.eff.most.tohoku.ac.jp



持続可能なエネルギーシステムの統合デザインと分析

持続可能なエネルギーシステムを地域社会に実装することをめざします。過去から現在、未来に至る「時間軸」、地域社会のエネルギー需給の特徴や偏在を明らかにする「空間軸」。この基軸に、エネルギー効率、CO_2排出量等の「技術指標」と、脱炭素、豊かさ、経済性、セキュリティ、レジリエンス等の「価値指標」、さらにエネルギーシステムの「資源」「変換技術」「需要部門」のセクターカップリングを加えた、統合最適化手法を開発して、地域社会にふさわしいエネルギーシステムをデザインします。

地域のエネルギー需給フローの可視化

地域のエネルギー需給の現況を、エネルギーフロー図を作成して明らかにします。過去から現在に至るフロー構成の変遷を可視化して、現在のエネルギー需給構造の課題を明らかにします。化石燃料への依存度、エネルギー利用効率、有効利用されていない排熱、地域再生可能エネルギー資源の未活用量と質などを、緻密なデータ分析に基づいて明らかにします。

エネルギー需給の地域分散とセクターカップリング

エネルギー需給構造は、国内各地にて大きな偏在があります。燃料供給では、ガスパイプラインの有無によってガス供給価格差は5倍に拡がり、需要側では外気温度によって空調・給湯エネルギー消費量に2倍以上の差があります。国内を均一に扱うのではなく、国内各地域のエネルギー需給データを客観的に分析し、持続可能なエネルギーシステム設計のために重要なエビデンスを整備します。

バイオマス資源のサプライチェーン分析

地域内外に賦存するバイオマス資源、特に木質バイオマスを対象とし、持続可能な資源利用を目的としたサプライチェーンを設計します。バイオマス資源の伐採、収集、輸送、貯蔵、加工の各工程を考慮した施設配置と輸送経路を最適化する数理モデルを開発します。また資源・エネルギー消費、廃棄物の排出、生産性、社会的条件等の観点からサプライチェーンの持続可能性について分析を行います。

リアルデータに基づくシステムダイナミクス分析とモデリング

エネルギーシステムとは非線形の振る舞いをみせる複雑なシステムです。このエネルギーシステムについてより深く理解し、最適化されたシステムを提案するためエネルギーシステムの根底となるダイナミクスについて研究を行っています。実際のデータに対して、信号処理、データマイニング、機械学習などのさまざまな分析ツールを適用することで分析を行います。

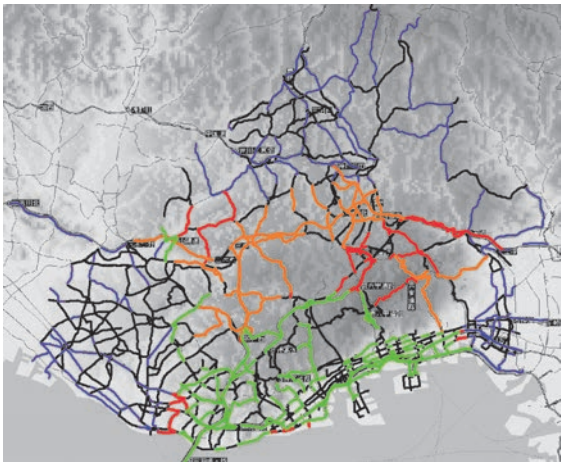
機械システムコース
技術社会システム専攻

長江 研究室

准教授
長江　剛志

先端社会工学講座
交通社会マネジメント分野

http://www.most.tohoku.ac.jp/ftss



神戸道路ネットワークの耐震化戦略の例

仙台市の平日朝の交通流量と密度

持続可能な社会のための次世代交通システムとその管理･運用方法の設計

長江研究室では、環境・経済・人間のいずれの側面においても持続可能で、自然災害などの低頻度・大規模なリスクにも、日々の所要時間変動などの高頻度・小規模なリスクにも強く、信頼性の高い交通と社会のあり方を探求します。そのために、交通工学、金融工学、システム制御理論、経済学、数理計画といった様々な理論・手法を分野横断的に活用します。1）災害に強く信頼性の高い交通ネットワークの実現；2）利用しやすく運用しやすいスマートな次世代 公共交通システムの提案；3）効率的なモビリティ・シェアリングのための利用価格・費用分担スキームの開発；4）知的な個人の集合体としての社会経済システムの動学分析；5）交通ビッグデータを活用した渋滞の時空間進展メカニズムの解明と制御；6）動学的不確実性下でのプロジェクトのマネジメントと財務価格評価

効率的なモビリティ･シェアのためのメカニズム設計

近年、多くの都市で乗用車や自転車などの移動手段（モビリティ）をシェアするサービスが導入されています。特に、あるポートから借りた機材を別のポートへ返却できる乗り捨て型システムは一回あたりの利用時間が短く、限られた機材の高効率に利用できます。本研究では、市場メカニズムを活用することで、どのポートでも貸出数と返却数がバランスするような新しい運用方法を開発します。

ビッグデータを活用した都市圏道路ネットワークの巨視的状態の分析

最近の情報技術の進展は、信号や道路区間単位の交通量や所要時間の高頻度（例えば5分おき）な観測・収集・蓄積を可能にしました。本研究では、こうした膨大な情報を、ある程度の広さを持つエリア単位で集約した「巨視的」な状態を抽出・分析し、観光客や週末ドライバーのような土地鑑に乏しい利用者にも理解し易い情報提供を行なうための方法論を構築します。

費用対効果を考慮した道路ネットワークの耐震化戦略

大規模地震などによる道路施設の面的な損傷は、一部の交通集中による混雑や集落の孤立化などの社会的不便益を発生させます。こうした不便益は道路施設の耐震化によって軽減できますが、その費用の担い手もまた社会に他なりません。そこで、本研究では、費用対効果を勘案しながら「どの施設を耐震化させるか」を具体的に決定するための手法を、確率的最適化手法を用いて構築します。

交通流の工学的特性と動学的不確実性を考慮したリスク鋭敏的な信号制御手法

道路の渋滞現象は、車両がダンゴになっている（密度の高い部分）が車列の中を移動する「疎密波」に他なりません。近年の交通工学の理論の進展により、信号交差点への車両の到着パターンと赤信号のタイミングに応じてこの疎密波がどのように道路区間上を伝搬し遅れ時間がどの程度になるか、をかなり正確に求められるようになりました。しかしその多くは確定的な枠組に留まっており、「同じ信号交差点で普段は5分で通過できるんだけど、時々20分かかる」というリスクを考慮できません。そこで、本研究では、車両の到着が時々刻々不確実に変動する状況で、こうしたリスクを考慮した信号制御手法を開発します。

機械システムコース
環境科学研究科 先進社会環境学専攻

教　授
川田　達也

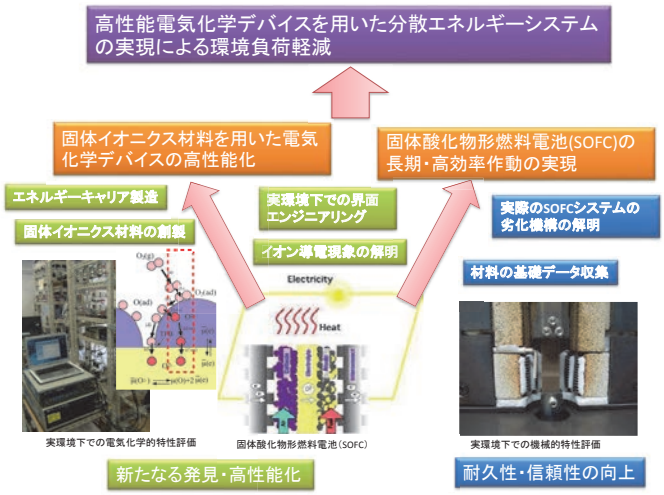
准教授（環境科学研究科）
八代　圭司

助教（環境科学研究科）
Budiman Riyan Achmad

助　教
山口　実奈

川田・山口（実）研究室

エネルギー資源学講座
分散エネルギーシステム学分野
http://www.ee.mech.tohoku.ac.jp/



固体酸化物形燃料電池などの高効率電気化学デバイスとイオニクス材料

固体酸化物形燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell, SOFC）は、他の燃料電池よりも高効率であり、排熱も利用しやすいため、熱と電気を供給する高性能コジェネレーションシステムとして期待されています。すでに家庭用は昨年秋から実用化が始まっており、東日本大震災以降、エネルギーに対する社会的な意識の変化もあり、今後、急速に普及することが予測されます。このような SOFC には、固体内をイオンが導電する固体イオニクス材料が用いられており、SOFC のほか、二次電池、センサーなど、環境負荷軽減のために重要な電気化学デバイスに数多く応用されています。当研究室では、SOFC および、固体イオニクス材料の基盤研究を推進し、材料内部および、表面・界面で生じている現象を解明することで、より高性能な電気化学デバイスの実現を目指しています。

実環境計測に基づく高温電極の界面領域エンジニアリング

SOFC などの電気化学デバイスの高性能化には、電極反応を促進するための電極界面の最適化が重要です。しかし、高温での複雑な界面現象の素過程を把握することは、そのままではとても困難です。そこで当研究室では、高温において、固体イオニクス材料で生じている現象を、実作動条件下、若しくはそれに近い環境下で測定するための計測・評価手法を開発しています。

SOFCの耐久性・信頼性の向上

当研究室では、新エネルギー産業技術総合開発機構（NEDO）の「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発事業」に学内の複数の研究室とともに参画して、SOFC の機械的な信頼性に関する総合的な研究を行っています。民間企業、大学、国立研究機関などとの共同研究を通じて、構成材料の基礎データの収集や SOFC システムの劣化機構の解明、試験方法の開発を推進しています。

電気化学デバイスを用いたエネルギーキャリア合成技術の確立

ミライなどの燃料電池自動車の本格的実証運用が進む中、水素製造技術および、水素輸送・貯蔵・供給のためのエネルギーキャリア技術の重要性が高まっています。当研究室では、高効率が期待できる水蒸気電解による水素製造技術や、メタンなどのエネルギーキャリアの原料である合成ガスの高温電気化学合成技術の研究・開発を推進しています。

固体イオニクス材料の導電・反応機構の解明と創製

当研究室では、ある特定の異種イオン導電性電極材料の界面において、高い電極反応性がある事を発見しました。現在、この発見は国際的に注目され、世界の研究機関がその機構解明および、実用電極への応用が幅広く検討されています。このような固体イオニクス材料における新規導電・反応機構を解明するとともに、それらの知見に基づいた材料創製を行っています。

機械システムコース
流体科学研究所

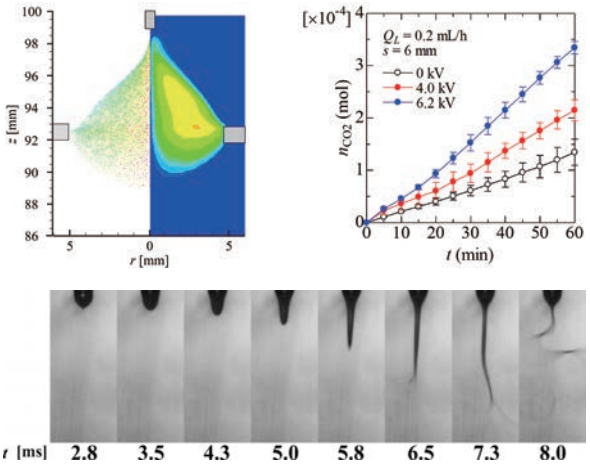
高奈 研究室

教 授
高奈 秀匡

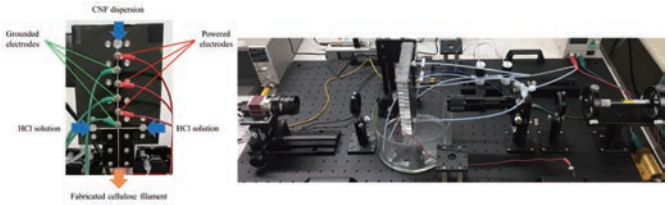
協力講座
電磁機能流動研究分野

http://www.ifs.tohoku.ac.jp/takana/japanese.html

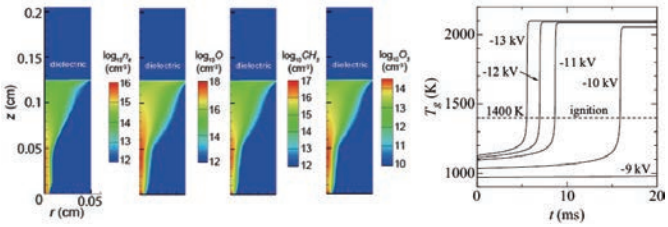
※小原拓教授兼務



イオン液体静電噴霧による二酸化炭素分離・吸収の高性能化



セルロース単繊維創製用電場印加型フローチャネルと配向度計測のための光学系



ナノパルス誘電体バリア放電（DBD）による生成ラジカル濃度場およびプラズマ着火促進効果

イオン液体を活用した先進エネルギー･環境分野への応用展開

イオン液体は液体でありながら、陽イオンと陰イオンのみで構成される液体で、「水」、「油」に続く第３の液体と呼ばれています。また、融点が低く、常温で「塩」として存在することから「常温溶融塩」とも呼ばれています。イオン液体は、蒸気圧が極めて低いことや高い電気伝導性を有していることなどから、電解質や反応溶媒、アクチュエータとして応用されてきました。本研究室では、イオン液体の新たな応用として、電気二重層現象を活用した電気二重層キャパシタや宇宙推進機などの先進エネルギーデバイスの開発、さらには、イオン液体静電噴霧を利用した高性能二酸化炭素分離・吸収システムの構築を数値シミュレーションと実験の両面から目指しています。

ナノ繊維静電配向制御による革新的セルロース新素材創製プロセス

近年、木材繊維を化学的、機械的にナノサイズにまで解きほぐしたセルロースナノファイバー（CNF）というバイオマス素材が世界的に注目を集めています。CNF は30-40本のセルロース分子が水素結合によって束となった幅数十 nm、長さ数 μm の高アスペクト比を有する高結晶性微細繊維であり、軽量、および高強度、低熱膨張などの優れた物理的特性を有しています。このようなセルロース本来の優れた特性を得るためには、CNF の繊維配向を制御し、一方向に揃えることが必要不可欠であることが明らかとなっています。本研究では、CNF の繊維配向を制御する方法として、静電場を利用した CNF 静電流動配向法を新規に提案し、高強度のセルロース単繊維創製を目指しています。

自然エネルギー高度利用を目指した電磁制御装置の開発と高性能化

本研究では、余剰風力からのエネルギー回収による風力エネルギーのさらなる高度利用を目指し、電磁相互作用により液体金属中に生じるローレンツ力を活用した軸回転トルク制御機構を新規に開発し、その性能特性を評価しています。本装置を風車軸に直結することにより、余剰風力エネルギーを電気エネルギーに変換しつつ、軸回転数もしくは軸トルクを一定に保つことが可能となります。

ナノ秒パルス放電による内燃機関での着火促進

ナノ秒パルス放電などにより生成される非平衡プラズマは、プラズマ中における高エネルギー電子の衝突によりラジカルなどの反応性化学種を低温で高効率に生成することができることから、燃焼促進や排ガス浄化など幅広く用いられています。本研究室では、特にプラズマ燃焼促進のための基礎研究として、高温・高圧下における空気ーメタン混合プラズマ流に関して反応流動モデリングを構築し、数値シミュレーションによりナノ時間スケールでの活性種生成特性やストリーマ進展過程を明らかにするとともに活性種の寿命評価を行っています。

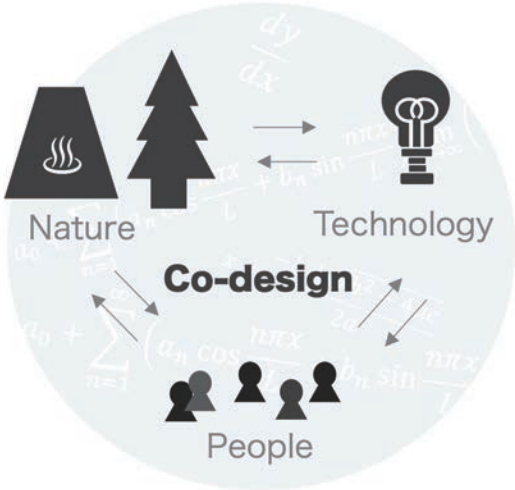
機械システムコース
流体科学研究所

准教授
鈴木　杏奈

鈴木（杏）研究室

協力講座
自然構造デザイン研究分野

https://www.desfelab.com/



数理･情報科学を活かした地熱資源利用と地域共創デザイン

持続的な社会にするために、自然を理解すること、人間が自然と共に生きるシステムを設計することが、私たちの研究分野の目標です。純国産エネルギーである地熱エネルギーを活かすためには、自然の構造と流れとの関係を理解しながら、環境調和型の持続的なシステムの設計が必要です。本研究では、数理・情報科学を活かし、計測したデータに基づきながら、自然のシステムを推定・予測、そして、最適に設計することを目指します。また、新しい科学技術を社会の中でどのように活かしていくべきか、環境調和型の社会とはそもそもどのような社会にするべきなのか、社会の中の意思決定にも着目しながら、多様な背景の人々がいる地域の中から、共に価値を生み出すための地域共創デザインを目指しています。

数学を活かした複雑な構造-流れの記述の探求

複雑な構造は流れを支配しますが、複雑なものを複雑なままに表そうとしても限界があります。本研究では、応用数学を活かして、複雑な構造と流れとの関係の新たな表現方法を探っています。応用数学分野の専門家とともに、岩石構造だけでなく、固体燃料電池や骨の中の流れなど他分野へ応用展開しています。

3Dプリンタやマイクロ流路を活用した流動実験

構造を制御することのできる3D プリンタやマイクロ流路を用いて流動実験を行うことによって、複雑な構造内の流動現象の見える化し、水や熱の流れ、化学反応を伴う流れなど、様々な現象の新しいモデルの開発を行なっています。特に、小さな粒子を用いて地下から新しい情報を収集する粒子トレーサーの開発を行うことで、新しい地下構造推定技術の提案を目指します。

地熱エネルギーを持続的に利用するための設計

地熱開発の設計に用いられてきた数値モデルは、これまで人が経験に頼り、長い時間をかけながら試行錯誤構築してきました。これまでの手法を自動化させるために、機械学習・深層学習によって計測データから地下を推定する解析プログラムを作成しています。企業と連携することで、実フィールドへの応用展開をおこなっています。

社会の中の対話と合意形成支援

地域資源の利活用などの様々な人たちが関わる開発の設計プロセスにおいて、開発者の計画をどれだけ論理的に話しても、地域住民に受け入れられないことがあります。本研究では、開発の設計プロセスにおいて、お互いの価値観の内省や相互理解を支援するプログラムを開発することで、円滑な対話の場の形成、意思決定、合意形成の促進を目指します。

機械システムコース
流体科学研究所

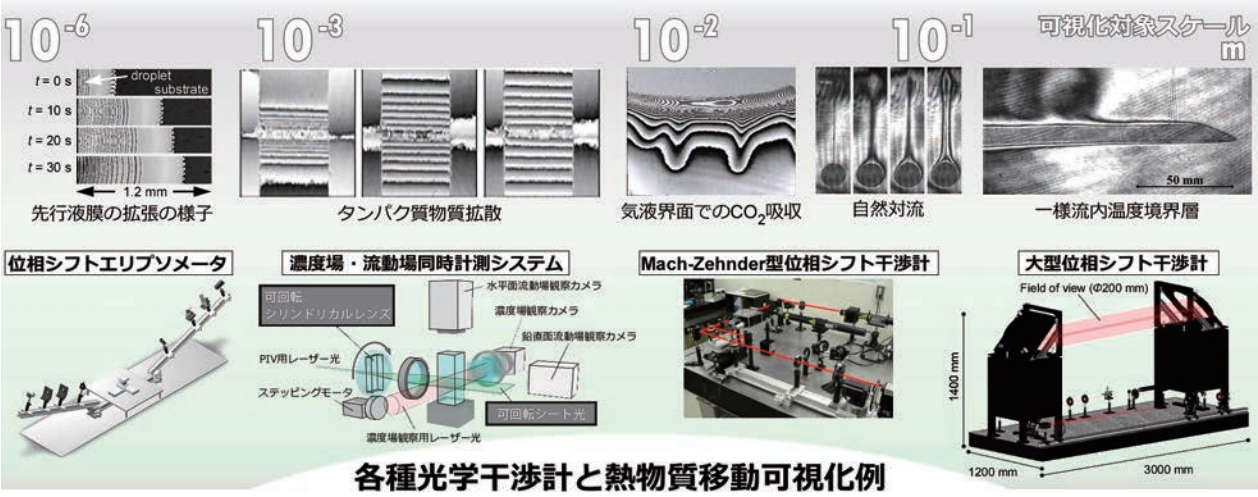
小宮・神田 研究室

教 授
小宮 敦樹

助 教
神田 雄貴

協力講座
伝熱制御研究分野

http://www.ifs.tohoku.ac.jp/~komiya/



各種光学干渉計と熱物質移動可視化例

光を使って、ミクロな世界の熱・物質輸送現象を観る、制御する

通常は直接目で観ることのできない熱・物質移動現象をレーザー光を使って“可視化”し、生体内や高温・高圧環境といった極限環境下における熱・物質輸送現象を研究しています。光の干渉を利用した干渉法と呼ばれる技術を用いて、サブミクロン領域で起こる輸送現象を高精度に可視化できるシステムを開発しています。位相シフト技術を導入することで、信頼性の高い可視化技術を確立し、気液界面でのガス吸収過程やタンパク質の非定常拡散場、または沸騰・凝縮などの相変化現象といった熱・物質輸送現象を可視化しています。併せて、自然対流や強制対流による熱・物質輸送現象の促進・制御も、この高精度可視化システムを使ってチャレンジしています。これら光を使った技術で、複雑系物質輸送過程を定量的に評価し、さらにはそれら輸送現象を能動的に制御する技術開発を進めています。

生体内環境におけるタンパク質の物質輸送特性

生体内などの複雑環境下におけるタンパク質の物質輸送現象の研究を行っています。本研究室では、独自に開発した位相シフト干渉計を用いて微小領域の濃度場を高精度計測することにより、生体内環境および生体膜がタンパク質の物質輸送現象にどのような影響を及ぼすか、また制御は可能かという点に着目し研究しています。フランスの INSA-Lyon との共同研究として進めています。

気液界面で生じる熱・物質輸送現象の計測・評価

気液界面での液相への二酸化炭素吸収現象を干渉計でリアルタイム可視化し、二酸化炭素吸収促進および分離技術の確立に向けた実験的研究を行っています。また、表面張力の温度依存性により生じるマランゴニ対流（表面張力流）の流動様相および振動流遷移メカニズムに関する研究を、JAXA との共同研究のもと進めています。「気液界面」をキーワードとした研究です。

超臨界流体中における熱・物質輸送現象の可視化

超臨界流体を用いた高効率低環境負荷の汚染土壌改質手法の実現を目指し、超臨界流体中における特異な熱・物質移動現象の理解に向けた研究を行っています。本研究では独自の光干渉計や数値計算を用いて有機物の超臨界二酸化炭素中への溶解現象を評価しています。本研究が提案する汚染土壌改質技術の確立は、国連の目標としている SDGs にも大きく寄与するものになります。

流れによる熱・物質輸送の評価

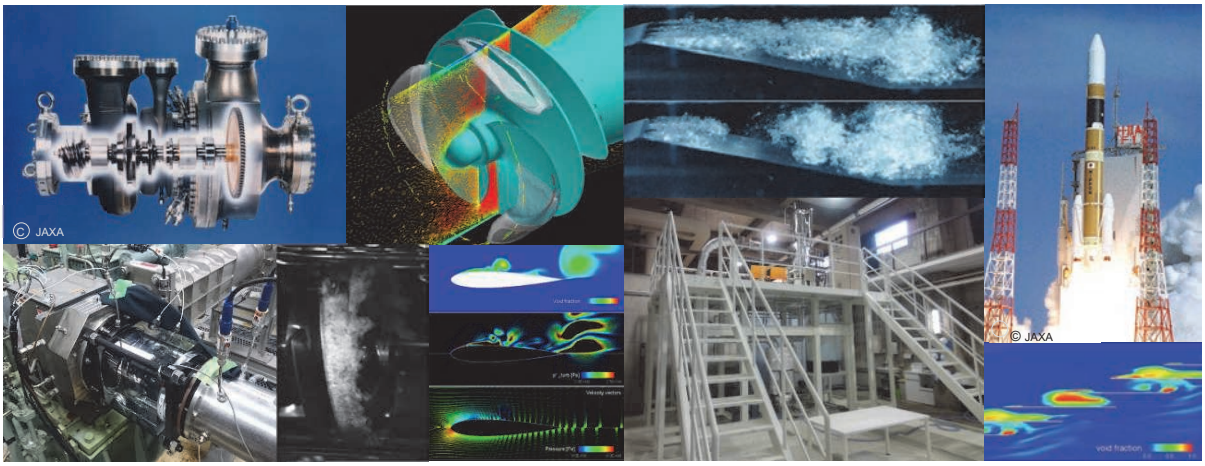
サブミクロンオーダーの熱・物質輸送現象を可視化する技術をと同じ原理を使って、比較的大きな熱・物質輸送現象である自然対流の乱流遷移現象や一様流中に形成される温度境界層・濃度境界層を観察し、伝熱促進・制御に向けた研究を進めています。流れの遷移を観察するため大型干渉計を製作し、温度場濃度場を高精度測定することで、移流による熱・物質伝達機構の解明を目指しています。

機械システムコース
流体科学研究所

伊賀 研究室

教 授
伊賀 由佳

協力講座
先進流体機械システム研究分野
http://www.ifs.tohoku.ac.jp/cfs/



高速気液二相流動現象の解明と先進流体機械システムへの応用

液体ロケットターボポンプに発生するキャビテーション不安定現象の抑制手法の開発

液体ロケットエンジンのターボポンプ入口にあるインデューサと呼ばれる軸流羽根車では、キャビテーション不安定現象と呼ばれる振動現象が発生することがあります。これは、キャビテーションサージや旋回キャビテーションと呼ばれ、推進剤流量の脈動や、回転非同期の軸振動、ポンプ性能の低下を引き起こし、さらには実際に重大事故の原因となった例も報告されています。特に超同期旋回キャビテーションは、通常のポンプで発生する旋回不安定とは逆向きに伝播するロケットポンプ特有の不安定現象で、発生メカニズムが解明されておらず大変興味深い現象です。本研究室では、このキャビテーション不安定現象の発生予測、抑制・制御手法の開発、遷移メカニズムの解明などを、JAXA 角田宇宙センターでのインデューサ実験および流体科学研究所でのスーパーコンピューティングを通じて行っています。

気体性キャビテーションの発生メカニズムの解明

ロケットポンプの開発では、安全のため、水→液体窒素→推進剤の順に作動流体を変えて試験を行います。ここで、水は、液体窒素や推進剤には含まれない溶存気体を多く含み、通常の蒸発による蒸気性キャビテーションだけでなく、溶存気体の析出による気体性キャビテーションも発生します。その発生と流れ場の流動刺激との関係を解明するため、作動油を用いた析出実験を行っています。

高温水キャビテーションの熱力学的抑制効果の解明

ロケットの推進剤である液体水素、酸素で発生するキャビテーションでは、蒸発潜熱による温度低下の影響で、その体積が抑制されることが知られていますが、ロケットポンプの設計段階で抑制効果の発現の程度を予測することは困難となっています。そこで、推進剤と同程度の抑制効果を有するとされている高温水で実験を行い、キャビテーションの熱力学的抑制効果の解明を試みています。

水素キャビテーション内部温度の高精度計測

キャビテーションの熱力学的抑制効果の発現の程度は、蒸発潜熱によるキャビティ内部の温度低下と熱伝達による温度回復の差し引きで決まるため、抑制効果の解明と利用のためにはキャビティ内部温度の計測が鍵となります。そこで、ロケット推進剤である液体水素に発生するキャビテーションに対して、1973年 NASA 以来、世界で2例目の温度計測に、岡島研究室と共同で挑戦しています。

キャビテーション数値解析モデルの高度化とスーパーコンピューティング

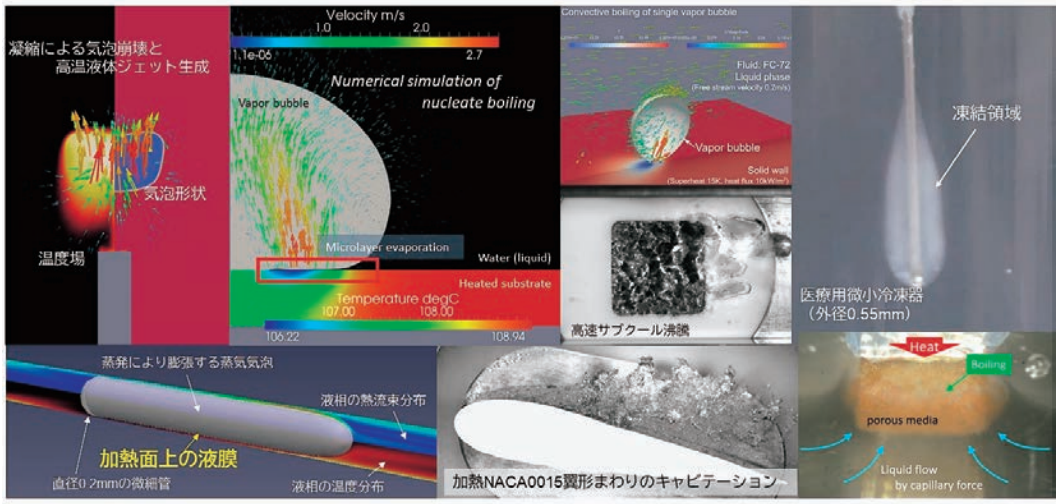
キャビテーションの数値解析の分野では、これまでにいくつかのモデルや解析手法が開発され、最近ではそれらを実装した汎用ソフトウェアも手に入るようになっています。しかし、単純な単独翼まわりの流れであっても、特に高迎角の遷移キャビテーション状態では、時間平均揚力すら予測できないのが現状です。そこで本研究室では、キャビテーション数値解析モデルの改良に取り組んでいます。

機械システムコース
流体科学研究所

岡島 研究室

准教授
岡島　淳之介

協力講座
先進流体機械システム研究分野
http://www.ifs.tohoku.ac.jp/cfs/



相変化を伴う混相熱流動現象の解明と冷却への応用

沸騰・凝縮やキャビテーションといった相変化を伴う気液二相流は身の回りから様々な産業においてよく見られる現象であり、電気自動車の電力制御システム・スーパーコンピュータ・高速通信デバイスの冷却や液化天然ガス・液体水素の大容量輸送システムにおいて重要です。特に熱輸送の観点では、相変化の潜熱を活用することで高い冷却効果を得ることが期待されています。本研究室では、熱輸送の根幹となる固体壁面での相変化を伴う濡れ現象や、気液界面での熱・物質輸送と流れ場の相互作用のモデル化を推進することで、数値シミュレーションによる沸騰・凝縮現象の理解を進め、次世代の高性能冷却機構の実現を目指すとともに、相変化熱輸送現象を用いた熱流体機器の高性能・高機能化に理論・数値解析を基盤として貢献します。

固気液接触領域の蒸発モデルと沸騰のシミュレーション

沸騰現象では固体壁面上の蒸発を伴う濡れ現象が巨視的な熱流動場に大きな影響を与えますが、このマルチスケール性を適切にモデル化した数値シミュレーションは未だ発展途上です。微細管内の蒸気気泡膨張による液膜形成や流れ場中の単一気泡の沸騰のシミュレーションを通じて、固気液接触領域の蒸発現象のモデル化を進め、沸騰現象の大規模数値計算の実現を目指します。

液体水素沸騰現象における熱伝達機構の解明

カーボンニュートラル燃料の一つである液体水素の大量利用にむけて、貯蔵・輸送・利用の各段における水素の気液二相流の理解と制御が求められています。しかし、二相流発生のきっかけとなる水素の核沸騰、特にその可視化は実験例がほとんどありません。本研究では、JAXA と共同で本現象の実験的解明を目指すとともに、数値シミュレーションによる熱伝達機構の理解を目指しています。

高速流動場における相変化流れの熱流体特性の研究

流体内で気液相変化が生じる際、駆動力の違いから沸騰とキャビテーションが分類されます。しかし、加熱物体まわりの流れ場では両者の区別は困難です。加熱物体まわりのキャビテーションおよび高速サブクール沸騰の研究を通じて、両者の統一的理解を目指しています。また、伊賀研究室と共同で、水素システムでの熱力学的抑制効果活用のため、液体水素キャビテーションの内部温度計測に挑戦しております。

次世代パワー半導体デバイス冷却のための高熱流束冷却システム

SiC、GaN、Ga2O3などの次世代パワー半導体を用いたパワーデバイスは小型化・高性能化が期待できる一方で、発熱密度が非常に高く、高性能な冷却システムが求められています。金属多孔質体を利用し、熱と流体の流動方向を制御したトップヒート型冷却構造体の研究を通じ、冷却デバイスの高性能化を目指しております。

機械システムコース
流体科学研究所

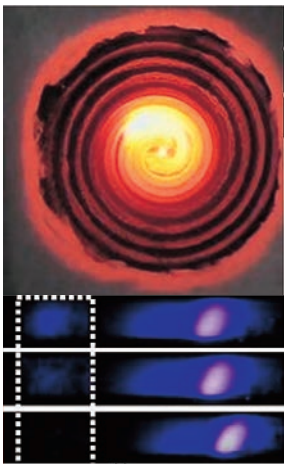
丸田・森井 研究室

教 授
丸田 薫

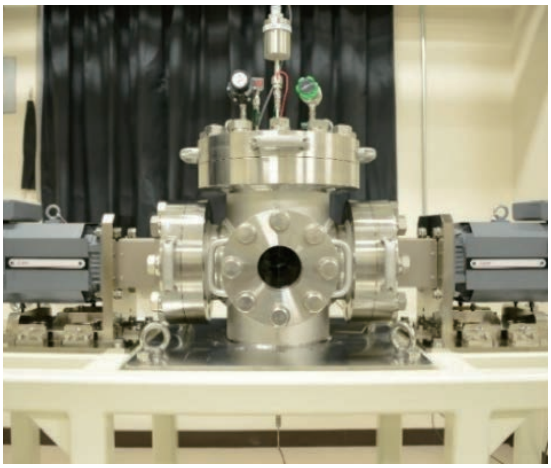
助 教
森井 雄飛

協力講座
エネルギー動態研究分野

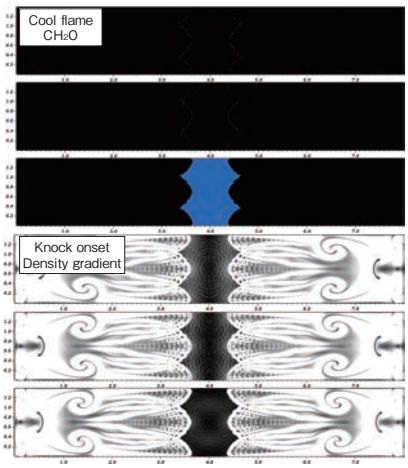
http://www.ifs.tohoku.ac.jp/enerdyn/



マイクロコンバスタとマイクロフローリアクタ



乱流着火試験装置



定容容器ノッキング実験に対する直接数値計算

マイクロ燃焼　ーマイクロコンバスタからマイクロフローリアクタへー

スイスロールバーナを用いて徹底的に熱循環を行うことにより、微小スケール下で安定な燃焼を実現するマイクロコンバスタの開発に成功しました。電気ヒータ並みの温度制御性と、電気ヒータの2倍を越える省エネルギー性能とを兼備しています。燃焼器の小型化は一円玉と同サイズのものまで、また工業加熱用途では、食品焼成炉の効率を50%改善する技術として実用化を目前にしています。さらにスイスロールバーナの基礎研究として開始した定常温度勾配を有する微小径リアクタを応用することで、あらゆる気体・液体燃料の着火・燃焼特性の特定が可能となりました。詳細化学反応過程の検証・改良、燃料の反応性評価やすす生成特性評価へも展開を図っています。リアクタ装置は計測機器として実用化され、自動車会社の研究開発部門へ導入実績があります。新概念燃焼法や新規燃料の開発においても貢献できると考えています。

燃焼限界の統一理論構築に向けた国際宇宙ステーションにおける燃焼の宇宙実験

高効率燃焼機器の開発に不可欠な、燃焼限界に関する統一理論の構築を目指しています。宇宙（＝微小重力場）で実験を行うことで、通常重力場では極めて困難な燃焼限界の支配因子の解明が可能となります。本研究は国際宇宙ステーションでの宇宙実験テーマに選定されており2024年度の宇宙実験を目指して準備を進めています。先行して行った航空機のパラボリックフライトによる予備実験と数値的手法による解析を通じて、宇宙実験への準備を進めています。

超希薄条件下での着火・火炎伝播の基礎研究

自動車エンジンの熱効率の向上に向けた燃料希薄条件における着火の研究を実施しています。燃料希薄条件は利点が多いのですが、実用条件では高乱流場で着火させる必要があり、高乱流場では着火から火炎伝播への遷移が困難であることが知られています。そこで、革新的な着火技術として、ナノ秒パルス放電プラズマの利用に着目し、高乱流条件下における着火を実験を用いて研究をしています。また、プラズマ現象は瞬間的かつ狭い空間で起きる現象である為、数値解析を用いた研究も実施しています。

反応性数値流体解析を用いた基礎研究

化学反応に対する高速積分法であるMACKSを開発することで、反応性数値流体解析における解析負荷を大幅に低減することに成功しました。新規開発したMACKSを利用することで、ガソリン・エンジン高効率化の最大阻害要因として知られるノッキングの定量予測に世界で初めて成功しました。現在、DNSによって得られた詳細な情報をもとに、ノッキングの抑制に向けた研究を進めています。また、反応性数値流体解析の解析負荷の低減に向けたより高速な計算手法を開発する研究も進めています。

高温酸素燃焼技術の研究開発

工業炉のための革新燃焼技術として世界的に普及しつつある高温空気燃焼は、排熱回収により空気を予熱（800℃以上）する燃焼技術で、2000年代に技術が確立されました。工業炉において従来燃焼法に比べ約3割の省エネ、低NOx化、静音化を同時達成しています。本研究室ではこれをさらに改良するため、排熱回収に加えて空気の代わりに純酸素と再循環燃焼ガスを用いる「高温酸素燃焼技術」の研究開発を実施、さらに効率2割上昇の可能性、NOx排出10ppm以下、CO_2回収との高い親和性を実現しました。現在、実用化に向けた産学連携研究により用途探索やFSを行っています。

機械システムコース
流体科学研究所

中村（寿）研究室

准教授
中村　寿

協力講座
エネルギー動態研究分野

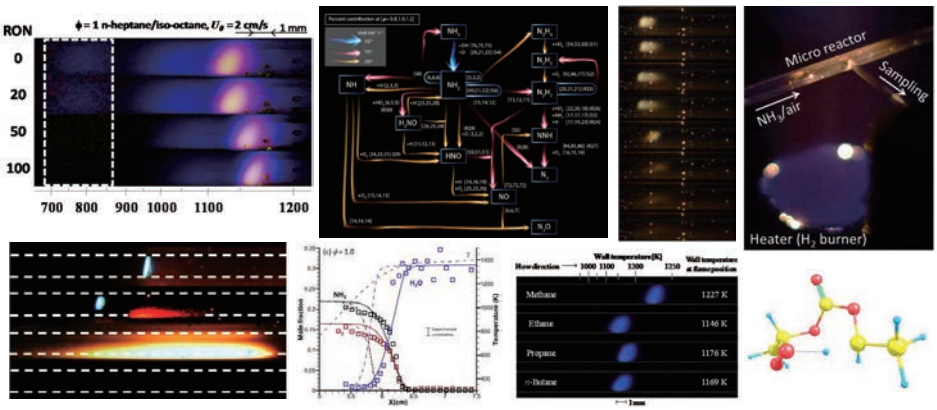
http://www.ifs.tohoku.ac.jp/enerdyn/index.htm

さまざまな燃料・化学物質の反応素過程の解明 ⇨ **高効率・低エミッション燃焼技術の創出 エネルギー機器の発火抑制**

カーボンフリー燃料
水素
アンモニア
バイオ燃料
ヒドラジン
過酸化水素

化石燃料
ディーゼル
ジェット燃料
天然ガス
LPガス
ガソリン

環境・防災
窒素酸化物（NOx）
粒子状物質（PM）
バッテリー電解液
塩化物



燃焼化学に基づく高効率・低エミッション燃焼技術の創出とエネルギー機器の発火抑制

燃焼によるエネルギー利用は、良好な負荷変動特性と大きさ・重量あたりの出力が高いという特徴から、社会のあらゆるところで利用されています。一方で、CO_2・NOx・PM 等のエミッションを極限まで低下させることが喫緊の課題です。解決法として、従来は燃焼利用できないと考えられていた燃料や極限条件（超希薄、超過濃等）が考えられています。このような新燃料・新条件に適合する燃焼器の設計開発には、反応素過程の知見が必要不可欠です。本研究グループでは、反応過程の分離・可視化ができる独自のマイクロリアクタを利用し、反応素過程の解明とモデル化を進めています。また、発火抑制を目的としてバッテリー電解液等の燃焼反応も調べています。このように、燃焼化学反応に関する基礎研究を中核に、新しい燃焼技術の創出と安全なエネルギー利用を目指して研究を進めています。＜中村研究室は丸田・森井研究室と一体運営しております。＞

アンモニア燃焼ー窒素と水だけが排出される究極の低環境負荷燃焼

アンモニアは、再生可能エネルギーから製造可能、優れた貯蔵・輸送性、エネルギー利用時に CO2無排出、という特徴から将来のエネルギーキャリアとして有望視されています。一方で、炭化水素より燃えにくく、燃料中の窒素原子由来の NOx 生成があるため、高効率・低 NOx 燃焼の実現には基礎的知見に基づいた新しい燃焼器が必要です。この設計開発のために、アンモニアの反応素過程を調べ、モデル構築と検証を進めています。

バッテリー電解液の反応性評価

リチウムイオン電池をはじめとしたバッテリーの高出力化・高密度化および利用拡大に伴い、バッテリーの発火防止が重要な技術課題になっています。多くのバッテリー電解液には有機溶媒が使用されていることから、その着火限界メカニズムを解明し、予測モデル構築を進めています。また、「燃えない」と称される電解液も、試験方法に依存することがあり、燃焼学的知見から反応性評価を進めています。

天然ガス・バイオ燃料のPM生成予測

CO_2排出が小さい天然ガス・バイオ燃料の利用が拡大していますが、PM 生成が熱効率の上限を律速することがあります。天然ガス・バイオ燃料は、それぞれ水素・酸素原子の含有率が高いことから、PM を生成しにくいというのが定説でしたが、条件によってはこの定説が成立しないことを明らかにしました。この詳細メカニズムを解明するために、PM 生成の初期段階である前駆体生成過程を調べています。

シリンダ内改質・ガスディーゼルエンジンの研究開発

トラック・船舶などの大型ディーゼルは、高効率・高出力という特徴をさらに伸ばしつつ、NOx・PM 排出の大幅削減が求められています。これを実現する新しいエンジンとして、シリンダ内改質ガスディーゼルを研究開発しています。本エンジンでは、従来にない超過濃条件・改質ガス組成の燃焼反応を利用するため、反応解析およびモデル化により、開発中の課題解決とエンジン性能の予測を進めています。

機械システムコース
流体科学研究所

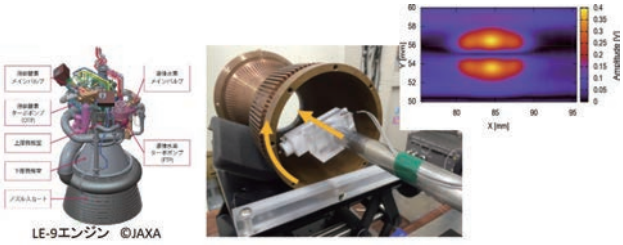
教　授
内一　哲哉

助　教
武田　翔

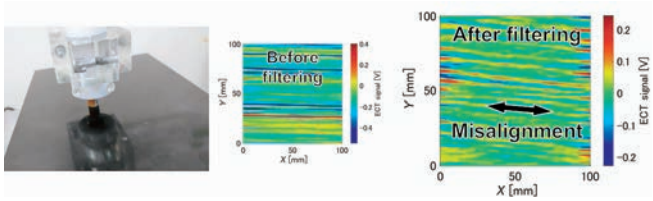
内一・武田 研究室

協力講座
流動・材料システム評価研究分野

http://www.ifs.tohoku.ac.jp/msel/



ロケットエンジンモックアップの非破壊試験



CFRP に対する非破壊検査と CFRP におけるミスアライメント層の抽出

次世代輸送システム、エネルギープラントの高信頼化を目指して

次世代輸送システムやエネルギープラントにおいては、流動が誘起する構造材料の劣化・損傷を合理的に管理することが重要です。本研究分野では、これらのシステムの高信頼化に資するセンシングおよびモニタリングに関する研究を行っています。電磁非破壊評価法による材料の劣化・損傷や材料組織変化の評価法の開発を行い、これらをオンラインモニタリングに適用することを目指しています。また、多様なセンサの融合による高信頼化センシングと逆問題的アプローチに関する研究を行っています。更にこれらの研究をより効果的に行うため、材料科学分野やデータサイエンス分野の研究者と連携して研究を行っています。

電磁非破壊評価を用いたロケットエンジン燃焼室の劣化・損傷評価

ロケットエンジンの信頼性はロケット自体の信頼性を左右すると言われています。我々は近年注目を集めている再利用可能ロケットを対象とし、ロケットエンジン燃焼室に用いられる銅合金の損傷と劣化に関する研究を行っています。これら損傷や劣化を渦電流試験法を用いて定量的に評価することで、ロケットエンジンの高信頼化に貢献したいと考えています。

水素脆化の研究およびオンラインモニタリングへの適用

近年、従来の化石燃料に代わる新しいエネルギーキャリアとして水素は注目を集めていますが、その普及への障害として関連機器の水素脆化の問題があります。我々は、未解明の部分の多い水素脆化に対し、渦電流試験法を用いて材料組織変化（相変態）のモニタリングに取り組んでおり、水素脆化のメカニズム解明に貢献したいと考えています。

磁気特性に着目した鉄鋼材料の材質から劣化までの評価

大規模プラントや輸送システムの保全の高度化のためには、き裂や減肉などの損傷の検出だけでなく損傷が発生する前に材料の劣化を診断する技術の確立が求められています。材料の劣化に伴う様々な磁気特性の変化に着目し、クリープによるき裂が顕在化する前の析出物挙動と結晶の回復の非破壊評価、オーステナイト系ステンレス鋼やニッケル基合金の鋭敏化評価などの研究を行っています。

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の非破壊評価

先進複合材料として航空機などでも使用されている CFRP の安全性と信頼性を保証するための診断技術の開発を行っています。CFRP に生じる欠陥のうち、炭素繊維に生じる欠陥は電磁非破壊評価法により検出することが可能です。特に、繊維ミスアライメントや繊維破断を渦電流試験によって評価するためのプローブと信号処理法の検討を行っています。

機械システムコース
多元物質科学研究所

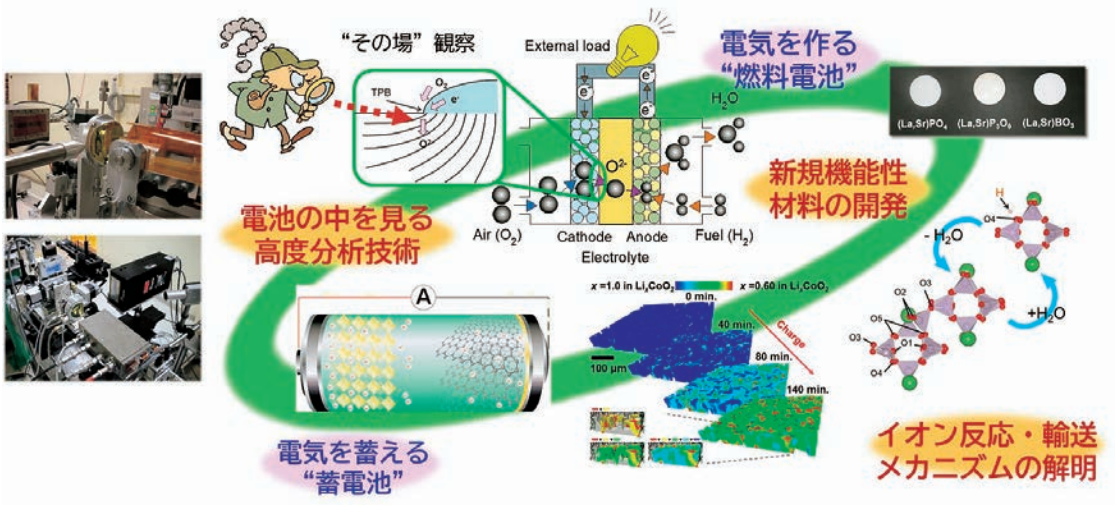
雨澤・木村 研究室

教 授
雨澤 浩史

助 教
木村 勇太

協力講座
固体イオニクス・デバイス研究分野

http://www.tagen.tohoku.ac.jp/labo/amezawa/index-j.html



固体イオニクス材料を用いた環境調和型エネルギー変換デバイスの実現・普及に向けて

固体でありながらその中をイオンが高速で動くことのできる材料は"固体イオニクス材料"と呼ばれます。固体イオニクス材料は、高効率で、使用可能燃料が多様な電力源として期待される固体酸化物形燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)、電気自動車・携帯機器用電源や再生可能エネルギーの電力平準化用蓄電池として期待されるLiイオン電池(Lithium Ion Battery, LIB)など、環境調和型エネルギー変換デバイスを始めとする様々なデバイスに応用されています。我々の研究室では、燃料電池、蓄電池をメインターゲットに、固体イオニクス材料・デバイスの高性能化、高耐久性化を目指し、固体におけるイオン輸送、電気化学反応、欠陥構造についての学理を探求すると共に、それに基づく機能設計、材料・デバイス開発を行っています。

燃料電池・蓄電池における イオン輸送・反応メカニズムの解明と高機能界面設計

燃料電池や蓄電池に代表される、固体イオニクス材料を用いたエネルギー変換デバイスでは、電極／電解質界面で起こるイオン・電子輸送および電極反応を効率的に行わせることが、デバイスの飛躍的な性能向上に繋がります。我々は、モデル電極／電解質界面を用いてこれらのメカニズムを明らかにすることで、高機能界面を構築するための設計指針を確立することを目指しています。

固体イオニクスデバイス評価のための 高度解析技術の確立

固体イオニクスデバイスの多くは、高温、特殊ガス中など、特殊な環境下で動作します。我々は、大型放射光施設(SPring-8など)でのX線吸収分光法を始めとする各種分析手法を適用することにより、特殊環境下、反応進行時の電極／電解質の化学状態、電子状態などをその場(オペランド)計測できる高度技術を開発し、それらを用いてイオン輸送や反応の機構解明に成功しています。

固体イオニクスに立脚した 新規なエネルギー変換／環境材料の開発

固体イオニクス材料では、空孔や格子間イオンなど、"欠陥"がイオン伝導の発現に重要な役割を果たします。我々は、各種固体における欠陥形成およびイオン伝導の機構を、電気化学、熱分析、分光計測、計算化学などの手法を駆使することで明らかにしています。また、これらの知見を基盤とし、さらに高性能な固体イオニクスデバイスを実現し得る新規高機能性材料の開発も行っています。

外場による固体イオニクス現象の変調と その工学的応用

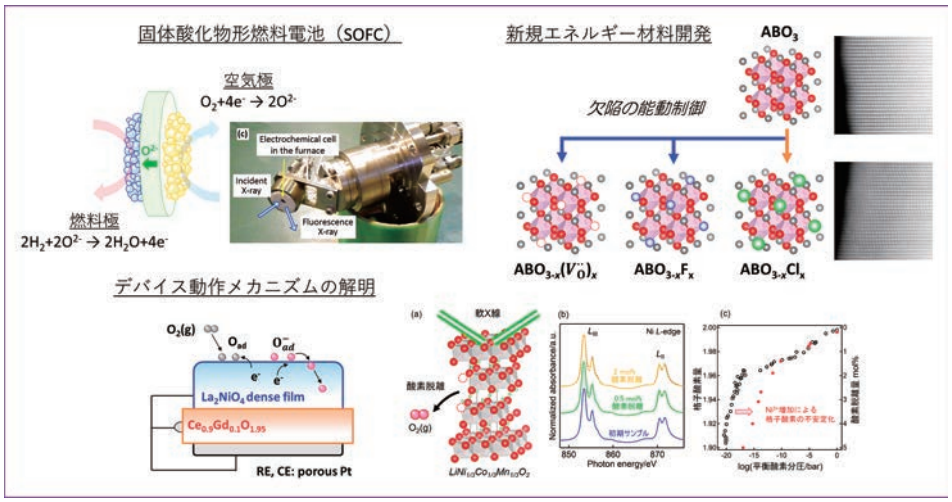
固体におけるイオン伝導や反応は、機械的応力の印加など、さまざまな外場によって変調します。この変調現象を理解することは、固体イオニクスデバイスの性能や信頼性・耐久性を正しく把握する上で重要です。それだけでなく、異種材料界面における特異な応力、化学状態を利用した高機能界面の設計など、これまでにない新規概念に基づく材料、デバイス開発に繋がる可能性を秘めています。

機械システムコース
多元物質科学研究所

准教授
中村　崇司

中村（崇）研究室

協力講座
固体イオニクス・デバイス研究分野
http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/amezawa/html/index-j.html



固体イオニクスに基づいたエネルギー変換･貯蔵技術の革新を目指して

近年、SDGs の達成およびカーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギーの利用や自動車の電動化が進められています。こうした技術の中核を担うのが、エネルギー変換・貯蔵技術になります。例えば燃料から高効率にエネルギーを取り出すことが可能な燃料電池、出力が不安定な自然エネルギーを貯蔵・平準化するための蓄電池などがあげられます。イオン伝導性を有した無機固体材料は、二次電池や燃料電池、電解セルなどの高効率エネルギー変換・貯蔵デバイスに多用されています。我々の研究室では、固体中のイオン伝導現象を扱う学問である“固体イオニクス”に基づいて、欠陥構造、イオン輸送現象、電気化学反応の理解を深め、機能性材料創製からエネルギーデバイス開発まで幅広く研究に取り組んでいます。

次世代型蓄電池用材料における酸素脱離現象の解明

蓄電池では酸化物を母材とした材料が幅広く利用されていますが、酸化物の結晶から酸素が脱離すると、電池の膨張や異常発熱を引き起こすため、酸素脱離の抑制は重要な課題であると言えます。我々は、欠陥化学に基づいた手法によって酸素脱離現象を解明することで、優れた電池特性と高い安全性を両立する次世代型蓄電池の開発を目指しています。

欠陥制御技術の開発と新規機能性材料の開拓

固体イオニクス材料では、材料中の“欠陥”が機能発現に深くかかわっています。欠陥を自由自在に制御することができれば、従来不可能だった領域にまで材料探索の幅を広げることが可能になり、これまでになかった革新的なエネルギー材料を創出できるようになることが期待されます。これを目標として、我々は欠陥の能動制御が可能な電気化学リアクターの開発に取り組んでいます。

酸素欠陥を利用した高度蓄電材料の開発

酸化物をベースとした蓄電池材料では酸素欠陥（酸素空孔）を意図的に導入することで、その電池特性を高めることが可能です。我々は酸化物イオン伝導体により構成される電気化学リアクターを独自に開発し、リチウムイオン電池正極材料に対して、従来法では不可能だった高濃度の酸素欠陥を導入し、充放電時の耐久性を飛躍的に高めることに成功しています。

新規固体イオニクスデバイスの開発

固体イオニクス材料では、空孔や格子間イオンなど、“欠陥”がイオン伝導の発現に重要な役割を果たします。我々は、各種固体における欠陥形成およびイオンがもたらす多様な機能について、電気化学、熱分析、分光計測などの手法を駆使することで明らかにしています。また、これらの知見を基盤とし、高性能かつ信頼性の高いエネルギーデバイスの開発に取り組んでいます。

ファインメカニクス

Finemechanics

ファインメカニクスコース
ファインメカニクス専攻

祖山·久慈 研究室

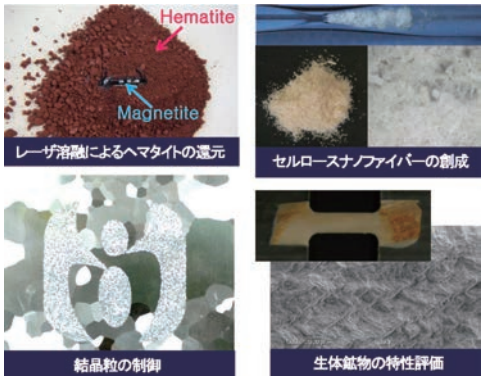
教 授
祖山　均

助 教
久慈　千栄子

材料メカニクス講座
知的計測評価学分野

http://www.mm.mech.tohoku.ac.jp/

表面力学設計に基づいた材料強化およびその知的評価



新機能材料の創成

表面力学設計による機器·構造物の信頼性向上

低環境負荷かつ安全·安心な社会の構築のため、当該分野において開発したキャビテーションテクノロジーに基づいたサステイナブル表面改質を用いた表面力学設計により機器·構造物に高機能表面層を付与し、疲労寿命の改善や水素脆化の抑止を目的として研究を行っている。表面層は力学的、化学的に苛酷な環境に曝されているため、表面力学設計により材料特性を大きく向上できる。昨今問題となっている橋梁などのインフラ構造物の老朽化に対する保全技術として適用できる一方、自動車などの移動体の構成材料を強化することで軽量化に繋がる。また、環境負荷低減を目途とした水素社会実現において水素を使用する際に懸念される水素脆化が障壁となっているが、サステイナブル表面改質によって表面層の耐水素脆化性を向上でき、構造材料に対して水素脆化抑止効果を付与することができる。

CWレーザを用いた酸化鉄の3次元積層造形

火星や月での構造物·機器の製造を目的として、酸化鉄を用いたレーザ溶融型3次 元積層造形について、NASA ジョンソン宇宙センターと共同研究を行っている。これまでに、酸化鉄を原材料としてCW レー ザを用いて3次元積層造形が可能であることと、レーザ溶融による3次 元積層造形時に、ヘマタイトがマグネタイトに還元して酸素を得られることを明らかにしている。

サステイナブル表面改質による生体材料の高機能化

高齢化社会を支える生体材料には高い信頼性が求められる。特に脊椎固定器具はロッドと固定器具の間に生じるフレッティング疲労が問題となっており、その耐性の改善が喫緊の課題である。そこで当研究室では、サステイナブル表面改質により脊椎固定用インプラントロッド表面層に高機能層を創成し、フレッティング疲労に対する耐性を劇的に改善する研究を行っている。

流動キャビテーションによる セルロースナノファイバーの創成

再生可能かつ持続可能な材料への需要の高まりから、セルロースナノファイバーが注目されており、生化学的改質、変換が困難な天然セルロースを効率的にナノファイバー化する技術が求められている。そこで当分野では、ベンチュリ管の絞り部でキャビテーションを発生させる流動キャビテーションを活用して、セルロース系バイオマスから効率的に製造するための研究を実施している。

バイオミネラリゼーションに倣った高機能材料の創成

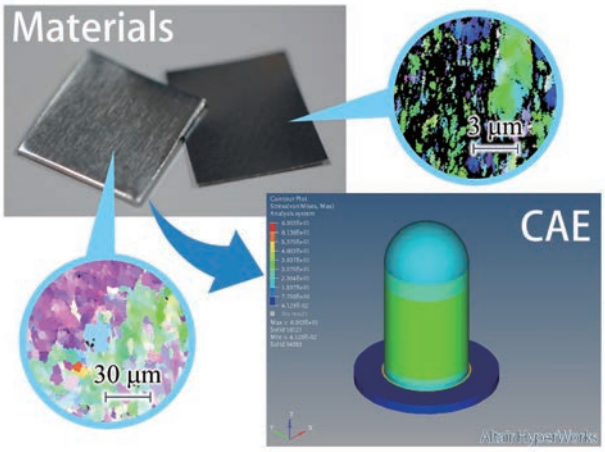
バイオミネラリゼーションにより生み出される生体鉱物は軽量かつ強靭であるが、その生成過程および機械的特性は亜解明されていない。生体鉱物は常温常圧で生産可能であることから新しい材料モデルとして期待されており、バイオミネラリゼーションに倣った高機能材料を製造できれば省資源·省エネルギー化に大きく貢献できる。当分野では貝殻や甲殻類の外骨格の機械的特性を評価している。

ファインメカニクスコース
ファインメカニクス専攻

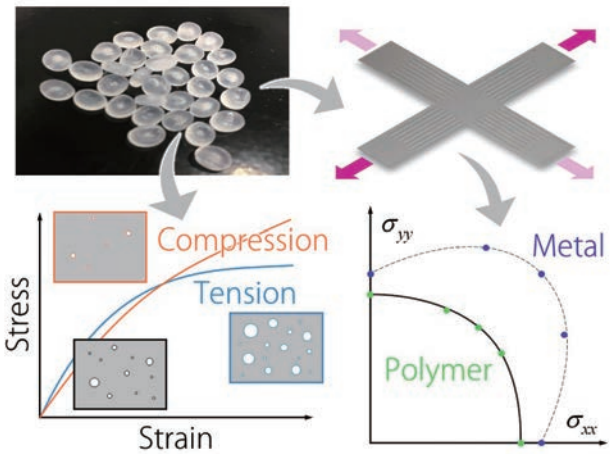
青柳 研究室

准教授
青柳　吉輝

材料メカニクス講座
機械材料設計学分野
https://web.tohoku.ac.jp/aoyagi/



超微細粒金属材料の微視構造を考慮した力学挙動の予測



熱可塑性高分子材料の力学非対称性・異方性評価

最先端材料に関する実験的マルチスケールメカニクス

我々の日常生活に必要不可欠な鉄、鋼、アルミニウムといった金属材料および樹脂、繊維、ゴムといった高分子材料は、過酷な状況下での使用や構造物の軽量化を目的として日々進化を続けています。構造材料としてのみならず、汎用性の高い最先端材料の成型性や信頼性を高めるために、その力学特性を材料の微視的挙動から理解し、変形挙動をより的確に表現可能な数理モデルの構築に期待が寄せられています。本研究室では、結晶構造に関する原子スケールと、構造体を巨視的に捉える連続体スケールといった異なるスケールの現象を同時に表現する理論体系、すなわちマルチスケールメカニクスに基づき、材料の複雑な振る舞いを計算シミュレーションによって解析していきます。さらに実験によって得られたデータと計算的研究とを融合させ、新しい知見を生み出すことを目的とします。

粒界･粒内転位源に基づくUltraFine-Grainedメタルの転位挙動シミュレーション

金属材料の結晶粒径を小さくしていくと機械的力学特性が向上することが経験的に知られています。しかしながら、結晶粒径が1μm 以下という「UFG メタル」の微視的メカニズムについては十分に解明されていないのが現状です。本研究では、転位源としての粒界の役割を考慮した FEM 解析を粒径の異なる Al 多結晶に対して実施し、粒径の減少に伴う降伏挙動の変化について検討します。

結晶性･非晶性ポリマの微視的変形機構に基づく高分子塑性論の構築

結晶性高分子材料は、分子鎖が規則正しく配列されている結晶質およびランダムコイル構造を有する非晶質部分を有します。このような材料に関する研究に対して工業的な要請は強いものの、各相の特性について全く未知な部分が多いのが現状です。本研究では、球晶の変形挙動に関する実験観察に基づき、結晶質部分と非晶質部分の混在する結晶性高分子塑性モデルを構築します。

微細組織から力学挙動を予測する実践的CAEシステムの創成

構造解析用 CAE に使用する降伏関数を数値解析的に予測します。その際に、実験観察・測定から得られる材料の微視構造の情報に基づいて変形挙動を記述する実験的マルチスケールメカニクスを用います。汎用の構造解析用ソフトウェアに求めた降伏関数を組み込むことによって、CAE による材料設計から開発、実用までの一連のプロセスをシームレスにつなぐことを目的としています。

熱可塑性複合材料におけるトランスクリスタルの影響

結晶性高分子材料を母材とする熱可塑性複合材料においては、強化繊維のまわりにトランスクリスタル（TC）と呼ばれる結晶組織が形成されます。本研究では、成形時の熱条件および強化繊維の材質を変えて、異なる組織の TC 層を持つ熱可塑性複合材料を作成します。組織観察や機械特性の測定を行うことによって、TC 層が熱可塑性複合材料に与える影響について評価します。

ファインメカニクスコース
先端材料強度科学研究センター

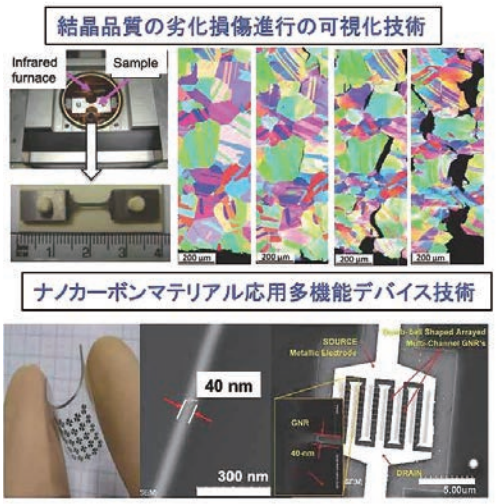
三浦 研究室

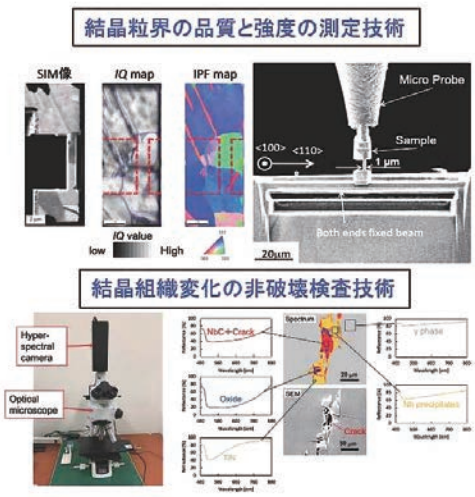
教 授
三浦 英生

教 授(兼)
陳 迎

材料機能・信頼性設計評価研究部門
破壊予知と破壊制御研究分野

http://www.miura.rift.mech.tohoku.ac.jp





先端構造材料と機能デバイスの破壊を予知･制御し防止する設計･評価技術の開発

地球温暖化防止対策のため各種電力システム、航空輸送システムなどで使用される構造機器の稼働環境は高温高速など苛酷化する一方であり、機器の稼働中に生じる構造材料の劣化損傷が加速度的に深刻化する傾向にある。また高度情報化社会、IoT 社会を支える高機能デバイスでは、構造の微細化とともに発熱密度が原子力発電を超えており、材料の劣化損傷の加速による「寿命の低下」が深刻化している。このため、原子レベルで材料の劣化損傷の発生メカニズムを解明し、稼働環境における破壊を防止する方法を確立し、安全安心な社会の実現に貢献するため、1) 原子レベルでの材料結晶組織の分析可視化技術、2) 高信頼材料の設計、製造技術、3) 稼働中の負荷のオンラインモニタリング技術、4) 非破壊検査技術等の開発研究などを推進しています。

原子配列の秩序性に基づく材料の劣化損傷可視化技術の開発

耐熱合金や高機能薄膜材料の機能や性能は材料を構成する原子の配列規則により決定されています。したがって、この原子配列の規則性がくずれると材料の性質は変化します。原子配列状態の変化を、電子線回折法を応用して定量的に可視化する技術の開発を進めています。これにより、使用環境中の材質の劣化を、温度や応力などの環境条件と時間の関数として解明することを目指しています。

高信頼高強度材料や高性能薄膜デバイスの設計、製造技術の開発

材料の劣化損傷は構成原子の異方的な拡散現象に基づき進行することを明らかにしていることから、様々な負荷環境に置ける材料中の原子拡散を抑制する方法を原子レベルシミュレーション技術を応用して提案し、提案材料を試作してその性能や信頼性を評価しています。特に多結晶材料の結晶粒界近傍の原子配列状態を制御することで、耐熱合金や薄膜材料の強度・信頼性を向上させています。

構造機器稼働中実働負荷のオンラインモニタリング技術の開発

各種構造機器や人体のヘルスモニタリングを実現するために、半導体技術やカーボンナノマテリアルを応用したひずみセンサや触覚センサなどの設計と試作評価を進めています。半導体材料の電気抵抗がひずみの作用で数桁も変化する現象を応用し、ナノ、マイクロスケールの超小型・高感度センサを開発し、社会におけるで安全で安心なヒューマンインターフェースの実現を目指しています。

構造機器材料劣化損傷の非破壊検査、モニタリング技術の開発

各種構造機器に使用されている材料の劣化損傷を非破壊で検査する技術の開発を進めている。特に各元素が有する光の反射率の波長依存性に着目し、波長制御光を照射してその反射光のスペクトル変化を分析することで、構造材料表面の組成分布の変化や、特定元素の局所的な偏析や析出を可視化する技術や、マイクロサンプリングによる強度劣化評価技術の開発などを進めています。

ファインメカニクスコース
先端材料強度科学研究センター

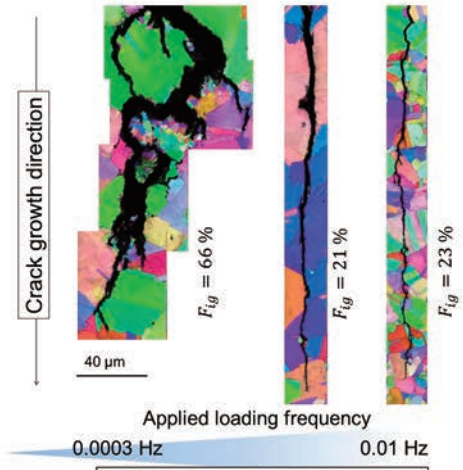
竹田 研究室

准教授
竹田　陽一

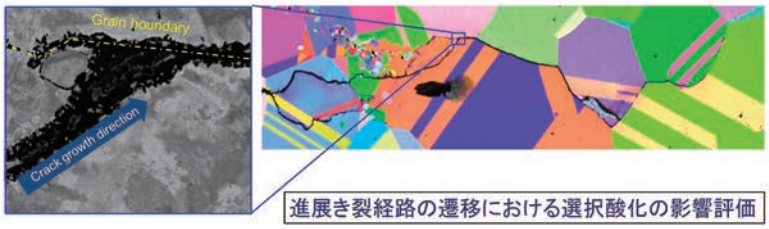
特任准教授
二本柳　保

電力エネルギー未来技術（東北電力）
共同研究部門

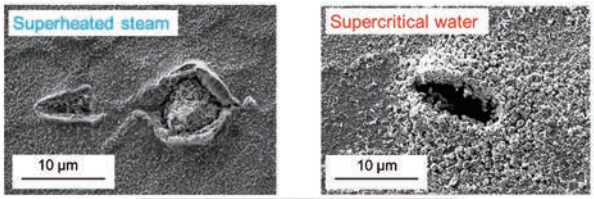
http://www.nakanotakeda.rift.mech.tohoku.ac.jp/



負荷変動下でのき裂経路選択過程



進展き裂経路の遷移における選択酸化の影響評価



超臨界水中特異酸化過程の解明

エネルギー高効率利用のための先端エネルギー利用システムの確立

本部門では、エネルギー変換プラントの安定的な運転のために、過酷環境にさらされる構造材料の劣化問題の解決と余寿命予測法の開発に取り組んでいます。また、再生可能エネルギーとの調和のため、タービンシステムにおいては、随時電気出力を変化させる負荷調整運転が必須となっています。このような運転条件の変化に対応し、既設の蒸気タービンシステムに対しては、高効率・高信頼化を目指し、高温水蒸気環境中における構造材料の劣化挙動の解明を進めています。加えてカーボンニュートラル社会を目指した非化石燃料利用の発電システムや原子力発電においては、耐熱合金と環境雰囲気の相互作用である酸化挙動に着目し、実機相当の雰囲気中試験や表面分析法を活用し、供用中に顕在化される損傷モードの予測やその検出法の開発を進めています。

タービンシステムの高効率化と運用性向上技術

蒸気タービンやガスタービンでは、高温の水蒸気や燃焼ガスにより駆動されています。さらなる環境負荷低減に向けて、高効率化のための高温化も進められています。また、起動停止回数の増加や起動時間の短縮化など、運転の多様化に直面しています。そこで、耐熱材料の高温雰囲気中での負荷変動下での材料劣化メカニズムの解明を通して健全性評価と材料強化機構の検討を行っています。

高温高圧水環境における材料損傷メカニズムに関する研究

プラント供用中の構造材料の損傷予測精度向上のため、プラント部材の表面状態に基づく損傷評価法の開発を最終目的として、割れ萌芽形成期における特異酸化や、合金／酸化皮膜界面の反応の推定を進めています。表面の酸化、割れ潜伏期からき裂形成に至る過程を追跡するための評価法の開発により、き裂発生メカニズムの解明を進めています。

次世代型発電システム確立のための長期信頼性評価

ゼロ・エミッション火力発電の実現のために水素や燃料アンモニアの利用が検討されています。例えばガスタービンでは、燃焼器ノズルは高温高圧の空気と燃料と接しています。また、損傷は部材の製造法やプラントの急速起動などの運転条件の影響を受けることが予想されます。このような実機条件を考慮した高温水素やアンモニア雰囲気でのプラント健全性評価を進めています。

水素製造･貯蔵システムの高効率化と高信頼化

次世代炉である高温ガス炉によるガスタービン発電と水素供給システムの高信頼化のため、高温の冷却材と接する耐熱合金の表面損傷挙動を評価しています。冷却材のガス組成や合金の脱侵炭挙動の評価を通して、寿命消費過程の全容解明を目指しています。また、高温の熱源を利用したカーボンフリー高効率水素製造のための安全評価技術の確立に関わる検討も進めています。

ファインメカニクスコース
ファインメカニクス専攻

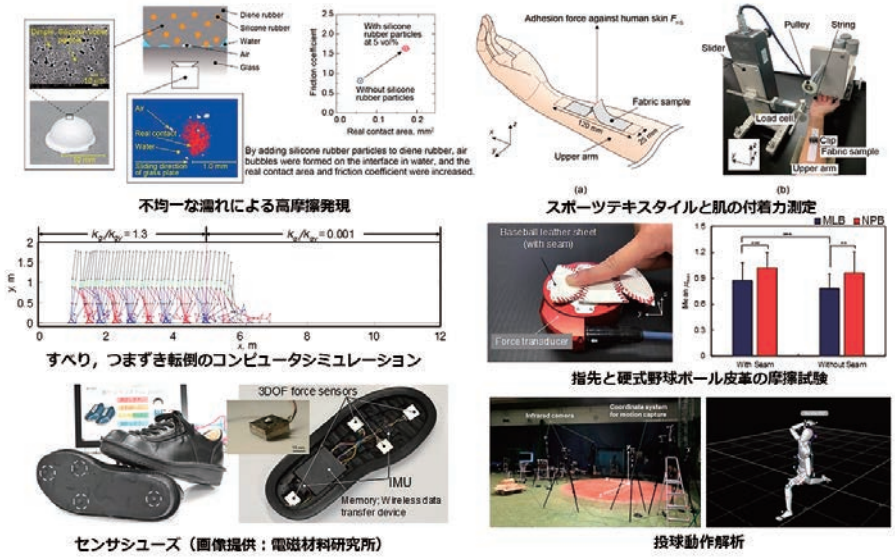
山口・西 研究室

教 授
山口　健

助 教
西　駿明

ナノメカニクス講座
ソフトメカニクス分野

https://web.tohoku.ac.jp/yamaguchi/



ソフトメカニクス&ライフサポート

山口・西研究室ではゴムや生体などのやわらかい材料（ソフトマテリアル）の摩擦制御や人間の運動解析を基盤として、機械システムの健全性・機能向上や人間の運動機能向上に向けた研究に取り組んでいます。これら一連の研究を通してライフサポート分野におけるイノベーションの創出を目指して、国内外の研究機関との分野横断型・異分野融合研究や、研究成果の社会実装のための産学共創にも力を入れています。

ソフトマテリアルのトライボロジー

靴底や自動車タイヤにおいて、ゴム材料の液体中での高摩擦化は長年の課題となっています。当研究室では水中や油中におけるソフトマテリアルの超高摩擦化を目指して、接触面観察技術や超高摩擦意匠、超高摩擦材料の開発に取り組んでいます。また布あるいは不織布などの繊維状構造体と肌の接触における摩擦制御にも取り組んでいます。

すべり･つまずき転倒の防止に関する研究

転倒事故は高齢者の寝たきりや労働災害の主要な原因となっており、解決すべき喫緊の課題です。転倒事故の多くは「すべり」や「つまずき」によって発生しています。当研究室では足底と床面間の摩擦に着目し、安定に歩行するために必要な足底と床面間の摩擦条件を実験的・理論的に解明するとともに、すべりやつまずきによる転倒を防止するための技術開発に取り組んでいます。

ヒューマンダイナミクスとトライボロジー

人間の運動（ヒューマンダイナミクス）と外界との接触・摩擦（トライボロジー）、その知覚との相互作用については、経験的かつ感覚的な理解にとどまっているのが現状です。当研究室では、野球の投球を対象として、ボールと指先間の摩擦の大小とその知覚が動作をどのように変容させ、パフォーマンスや障害にどのような影響を及ぼすのかについて研究を行っています。

産学連携の取り組み

当研究室では産学連携による研究成果の「社会還元・社会実装」に積極的に取り組んでいます。その他の研究内容、研究成果は当研究室 HP をご覧下さい。

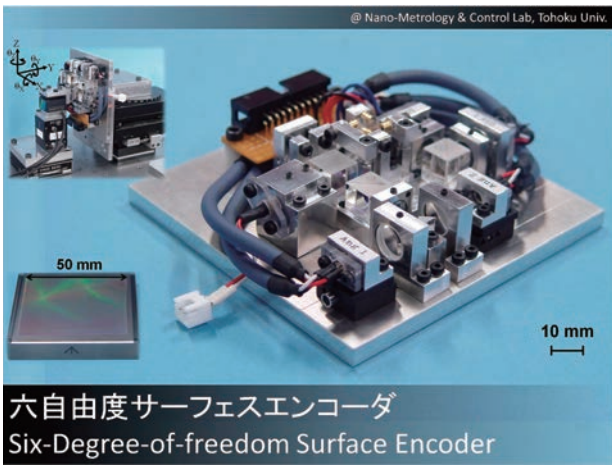
ファインメカニクスコース
ファインメカニクス専攻

高 研究室

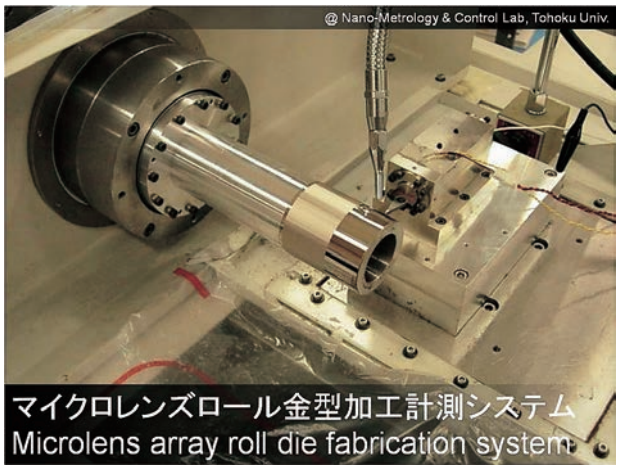
教 授
高 偉

ナノメカニクス講座
精密ナノ計測学分野

http://www.nano.mech.tohoku.ac.jp/



多自由度運動のナノ計測制御



高速工具サーボによる表面微細形状加工・計測

多自由度運動のナノ計測制御

当研究室では、精密加工品の形状及び精密機械の運動を必要な精度で計測するという精密ものづくり計測の研究に取り組んでいる。独自の計測原理に基づき、グレーティングなどの微細格子と波動光学系を組み合わせることによって、超精密ものづくり計測の基本道具となる高精度かつコンパクトな多軸変位、角度センサ（サーフェスエンコーダシステム）を提案してきた。本システムでは、回折光干渉型３軸変位センサとオートコリメーション法を原理とする３軸角度センサを組み合わせることで、１つのレーザープローブで、平面ステージの超精密位置決めに利用可能な最大６自由度の位置･姿勢検出を可能としている。また、これを並進および回転姿勢変化の多自由度を有するサーフェスモータステージと組み合わせ、簡便な構成で多自由度の位置・姿勢を制御可能なステージシステムの研究も行っている。

三次元微細形状測定のための走査型静電気力顕微鏡（SEFM）に関する研究

本研究では三次元微細形状測定のための非接触静電気力顕微鏡を提案し、その開発を行っている。水晶振動子に接着した探針と試料表面との間に働く静電気力を測定しながら試料表面を非接触で倣い走査する。50 nm 以上の探針・試料間距離を維持する完全非接触走査で、静電気力に影響を与える試料表面電荷分布等のパラメータをキャンセルしつつ探針・試料間の絶対距離を算出できる。

力センサ組み込み型高速工具サーボによる表面微細形状の加工･計測

３次元微細形状は、計測基準面、マイクロレンズアレイなど様々な分野において用いられている。本研究では、高速工具サーボ（FTS）と超精密旋盤を用いたダイヤモンド切削による３次元微細形状創成法を検討している。FTS に組み込んだ力センサからの出力をもとに、加工工具自身を測定プローブとして用い、加工ワーク形状プロファイルのオンマシン計測に用いる手法を提案している。

感度安定化角度センサの研究

レーザーオートコリメーション法を原理とする光学式角度センサは光スポット径が光源の光周波数ゆらぎに従い変動するため、長時間の角度計測の場合にはセンサ感度が安定しないという欠点があった。本研究ではフェムト秒レーザを光源とし、その周波数スペクトルである光コムの性質を利用してセンサ感度を安定化させることを目的とした角度センサの開発を行っている。

大型ロール旋盤の精密測定に関する研究

大型ロール金型を用いた大面積微細形状加工への需要が増加しており、金型を加工する大型ロール旋盤の加工機スライドには高い運動精度が要求される。本研究では、２本の静電容量型変位センサを用いることで、大型ロール旋盤の駆動スライドの真直度誤差及び平行度誤差をロール金型形状誤差と分離した形で評価するシステム及びアルゴリズムを提案している。

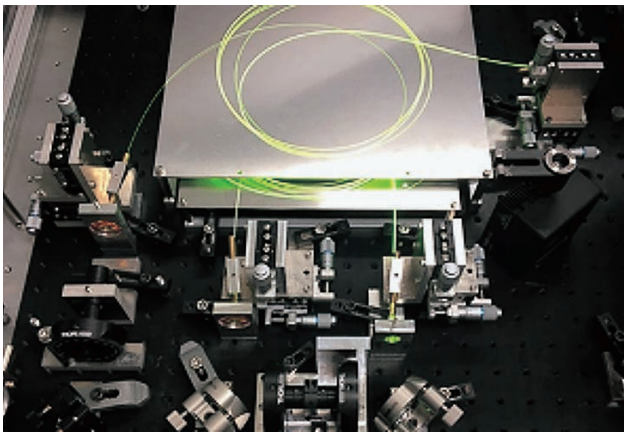
ファインメカニクスコース
ファインメカニクス専攻

准教授
松隈　啓

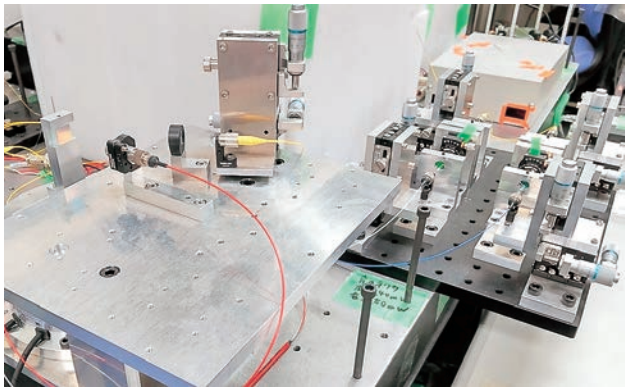
松隈 研究室

ナノメカニクス講座
精密ナノ計測学分野

http://web.tohoku.ac.jp/nanometrology/



中赤外ファイバーレーザーシステム



運動計測光センサ光学系

先進レーザー光によるものづくりのための計測技術の開拓

測れないものは作れない、という言葉があります。これは、測定ができるということがものづくりの根幹であることを示しています。半導体などの益々精密になるナノメートル精度製品の生産や、新しい材料の物性評価などを実現するために、計測学が重要な役割を果たしてきました。こういった物体の動きや形状を測定するためには、計測原理が必要であり、またそれを実現する測定装置・センサが必要です。

私たちの研究室では、これまで誰もできなかった測定に挑戦するために、新しい測定原理を創出し、それを深化させる研究を行っています。また、そのために必要な超短パルスレーザーや光周波数コム、中赤外線レーザーといった先進的なレーザー光源や、2軸スケール回折格子などの計測のために必要な道具を自らの手で設計・製作する方法についても研究し、これらを応用した測定にも挑戦しています。

光周波数コムによる運動および形状計測用センサ

近年、光周波数コムと呼ばれる周波数を精密に制御したレーザーを用いた光計測が盛んに行われています。私たちは、光周波数コムの精密な周波数を利用して、物体の運動および形状を桁違いに正確に測定する方法を研究しています。最近では、光周波数コムを2台用いたデュアルコム分光法に取り組み、極めて正確な角度の計測法の創出について研究しています。

中赤外線レーザーによる粗面の角度運動計測センサ

リニアガイドのような直線運動を行う装置の運動誤差（曲がって動いていないか）を測定するために、物体の回転運動を測定する装置が必要になります。従来、平滑面に対して可視光レーザーを用いた角度測定装置が用いられてきました。私たちは平滑面が得られない状況でも測定が可能となるよう、粗面を測定対象として可視光より波長の長い中赤外線レーザーによる測定センサを研究しています。

レーザー加工法の開拓

レーザー加工は従来の機械加工法では困難であった様々な加工を実現しています。例えば機械加工法では困難な難削材の加工、レーザーの高いエネルギー密度を利用したピンポイントの高効率加工などが挙げられます。私たちは干渉リソグラフィ法による微細形状形成や、透明加工材料の高能率加工、はっ水加工や導波路形成などの機能性表面・デバイスを付与するための加工を行っています。

レーザー光源の研究･開発

レーザー光は計測・加工に対して非常に有効であり、新しいレーザー光源が普及すると新たな学術分野・工学応用に広げられます。新しいレーザー光源を作る際のパラメータは光の波長、パルス幅、光エネルギー、偏光状態などがあり、これらの中から実現可能かつ応用範囲の広そうなレーザー光源の開発に挑戦しています。上記の研究の多くは、開発・設計したレーザー光源を用いて行っています。

ファインメカニクスコース
ファインメカニクス専攻

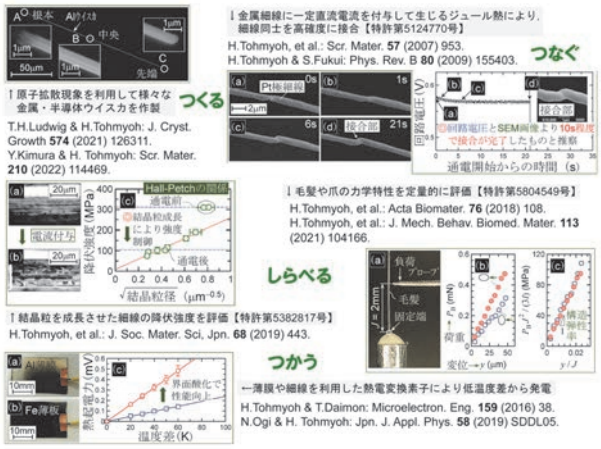
燈明・木村 研究室

教 授
燈明 泰成

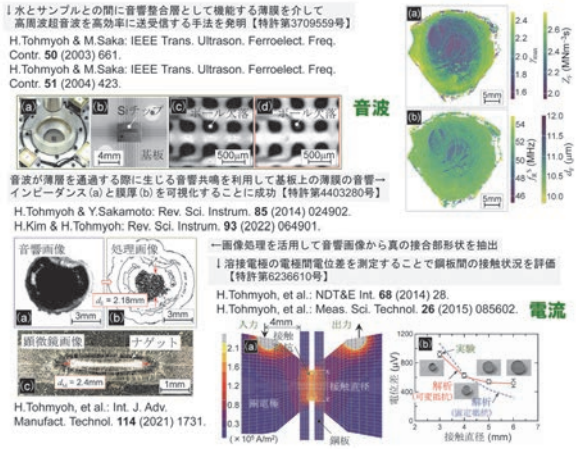
助 教
木村 由斉

ナノメカニクス講座
材料システム評価学分野

https://web.tohoku.ac.jp/tohmyoh/index.html



微細な材料をつくる・つなぐ・しらべる・つかう



音波や電流を利用した材料システムの先進評価

新しい材料システムを創るために～微細な材料をつくる･つなぐ･しらべる･つかう～

本研究室では学際的なアプローチにより新しい材料システムを創出するための研究を行っている。具体的に、優れた物理的諸特性と幾何学的特徴を有する微細材料を活用するための周辺技術に係る一貫した研究（材料をつくる･つなぐ･しらべる･つかう）を展開している（図1）。微細な材料同士の接触部に一定直流電流を付与した際、接触部がジュール熱により局所的に溶融する現象を支配する因子を発見して材料同士を高確度に接合可能にしている。また原子拡散現象を利用して作製した金属／半導体ウイスカ等の力学特性を評価してこれを制御、あるいは電気特性を評価してこれを活用したセンサを開発している。微細材料に関する独自の実験技術を駆使して毛髪や爪の研究も展開している。さらに次世代材料システムの性能と信頼性の鍵を握る接合界面や薄層を音波や電流を用いて検査する手法を開発している。

微細材料の力学／電気特性評価とその活用

微細材料を有効に活用するためにはその物理的諸特性を正確に把握する必要がある。極微小力を計測する荷重センサを開発して微細材料の力学特性を評価すると共に、ジュール熱により材料の結晶粒を成長させてその強度を制御することに成功している。また表面にナノワイヤを有する薄膜の電気特性を評価すると共に、その特性を活用して溶液の濃度を高感度に検知する液体センサを開発している。

毛髪や爪の力学特性評価と形状の理解

日々成長する毛髪や爪の物理的諸特性や形状には様々な分野で活用できると期待される有益な情報が含まれている。多層構造を有する毛髪や爪の外形寸法に依らない引張や曲げに対する変形能を表す構造弾性率を提案し、シャンプー・コンディショナー処理やマニキュア塗布が毛髪や爪の変形能に及ぼす影響を評価することに成功している。また毛髪の形状を決定づける因子の解明に取り組んでいる。

薄板や細線を利用した熱電変換素子の作製

鉄薄板の表面にアルミニウム薄膜を蒸着して異種金属界面を形成することで、薄板の長手方向の温度勾配に起因して起電力が生じる薄板型熱電変換素子を開発している。また身の回りの温度差を有効に活用すべく、鉄薄板の表面を酸化する、あるいは素子を積層する等して高出力化を図っている。さらに同様の原理に基づく熱電変換マイクロワイヤを作製し、極微小領域の温度計測を可能にしている。

音波や電流を利用した材料システムの先進非破壊評価

水と被検査物との間に薄膜を介して高周波数超音波を伝達するドライ超音波法を開発し、これにより電子部品の水非接触下における高分解能内部可視化に成功している（図2）。また当該超音波伝達系で生じる音響共鳴を利用した映像法を開発し、各種薄膜の物性値や膜厚を可視化することに成功している。さらに音波や電流を利用して材料システムの要である接合部を評価する手法を開発している。

ファインメカニクスコース
ファインメカニクス専攻

白須 研究室

准教授
白須　圭一

ナノメカニクス講座
材料システム評価学分野
https://web.tohoku.ac.jp/tohmyoh/index.html

グリーンマテリアルシステム創成のための研究開発スキーム

熱可塑性樹脂を活用したグリーンマテリアルシステムの創成

本研究室では、カーボンニュートラル実現に向けて熱可塑性樹脂あるいは炭素繊維やナノフィラーを含有した熱可塑性樹脂複合材料を活用したグリーンマテリアルシステムの創成に向けた研究開発を行っている。例えば、3D 積層造形による付加製造や異種材料への直接接合を進めることで、切削・接合工程の削減が可能となる。また、接着剤による接合は、機械的締結のための穿孔加工や締結作業の削減に寄与するだけでなく、金属ファスナー削減による軽量化で CO_2 排出量削減にも貢献するものであり、今後さらなる接着剤用ポリマーの高性能化や接着界面の改質、接着メカニズムの解明が求められる。今後は素材のリサイクルを考慮した材料設計も重要であり、複合材料のカスケードリサイクル、熱可塑性樹脂の溶融・固化による材料劣化挙動の理解や生分解性プラスチックの利用も視野に入れた研究を進める。

材料合成･成形/実験評価/シミュレーションのエコサイクルを循環させた研究開発スキーム

本研究室では、①樹脂合成、複合材料の成形・3D 積層造形などの材料合成・成形と②引張試験・界面破壊靭性試験、熱分析、構造観察などの実験評価を基盤としながら、③有限要素解析、分子動力学シミュレーションなどの解析も援用した研究開発エコサイクルを循環させることで、効率的な新材料の開発や構造・変形・破壊挙動の解明に関する研究を推進している。

3次元積層造形による熱可塑性複合材料/金属の異種材料接合技術開発とメゾスケール界面強度評価

近年、熱溶解積層（FFF）方式の 3D プリンタを用いた複合材料の造形技術が開発され、高強度・高剛性な複合材料を低コスト、短時間で自動的に立体造形できるようになってきている。本研究では、金属基板上に熱可塑性樹脂複合材料を直接造形したマルチマテリアル材料を開発し、接合界面のモード I、II 破壊靭性およびラップシェア強度を実験・有限要素解析の双方から評価を行う。

相分離系ポリマーアロイの材料特性評価･先端構造計測･分子構造モデリング

ポリマーアロイは、エポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂の低靭性を改善するために熱可塑性樹脂をブレンドした言わば熱硬化性樹脂 / 熱可塑性樹脂複合材料である。本研究では、相分離系ポリマーアロイのネットワーク構造および各種材料特性の発現メカニズムを電子顕微鏡や分光分析による先端計測と分子動力学シミュレーションによる分子構造モデリングにより解明することを目指す。

熱可塑性樹脂複合材料の高効率リサイクルに向けた溶融･固化サイクルに伴う母材樹脂劣化挙動評価

熱可塑性樹脂やその複合材料は、再成形、低コスト製造が可能かつ低環境負荷であるサステナブル素材として近年注目を集めている。グリーンマテリアルシステム創成のためには、成形条件の影響や、溶融・固化過程における樹脂の構造・特性の変化を十分に理解する必要がある。本研究では、熱可塑性樹脂や複合材料の溶融・再固化サイクルを経ることによる構造・特性の変化の解明に取り組む。

ファインメカニクスコース
流体科学研究所

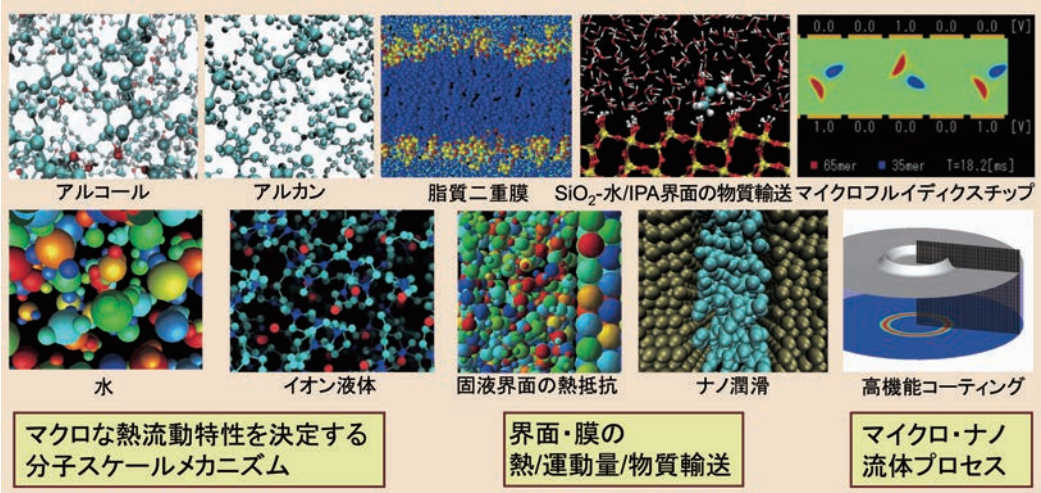
小原·Surblys 研究室

教　授
小原　拓

助　教
Donatas SURBLYS

協力講座
分子熱流動研究分野

https://www.ifs.tohoku.ac.jp/jpn/research/dv_nfrd/mhtl



分子熱流体工学

流体が示す熱・運動量・物質の輸送特性を、物性値や界面特性などのマクロな概念を越えて理解することは、近年のナノテクロノジーにおいて問題となる微細スケールにおける熱流動現象を理解するだけでなく、マクロな熱流動特性を決定する分子スケールのメカニズムを知って希望の特性をもつ流体や界面を設計することにつながる重要なステップである。液体・ソフトマターやこれらと固体壁面との干渉を主な研究対象として、熱伝導率や粘性などマクロ熱流体物性、輸送物性の異方性、固液界面の熱抵抗や物質輸送など、現象の解明と問題解決に取り組んでいる。これらの実践を通じて、ミクロ・マクロな熱流動特性を分子運動で表現するための学理と分子動力学シミュレーションとを主な道具に用い、物理化学的手法を機械工学における熱流体研究に組み入れた新しい体系の構築をめざす。

流体の構造と熱·運動量の分子スケール輸送特性

液体中には様々な構造が存在し、その動特性が液体中の熱・運動量・物質輸送現象を支配している。液体構造の輸送特性を解析することにより、なぜその液体の輸送物性値はその値なのか、希望の輸送物性をもつ流体はどのような分子構造をもっているべきか、などの疑問を解明する。また、脂質二重膜などソフトマターの構造と非等方性輸送現象を解析し、新しい材料としての応用をめざす。

固液界面における熱·物質輸送特性

固体・液体が接する界面における熱・物質輸送現象は、NEMS や多孔質体など微細構造系の総括的特性を支配している。また、半導体製造工程のウェットプロセスなど微細加工では、製品の成否を決定する鍵となっている。界面近傍の液体中に発現する特異な構造や、固体分子ー液体分子間のエネルギーの伝搬を解析する分子動力学シミュレーションにより、現象のメカニズムを解明している。

液体分子の熱エネルギー伝搬特性データに基づく熱媒流体の設計

エネルギーの高効率利用や熱機器の高機能化において、熱媒流体は大きな役割をもつ。分子を構成する様々な官能基など原子群がなす力学的エネルギー伝搬への寄与を解析し、それらが集積して発現する熱エネルギー伝搬特性のデータに基づいて、様々な使用条件に対して最適な熱媒を実現する分子を予測する。これにより、流体や熱流動現象の設計法を確立する。

高機能コーティング

コーティングは、気液・固液の界面現象とマイクロ・ナノスケールの流動現象が連成した複雑な応用技術である。半導体製造過程のレジスト塗布など、分子スケール膜厚のコーティングに要求される条件はますます厳しくなる一方、塗布膜分子の配向制御や塗布分子の吸着脱離を制御するダイナミックコーティングなど、新しい課題も出現している。分子熱流動解析の応用によりこれらを解決する。

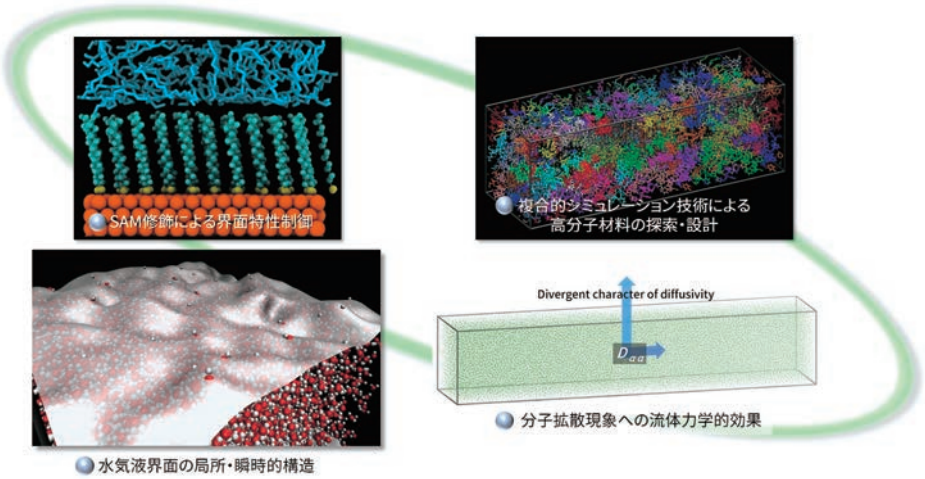
ファインメカニクスコース
流体科学研究所

菊川 研究室

准教授
菊川　豪太

協力講座
分子複合系流動研究分野

http://www.ifs.tohoku.ac.jp/mht/



分子シミュレーションを用いた
分子複合システムの解析

複合的なシミュレーション技術を用いた分子熱流体現象の解明

ナノスケールからマクロスケールに渡る多くの工業・産業プロセスにおいては、分子レベルの物理が複合的に関与する熱流動現象が数多く見られる。特に、デバイス表面での放熱性能の向上による次世代半導体デバイスの限界性能向上、熱流動特性や機械特性の最適化による新規高分子素材の探索・設計には、界面での熱流動特性や不均質媒体における分子スケール構造と輸送特性の相関など、複合的な視点での現象理解が不可欠となっている。そこで、分子動力学法をはじめとした大規模数値シミュレーションにより、熱流体工学におけるミクロスケールの熱・物質輸送現象およびマクロな熱流体物性を支配するミクロスケールメカニズムの解明を目指して研究を行っている。また、複数のスケールに渡る数値解析技法の統合によってマルチスケール性を有する熱流動現象の解析を目標としている。

有機分子膜による表面修飾の研究

自己組織化単分子膜（SAM）をはじめとした有機分子による表面修飾技術は、固体表面の物理化学的特性を制御する技術として、種々のプロセスやデバイスへの応用が進んでいる。有機分子薄膜の自己組織化や自発的構造形成を利用したボトムアップの表面修飾技術によって、特異な界面特性を得ることができる。これら界面の界面親和性や界面を介した熱・物質輸送特性を明らかにしている。

高分子材料の熱流動特性

産業的にも広く利用が進んでいる高分子材料の開発には、内部の分子スケール構造や相分離構造の制御によって、力学的・化学的特性のみならず熱流動特性を設計することが必要とされている。分子スケールからマクロスケールに至るスケール複合的な解析手法やデータ科学の技術を駆使して、有用な熱流動特性や機械特性を有する高分子材料の探索・設計を目指している。

不均質媒体/制限空間内の流体における輸送現象

流体やソフトマター界面、ナノスケール構造によって形成される制限空間内の閉じ込め液体においては、界面近傍における液体中の不均質（ヘテロ）な構造発現に伴い、特異な熱・物質輸送特性が現れる。本研究を通じて、均質なバルク液体中と大きく異なる閉じ込め液体の分子輸送特性を明らかにし、それらに基づくマクロな熱流体解析への橋渡しとなる物理モデルの構築を目指している。

分子拡散現象に対する流体力学的効果の解明

分子拡散現象は、多孔質体やナノ細孔、生体高分子を介した物質移動などナノ・バイオ工学レベルで広く重要な要素となっている。これらミクロスケールの拡散現象においては、流体力学的効果によって分子ダイナミクスが強く影響を受けることが明らかになっている。ヘテロな構造における輸送現象の本質的理解を目指し、流体力学と分子動力学の融合的な研究を行っている。

ファインメカニクスコース
流体科学研究所

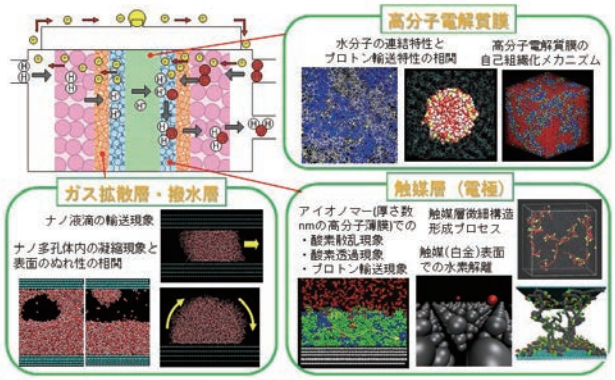
徳増・馬渕・上根 研究室

教　授
徳増　崇

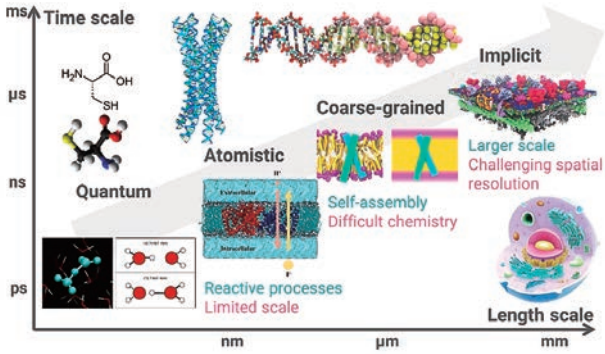
（兼）助　教
馬渕　拓哉
（学際科学フロンティア研究所）

特任助教
上根　直也

ナノ流動学講座
量子ナノ流動システム研究分野
http://www.ifs.tohoku.ac.jp/nanoint/jpn/index.html



燃料電池内部の様々な場所で見られる物質輸送現象の分子動力学シミュレーション



生体分子のマルチスケールシミュレーション

物質の量子性が影響する分子スケール熱流動現象の解明と次世代電池開発への応用

原子・分子スケールの熱流動現象を考えるとき、原子・分子の持つ「量子性」が流れの特性に影響を及ぼすことがしばしば見受けられます。たとえば水素は分子の質量が軽いため位置と速度の不確定性が大きく、この影響により熱流動現象の数値予測が困難になることが知られています。また水素イオン（プロトン）の移動には結合の解離や再結合を伴う移動機構が発現し、そのため水分子よりも遙かに速い速度で液体・固体内を拡散します。化石燃料に変わるエネルギー源として重要な水素関連機器や電池を設計する際にはこのような現象を考慮して機器内部で生じる熱流動現象を解析する必要があります。当研究室では流体分子の「量子性」が熱流動現象に影響を及ぼす系を対象にして、その量子効果を取り込んだ様々な手法を用いてその性質を解明し、工学的に応用することを目的として研究を行っています。

固体高分子形燃料電池内部の反応物質輸送現象に関する研究

固体高分子形燃料電池は水素と酸素を反応させて電気を取り出す装置で、次世代のエネルギー源として期待されています。この燃料電池の発電効率を向上させるには反応物質（プロトン、酸素）をいかに速く流すかが重要になります。当研究室では、燃料電池内部の物質の動きを大規模分子動力学シミュレーションにより解析し、その特徴や性質をとらえることを目的として研究を行っています。

全固体Liイオン電池内部のLiイオン輸送現象に関する研究

現在のLiイオン電池の電解液を固体電解質に置き換えた全固体Liイオン電池は、次世代の二次電池として期待されています。当研究室では、この固体電解質内部やLiイオンを蓄える活物質内部でのLiイオンの輸送現象を分子動力学シミュレーションにより解析することで、イオン伝導性の高い材料や電池内部のナノスケール構造の特徴を捉えることを目的として研究を行っています。

生体分子システム内におけるタンパク質の液液相分離現象およびイオン透過現象に関する研究

生体分子システムで起きている幅広い時空間スケールの動的性質を解析するためには、時空間スケールの異なる計算手法を組み合わせたマルチスケールシミュレーション技術が重要です。量子化学計算や反応MDを用いたnmスケールのイオン輸送現象から粗視化MDを用いたμmスケールのタンパク質高次構造（液液相分離構造）形成現象までマルチスケールの動的現象に興味を持っています。

原子層堆積法および化学気相堆積法における成膜メカニズムの分子動力学的研究

半導体製造において、成膜プロセスは膜厚誤差±0.5Åという原子層レベルの制御が求められています。このような最先端の需要を実現可能な成膜手法として化学気相堆積法および原子層堆積法が広く利用されています。そのため本研究では、拡散現象および反応現象を融合した反応性力場分子動力学シミュレーションを実施し、成膜メカニズムの普遍的な理解を目指しています。

機械システムコース
流体科学研究所

遠藤 研究室

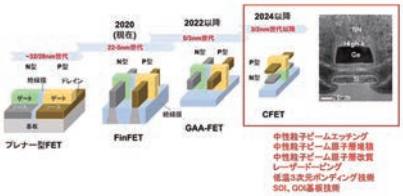
教 授
遠藤 和彦

特任教授
寒川 誠二

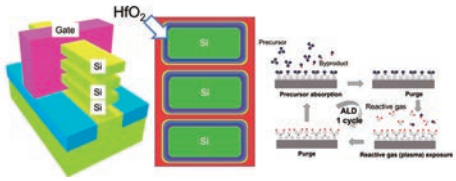
特任助教
大堀 大介

グリーンナノテクノロジー研究分野

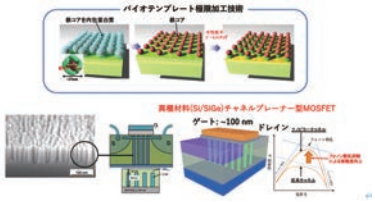
https://www.ifs.tohoku.ac.jp/gnt/endo/



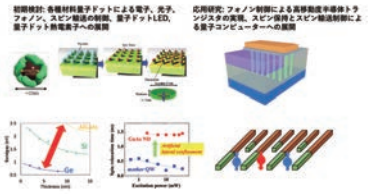
Si/Ge 異種チャネル集積プラットフォームの構築



ナノデバイスのための原子層堆積制御技術



フォノン場制御を用いた高移動度半導体素子



バイオテンプレート極限加工による設計制御可能な量子ドット作製技術

超低損傷プロセスによる革新的グリーンナノデバイス開発

次世代ナノスケールデバイスにおける高精度ナノプロセスを目指し、プラズマプロセス、ビームプロセスや原子操作プロセスにおける活性種（電子、正負イオン、原子・分子、ラジカル、フォトン）と物質との相互作用（エッチング、薄膜堆積、表面改質）に関する研究や、これら原子分子プロセスに基づいた先端バイオテンプレート極限加工技術に関する研究を進めています。さらに、実験と計算（シミュレーション）を融合し、原子層レベルの制御を実現できるインテリジェント・ナノプロセスの構築を目指しています。

2nm世代向けの Si/Ge異種チャネル集積プラットフォームの構築

中性粒子ビーム無欠陥原子・分子レベルの高精度ナノ加工技術によって、2nm 世代向けの Si/Ge 異種チャネルプラットフォームを、日本 - 台湾間で構築しました。中性粒子ビームと最先端の半導体プロセスを組み合わせることで、集積回路の３次元化による高集積化により、大幅な集積化とデバイスの高速化を目指して研究を行っています。

ナノデバイスのための原子層堆積制御技術

微細なナノデバイスや複雑な立体構造に薄膜を堆積するための原子層堆積制御技の研究を行っています。新規の原子層プロセスのための原料とダメージレス酸化技術を組み合わせて、ナノデバイスのための高誘電率ゲート絶縁膜の堆積技術に関する研究を行っています。

無欠陥ナノ周期構造による フォノン場制御を用いた高移動度半導体素子

バイオテンプレート技術と無損傷中性粒子ビーム技術の融合によるバイオテンプレート極限加工技術を提案しました。この手法を用いて、高密度・無欠陥・規則的なナノアレイ構造の形成に成功しています。この手法を使って、フォノン場（熱）を制御したトランジスタの作製を目指しています。

バイオテンプレート極限加工による 設計制御可能な量子ドット作製技術

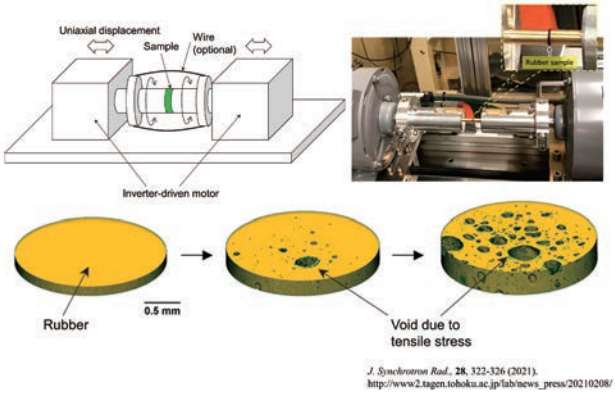
バイオテンプレート極限加工技術を用いて、量子ドット構造を作製することができます。サブ 10nm で構造を制御することが可能な加工技術を用いて、電子や光の振る舞いを制御してきました。これらの基盤技術を応用することで、スピン保持とスピン輸送制御による量子コンピュータへと展開していく研究を行っています。

ファインメカニクスコース
国際放射光イノベーション・スマート研究センター

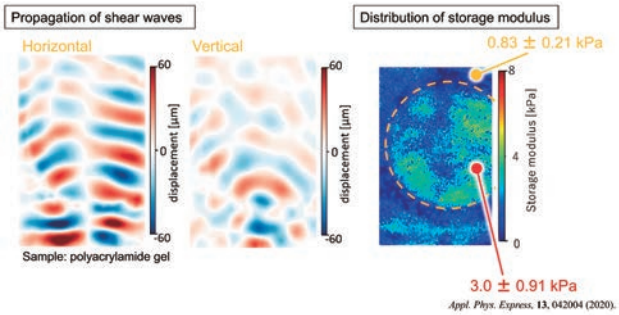
矢代 研究室

教 授
矢代 航

協力講座
表面物理プロセス研究分野
http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/yashiro/html/



Real-time 4D observation of rubber tensile fracture process (10 ms temporal resolution)



X-ray elestography by visualizing propagating shear waves

4D世界のフロンティアを拓く

私たちは三次元（3D）＋時間という「4D の世界」に生きていますが、μ m 以下かつ ms 以下の 4D 時空間領域には、最先端の計測テクノロジーでもアクセスできない広大な未知の世界が拡がっています。本研究室では、X 線などの高エネルギービームの量子性と、先端的なマイクロ・ナノファブリケーション技術、データサイエンス技術を駆使することで、従来の限界を超える新たなイメージング技術を開発し、未開の 4D 世界の開拓に挑んでいます。

本研究室で開発しているイメージング技術は、物質・生命科学における様々な非可逆・非平衡系（例えば、流動性のある材料や、生きた生物など）の新たな理解につながるだけでなく、持続可能社会の実現に向けた材料・マイクロマシンシステム開発や、病変の早期発見につながる医療診断機器の開発など、一般社会にも多様な波及効果を生むと期待しています。

ミリ秒時間分解能4DX線トモグラフィの開発・応用

世界に先駆けて、ミリ秒時間分解能の X 線トモグラフィ（CT）に成功しています。最近は、シンクロトロン放射光をマルチビーム化する光学素子を開発し、圧縮センシングと呼ばれるデータサイエンス技術を駆使して、試料を回転することなく 1 ミリ秒で X 線 CT が実現できることも実証しています。本技術の高度化とその応用により、未知の 4D 時空間領域の開拓を目指しています。

X線エラストグラフィの開発 —ソフトマテリアル内部の「硬さ」の4D可視化—

X 線イメージングにより試料内部の弾性率の分布を三次元的に（さらには 4D で）高空間分解能で可視化する技術の開発を行っています。例えば、生体内の弾性率の分布を可視化することにより病変を検出する医療診断機器の開発や、機能性ソフトマテリアルのダイナミクス研究への応用など、様々な波及効果が期待されています。

マイクロ・ナノファブリケーション技術による X線・中性子のための光学素子の開発

先端的なマイクロ・ナノファブリケーション技術により、従来の限界を超える X 線イメージング（あるいは中性子イメージング）を実現するための光学素子（高アスペクト比 X 線・中性子光学素子）の開発を行っています。物質・材料研究だけでなく、医療診断機器や天文衛生の開発など、様々な分野への波及効果が期待されます。

新たなモダリティの開拓

X 線による表面・界面構造解析と、先端的な X 線干渉計による（X 線の位相を利用した）X 線イメージング技術の融合により、表面・界面の構造パラメータの空間分布を可視化するなど、量子現象を利用した新たなモダリティの開拓にも挑戦しています。究極的には「X 線無被曝イメージング」のような夢のテクノロジーの開発も目指しています。

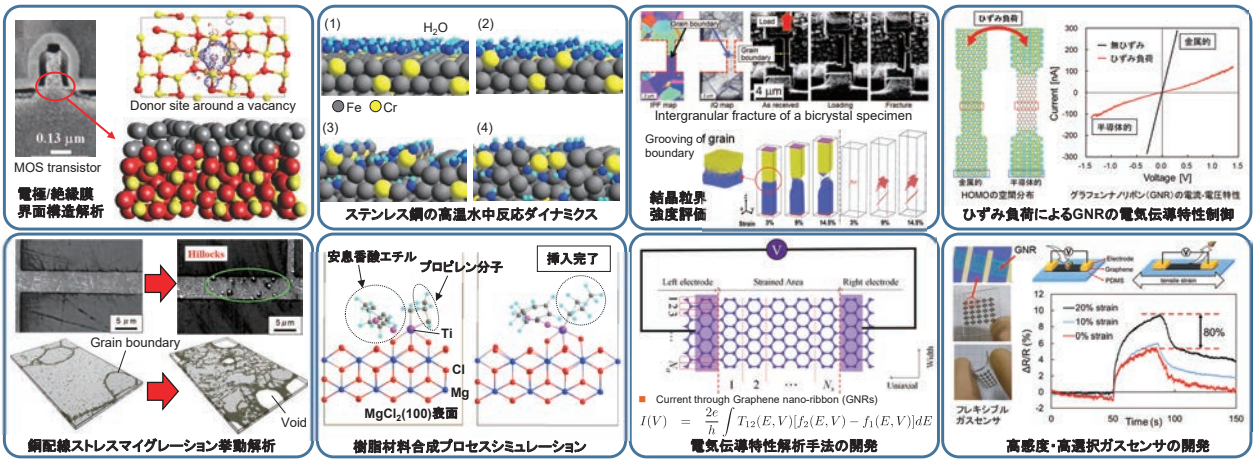
ファインメカニクスコース
グリーンクロステック研究センター

鈴木 研究室

教 授
鈴木 研

客員准教授
王 蕾

ソフト・機能マテリアル研究部門
材料機能信頼性設計学分野



原子レベルシミュレーションを活用した材料機能・信頼性設計

原子レベルシミュレーションによる材料特性評価と信頼性設計

持続発展可能な社会の実現に向けて、ナノスケールの電子デバイスから発電プラントのような巨大構造体に至るまで、各種機器の高機能、高性能、長寿命化が求められています。これまで新材料の開発や複合化などにより機器の高機能、高性能化が実現されてきましたが、その反面、材料システムは複雑化し、材料組織の不均一性や不安定性は増大する傾向にあります。さらに、資源循環型社会の実現のためには、新たな天然資源投入量を削減するため再生材原材料を用いた製品開発を実践する必要がありますが、再生材の品質ばらつきに起因した特性ばらつきや不良の発生が懸念されています。そこで、原子レベルシミュレーションを活用し、多種多様な材料の機能信頼性発現メカニズムを材料、環境、力学の相互作用の観点から明らかにし、組織の健全性に基づく高機能・高信頼材料の設計開発研究を推進します。

原子レベルシミュレーションによる材料機能設計

次世代材料システムの高性能化と長期信頼性向上を目的とし、量子力学に基づく原子レベルシミュレーションを用いて、ひずみ（応力）、組成、構造、環境の相互作用による材料組織および物性変動メカニズムの解明と、その支配因子に基づいた材料設計を実践しています。設計された組成や構造に対して試作評価を行い、理論と実験の両輪からなる材料設計・開発技術の確立を目指します。

材料組織、物性変動メカニズム評価手法の開発

今後予想される材料システムの多元素化、複雑化に対応するため、界面や粒界構造、組成、雰囲気、電場などが複雑に絡み合ったマルチフィジックス現象プロセスを解析可能な量子分子動力学シミュレータの開発に取り組んでいます。ナノ・マイクロオーダーの材料を試作し、界面組織変化や物性変動現象に対するシミュレーション結果と比較することで手法の精度、信頼性の向上を目指します。

ケミカルリサイクルのための化学反応シミュレーション

カーボンニュートラル社会や循環経済の実現に向けてプラスチック資源循環の取り組みが加速しています。廃プラスチックを新規材料と遜色ない品質で再生するには、ガス化、モノマー化、油化などケミカルリサイクルプロセスにおける複雑な化学反応を理解し、処理能力を高めていく必要があります。そこで、量子分子動力学法を用いて合成反応プロセスや分解反応機構の解析を行っています。

カーボンナノマテリアル応用実時間ヘルスモニタリングデバイスの開発

グラフェンをナノスケールのリボン形状に加工したグラフェンナノリボンは、構造に歪みを作用させることでその電子物性を半導体から金属まで可変制御することが可能です。この特性を利用した発電素子やガスセンサ、触覚センサなど様々なデバイスを開発し、少子高齢化社会において不可欠な実時間ヘルスモニタリングを実現するウエアラブルデバイスの実現を目指した研究を行っています。

ロボティクス

Robotics

ロボティクスコース
ロボティクス専攻

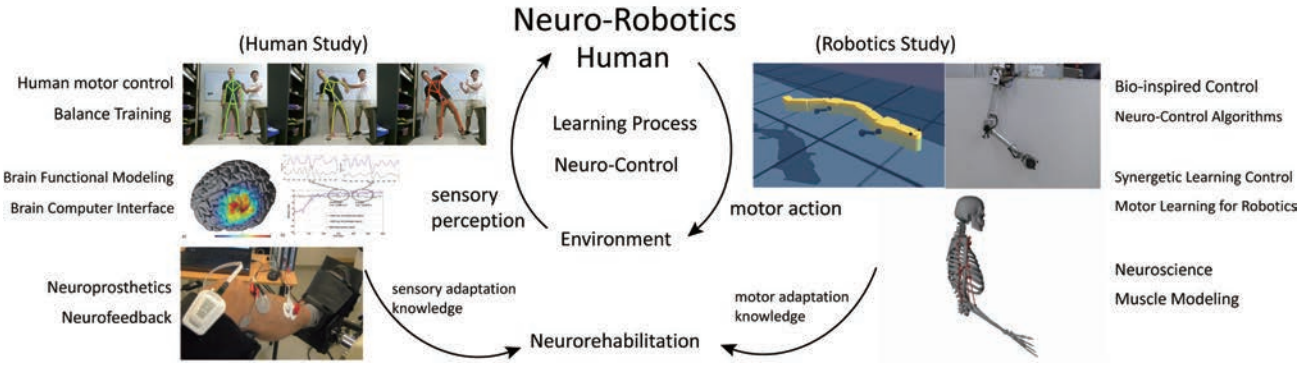
教　授
林部　充宏

助　教
沓澤　京

林部・沓澤 研究室

ロボットシステム講座
ニューロロボティクス分野

http://neuro.mech.tohoku.ac.jp/



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

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

人間の運動制御、環境適応学習メカニズムの研究

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

生体感覚信号、生体機能のモデリングと同定技術の開発

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

脊椎動物の冗長関節制御と生物運動学習に関する研究

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

ロボット技術のニューロリハビリテーションへの展開

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

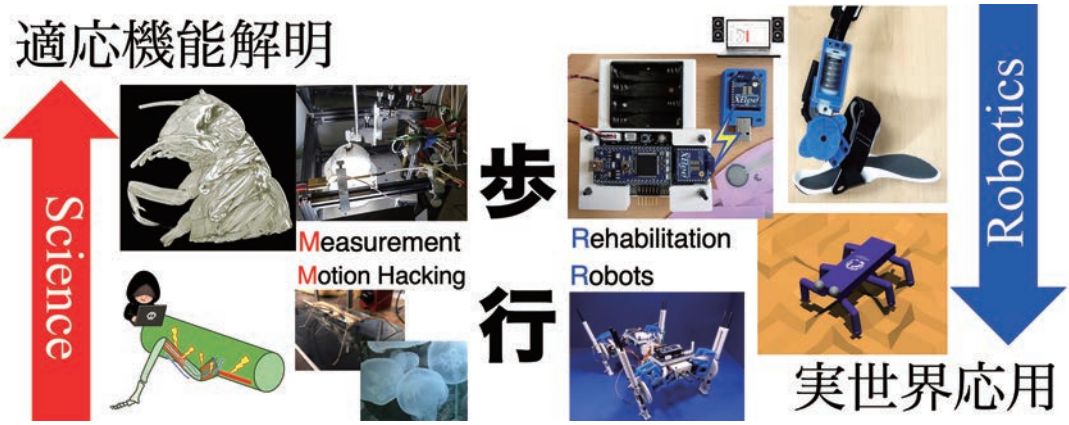
ロボティクスコース
ロボティクス専攻

大脇 研究室

准教授
大脇　大

ロボットシステム講座
ニューロロボティクス分野

http://neuro.mech.tohoku.ac.jp



生物が示す不測の事態への適応能力の解明と実世界応用

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

昆虫の歩行を計測する

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

脳内身体表現の変容をもたらすニューロリハビリテーション

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

動物の運動をハックする —Motion Hacking—

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

脚が故障しても歩きつづけるレジリアントな歩行ロボット

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

教　授
平田　泰久

助　教
翁　岳暄

助　教
サラザル　ホセ

特任准教授
ラワンカル　アンキット

特任助教
ベトリリ　アルベルト

特任助教
リョウ　シンウ

ロボティクスコース
ロボティクス専攻

平田·翁·サラザル 研究室

ロボットシステム講座
知能機械デザイン学分野

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

未来社会を創るAIロボティクス

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

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

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

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

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

リビングラボを通した産学官連携と次世代介護ロボットの提案

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

デジタルツイン技術と双腕ロボットを用いた次世代モノづくり革新

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

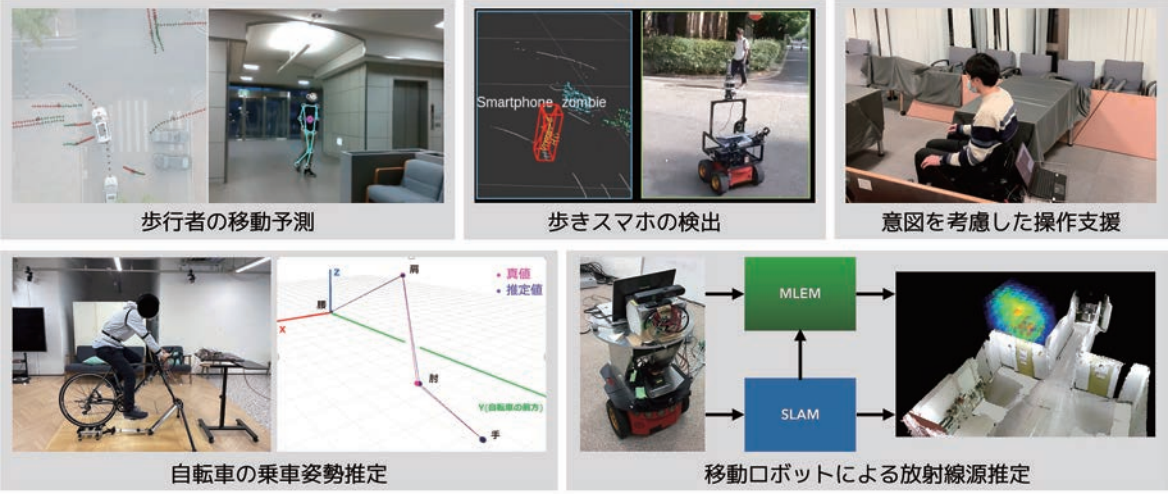
ロボティクスコース
ロボティクス専攻

田村 研究室

准教授
田村　雄介

ロボットシステム講座
知能機械デザイン学分野

https://tamlab.jp



歩行者の移動予測　歩きスマホの検出　意図を考慮した操作支援

自転車の乗車姿勢推定　移動ロボットによる放射線源推定

目に見えないものを扱うロボティクス

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

歩行者の移動予測

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

パーソナルモビリティの操作支援

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

運動スキルの解析と支援

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

ロボティクスと放射線計測の融合

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

ロボティクスコース
情報科学研究科システム情報科学専攻

教　授
岡谷　貴之

助　教
菅沼　雅徳

岡谷・菅沼 研究室

知能ロボティクス講座
イメージ解析学分野

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

深層学習が実現する人工知能とコンピュータビジョン

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

破損した画像を修復する画像復元

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

画像理解と自然言語（視覚言語融合）

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

深層学習モデルの判断根拠の可視化

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

質感の画像認識

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

ロボティクスコース
情報科学研究科応用情報科学専攻

田所・大野・多田隈・岡田・渡辺・小島・阿部・ベゼハ 研究室

応用情報技術論講座
人間ーロボット情報学分野

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

教　授
田所　諭

教　授
大野　和則

准教授
多田隈　建二郎

特任准教授
岡田　佳都

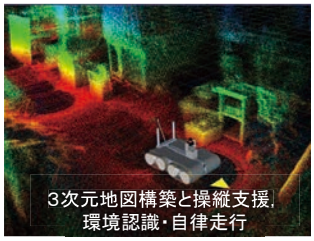
助　教
渡辺　将広

特任助教
小島　匠太郎

特任助教
阿部　一樹

特任助教
プルタコ・ベゼハ・ネト・ハヌフォ

レスキューロボット・サイバー救助犬


3次元地図構築と操縦支援、
環境認識・自律走行

次世代移動体システム

自走する能動スコープカメラ

飛行ロボットによる
インフラ点検

ロボット機構

レスキューロボット・サイバー救助犬の研究

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

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

次世代移動体・環境認識の研究

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

能動索状体のアクチュエーションの研究

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

社会インフラ・設備点検ロボットの研究

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

次世代ロボット機構の研究

球状全方向車輪 “Omni-Ball” を原点とした全方向駆動メカニズムをはじめ、極限機構の研究開発に体系的に取り組んでいる。研究開発においては、機構の原理アイディアの創出から、実機設計・試作といった一連の具現化の過程に関しても力を入れて活動している。また、ロボット機構の応用先として、災害地での移動ロボットベース・把持作業装置などを視野に入れて取り組んでいる。

ロボティクスコース
情報科学研究科応用情報科学専攻

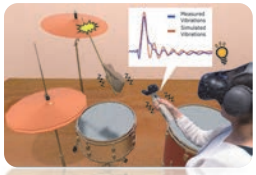
准教授
昆陽　雅司

昆陽 研究室

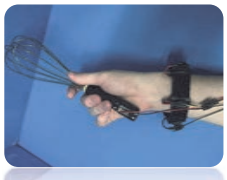
応用情報技術論講座
人間ーロボット情報学分野

http://www.rm.is.tohoku.ac.jp/

リアルな体感を与える振動フィードバック



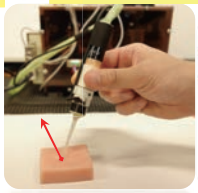
リモート触覚技術と触覚メディアの創生

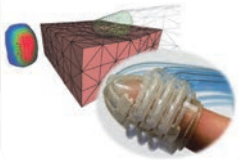


触覚を用いた極限ロボットの操作支援

バーチャルリアリティの体感共有

器用さを生み出す皮膚感覚機能の解明





ハプティクス:触覚機能の解明と革新技術をめざして

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

リアルな体感を伝える振動フィードバック:知覚特性の理解に基づく体感振動の信号処理

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

立体振動:臨場感・迫真性を伝える3次元振動定位技術

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

触覚の革新的リモート技術:体感振動の記録と再生技術と触覚メディアの創生

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

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

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

ロボティクスコース
ロボティクス専攻

村田・川又 研究室

教 授
村田 智

助 教
川又 生吹

特任助教
安部 桂太

ナノシステム講座
分子ロボティクス分野

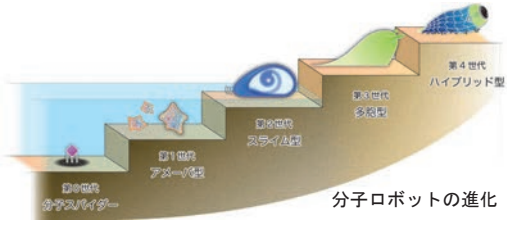
http://www.molbot.mech.tohoku.ac.jp/index.php

分子ロボティクス～新しいモノづくりのパラダイム

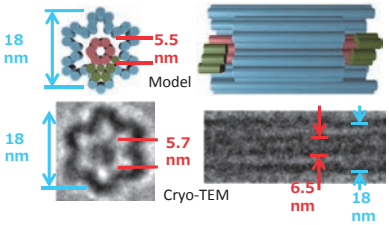
■生命原理をシステマチックに拡大したモノづくり
コンピュータで配列設計した生体高分子を合成し，セルフアセンブリ（自己集合）によりシステムを構築する．

■コンパクトかつエコなモノづくり
DNAなどの高分子合成機（マザーマシン）により，あらゆるパーツ・システムを創り出すことが可能である．

■超情報集約型のモノづくり
分子配列から応用システムまでの各階層を一気通貫に記述・設計する超複雑システム構築理論に挑戦する．

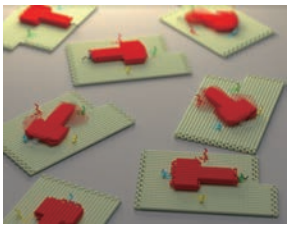


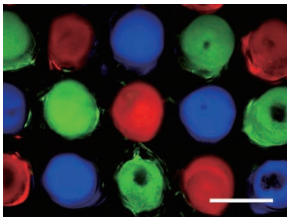
分子ロボットの進化



DNAオリガミ構造モジュール（スタック数制御）

酵素を使ったDNA分子計算回路（USG)の設計図


分子ステッピングモーター


離散ゲル反応空間

分子ロボティクスの創成を目指して

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

DNA ナノエンジニアリングとは?

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

DNAでつくるナノ構造

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

DNAコンピューティング

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

国際生体分子デザインコンペで大活躍!

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

ロボティクスコース
ロボティクス専攻

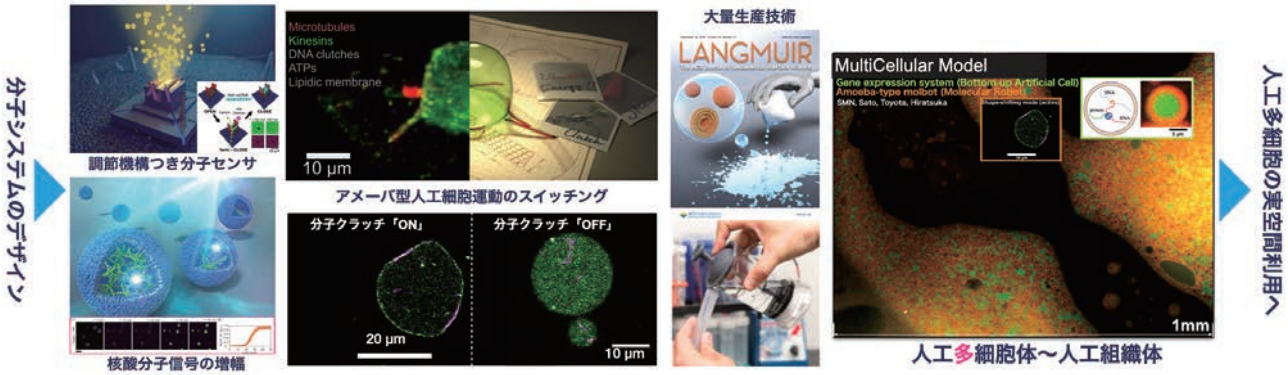
野村・松林 研究室

准教授
野村　慎一郎

助　教
松林　英明

ナノシステム講座
分子ロボティクス分野

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



人工細胞工学

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

設計通りに動く人工細胞

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

人工細胞の大量生産

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

オートマター：プログラマブルな自動物質群

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

天然の細胞と共に働く人工細胞

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

ロボティクスコース
ロボティクス専攻

田中（秀）研究室

教　授
田中　秀治

シニアリサーチフェロー
門田　道雄

講師（μSIC）
鈴木　裕輝夫

助　教
山田　駿介

助　教
Andrea Vergara

ナノシステム講座
スマートシステム集積学分野

http://www.mems.mech.tohoku.ac.jp/index.html

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

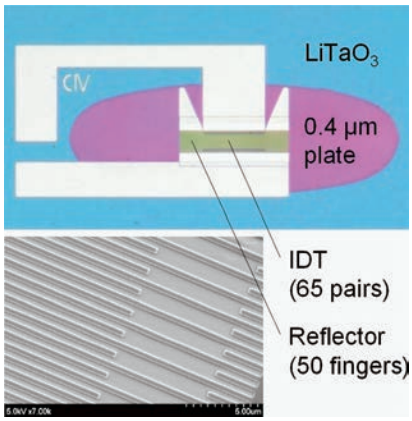


図2　5GHz 帯超高周波弾性波共振子：自己支持した 0.4μm 厚の単結晶 $LiTaO_3$ に板波を励振

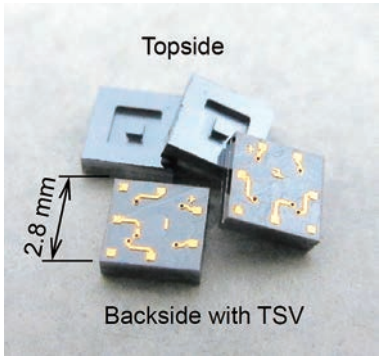


図3　MEMS-LSI 集積化プラットフォーム：TSV を形成した LSI と MEMS を金属接合し、気密封止

材料からシステムまで、MEMS･マイクロシステムの研究開発

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

フィジカル空間とサイバー空間とをつなぐマイクロデバイス

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

無線通信をつながりやすく、高速にするための周波数選択･制御デバイス

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

ヘテロ集積化技術とウェハーレベル･パッケージング技術

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

MEMSの共同研究開発パートナーをお探しの企業の皆様へ

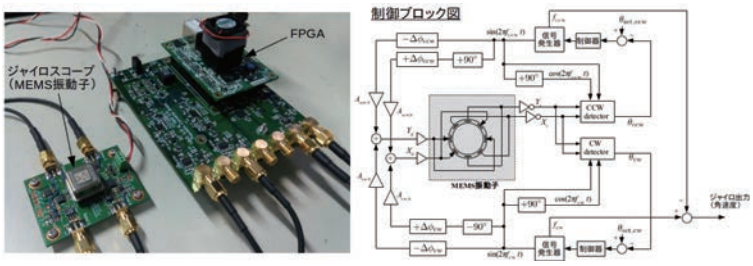
豊富な技術、ノウハウ、文献情報などに基づき、マイクロデバイスに関連する産業界の研究開発を積極的に支援します。当研究室とマイクロシステム融合研究開発センター（μSIC）が協力し、研究開発のステージに応じて、小片ウェハーでの原理実証から4～6インチウェハーでの試作まで様々な案件に対応します。技術コンサルティング、企業内プライベートセミナーなども承っています。

ロボティクスコース
ロボティクス専攻

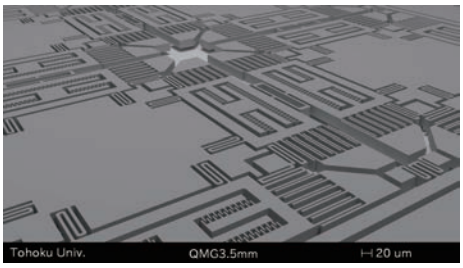
准教授
塚本　貴城

塚本 研究室

ナノシステム講座
スマートシステム集積学分野
http://www.mems.mech.tohoku.ac.jp/



高性能ジャイロシステムと、制御用の機能ブロック図



MEMS ジャイロスコープ用の高性能振動子

暮らしを豊かにするための、マイクロマシン技術を使った高性能センサの研究

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

ロボットや自動運転にも使用可能な、小型･高性能ジャイロスコープ

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

熱の流れを制御したり、赤外線を可視化するためのマイクロ熱デバイス

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

大きな発生力と精密な変位制御が可能な、MEMSアクチュエータの開発

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

多自由度振動子の高精度制御とセンサ応用

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

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

ロボティクスコース
情報科学研究科システム情報科学専攻

橋本・千葉・楊 研究室

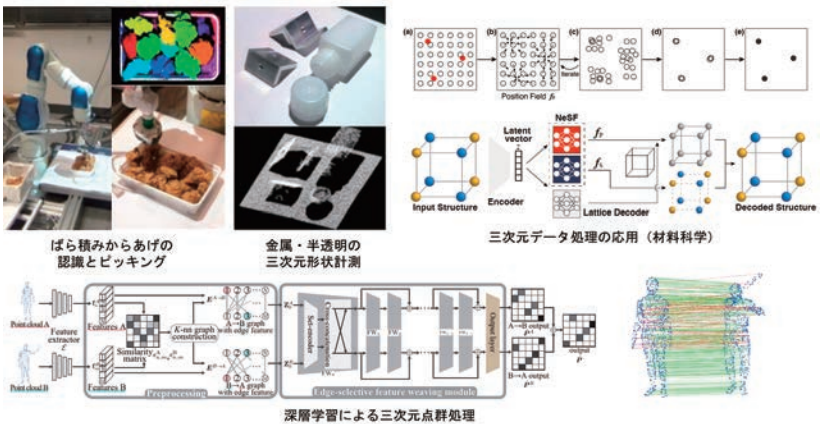
教 授
橋本 浩一

助 教
千葉 直也

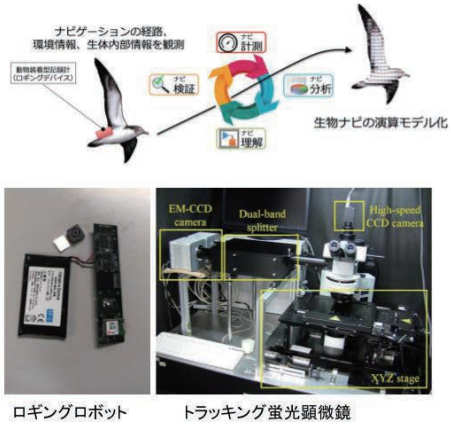
特任助教
楊 海川

知能ロボティクス学講座
知能制御システム学分野

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



三次元ロボットビジョン・触覚センシングとロボットマニピュレーション



生物の移動原理の解明

人工知能で切り開くロボットビジョンとマニピュレーション

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

三次元センシング×三次元データ処理＝三次元ロボットビジョン

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

人工知能によるロボットマニピュレーション

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

深層学習を用いた三次元データ認識・理解

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

生物の移動原理の解明

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

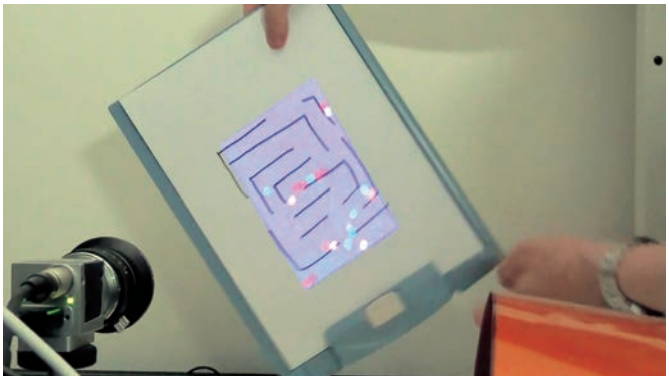
ロボティクスコース
情報科学研究科システム情報科学専攻

鏡 研究室

准教授
鏡　慎吾

知能ロボティクス学講座
知能制御システム学分野

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



紙面の模様と動きを通じてインタラクション可能なプロジェクションマッピング

ディープラーニングによるギター演奏の自動認識

高速ビジョンシステムとその応用

従来のビジョンシステムを大幅に上回るフレームレートで動作する高速リアルタイムビジョンシステムとその応用に関する研究を行っている。ビジョンシステムどうし、あるいはビジョンシステムとさまざまな機器が協調動作する仕組みの開発も進めており、その一貫として、画像パターンを毎秒数百～数千フレームで投影・撮像できる高速プロジェクタ・カメラシステムの開発を行っている。高フレームレートでの３次元形状計測や、新しい映像提示インタフェースへの応用が可能である。また、高速ビジョンシステムにより運動体の動きを素早く検知することができることを利用した新しいユーザインタフェースの研究を進めている。

高フレームレート画像計測の研究

運動する対象の計測全般において高フレームレートビジョンは強力なツールとなる。非接触センシングという画像計測の特長に加え、通常のビデオレート計測ではとらえきれない高速な動きをとらえ、それをリアルタイムに活用することができる。さらに、高速プロジェクタと組み合わせた高速３次元計測や、他のセンサ情報との融合による同物体検出・同定技術の開発に取り組んでいる。

高速プロジェクタの開発

ビデオプロジェクタとビジョンシステムを組み合わせることで、さまざまな映像表現や計測応用が可能となる。高速ビジョンシステムと組み合わせて用いることを目的として、毎秒数千フレームでの投影が可能な高速プロジェクタの開発を行っている。映像の供給とその幾何学的変換を分離して実行するアプローチにより、ホスト PC に負荷をかけずに高速投影を実現できる。

高速視覚情報に基づくユーザインタフェース

身の回りのあらゆる表面をディスプレイに変化させるプロジェクション型の情報提示技術が、オフィス、家庭、生産現場などにおける作業・活動支援手段として注目されている。実環境中の物体やユーザの素早い動きに適応する遅延のない映像制御や、そのような動きに基づく動的なコンピュータ・ヒューマン・インタラクションを実現するための研究開発を行っている。

ロボットビジョン技術の実応用

産業応用やスポーツ応用など、現実の問題へのロボットビジョン技術の適用にチャレンジしている。特に、ワイヤハーネスやシート状素材のような柔軟物体の計測・ハンドリングや、高速回転するゴルフボールのマーカー貼り付けに頼らない運動計測など、難易度の高い対象の自動認識、位置決め、追跡等のための技術開発に取り組んでいる。

ロボティクスコース
ロボティクス専攻

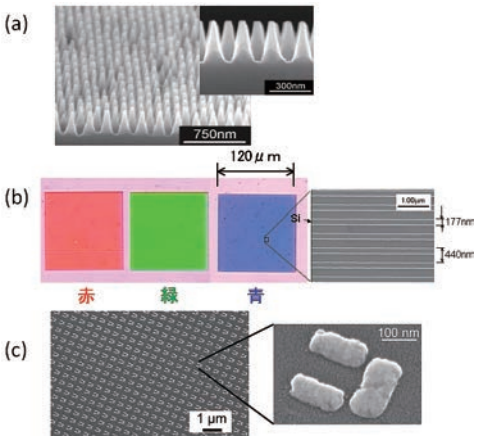
金森・岡谷 研究室

教　授
金森　義明

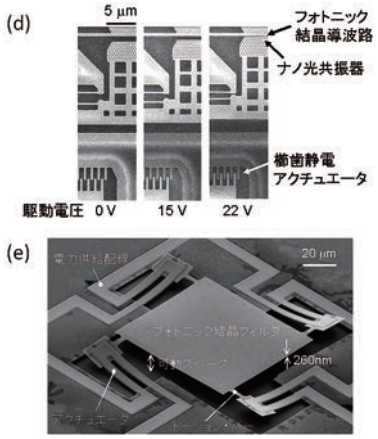
助　教
岡谷　泰佑

特任助教
Ying Huang

ナノシステム講座
情報ナノシステム学分野
https://web.tohoku.ac.jp/kanamori/index.html



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



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

光操作技術の新展開:メタマテリアル・生物模倣ナノ光学素子と微小機械の融合

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

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

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

「メタマテリアル:電磁波の自在制御を目指して」

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

「微小機械による光の動的制御 ～可動フォトニック結晶・可動メタマテリアル～」

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

「シリコン表面の新しいナノ加工・平滑化技術の開発」

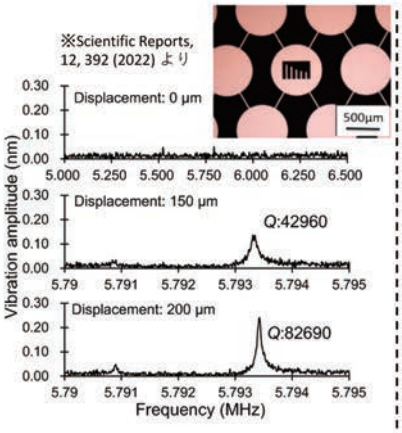
ドライエッチングされたシリコンの加工面は荒れており、デバイスの特性劣化や光学損失の原因となります。高温水素雰囲気中におけるシリコン表面原子の自己拡散による構造変形を超精密制御するナノ加工技術を開発しました。超低損失なナノ・マイクロ光デバイスや機械強度の優れたシリコン微小機械部品を実現します。基板表面だけでなく立体構造への超平滑化処理が可能です。

ロボティクスコース
ロボティクス専攻

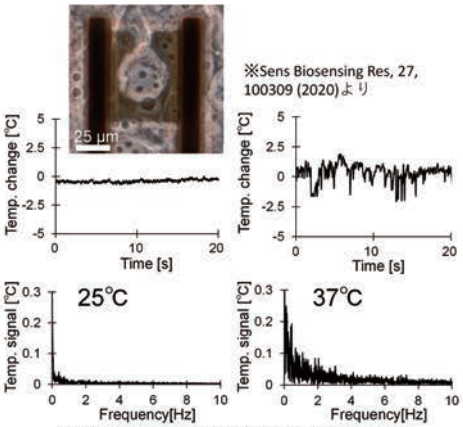
猪股 研究室

准教授
猪股　直生

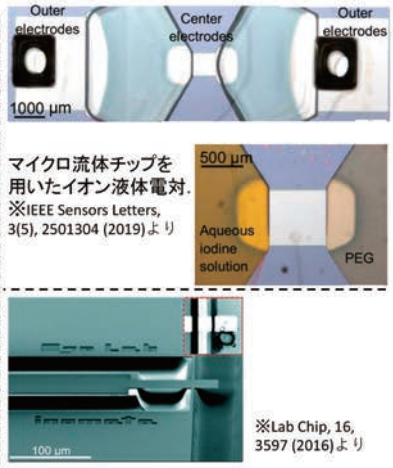
ナノシステム講座
情報ナノシステム学分野
https://web.tohoku.ac.jp/kanamori/



シリコン(Si)の周期性微小構造による
フォノニックデバイス



マイクロ温度センサによる細胞温度信号計測
左上) 時間信号(25℃), 左下) 周波数信号(25℃), 右上) 時間信号(37℃), 右下) 周波数信号(37℃), 上中央) マイクロセンサ上の細胞



両持ち梁Si振動子による高温度分解能デバイス

「観れなかったことを測れるように」～超高感度温度計測の先にあるもの～

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

フォノニックデバイスを用いた機械振動子のQ値制御

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

単一細胞の温度信号計測技術

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

高温度･時間分解能温度計測システム

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

イオン液体を用いた液体型熱電対

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

航空宇宙

Aerospace Engineering

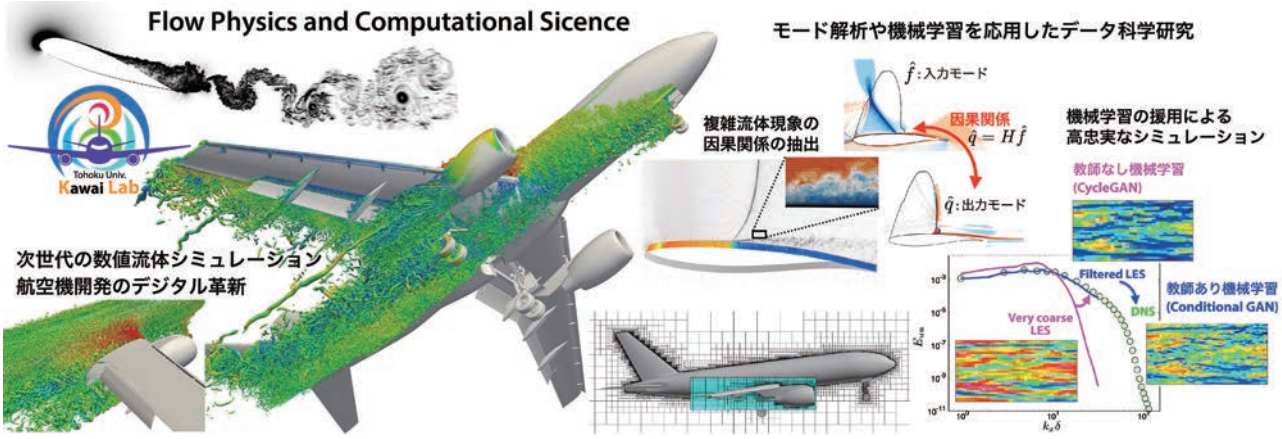
航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

教　授
河合　宗司

助　教
淺田　啓幸

河合・淺田 研究室

航空システム講座
空力設計学分野
https://www.klab.mech.tohoku.ac.jp/index_jpn.html



河合研究室における航空機開発にデジタルな革新を起こす次世代の高忠実・数値流体シミュレーション研究

航空機開発にデジタル革新を起こす次世代の高忠実・数値流体シミュレーション研究

本研究室では、現状の航空機開発における航空機実機フライト試験への依存度を激減させ、航空機開発にデジタルイノベーションを起こすことを目指して、複雑な流体・空力現象を予測評価可能とする次世代の高忠実・数値流体シミュレーション研究を行っています。研究対象は、航空機に関わる流体・空力現象のみならず、様々な流体力学現象（特に圧縮性流体力学現象）や計算物理学、データ科学に関わる幅広い研究分野を興味の対象とし、質と独創性で世界で勝負できるアカデミックな研究を目指しています。また学術・基礎研究を基盤とした応用研究では、高忠実・数値流体シミュレーション技術とスーパーコンピュータ「富岳」を用いて、世界初となる航空機全機周り・実フライト条件での空力現象予測評価の実現を先導的に実証していく研究を進めています。

様々な流体力学現象の解明
ー高忠実な数値流体シミュレーション研究ー

航空機やロケット開発で重要となる様々な流体力学現象の高忠実な数値流体シミュレーションを実現するには、未だ挑戦的な課題が数多く残っています。本研究室では、その根幹となる高忠実な数値計算手法の開発に取り組むことで、これまで解析が難しかった衝撃波と乱流の相互干渉現象や気体・液体が混ざり合う混層流体現象、さらには乱流燃焼現象などを明らかにする研究を進めています。

実機スケールの高忠実シミュレーション
ー高レイノルズ数流れの乱流モデリング研究ー

航空機やロケット、ロケットエンジン内などの流れは高レイノルズ数条件の乱流状態にあり、高レイノルズ数乱流現象の高忠実な予測評価は重要な研究課題です。本研究室では、高レイノルズ数流れを高忠実な数値流体シミュレーションで解析可能とする乱流モデリングの研究を進めており、NASA CFD Vision2030でも取り上げられるなど、世界的に高く評価されています。

計算科学の新しい展開
ーモード解析や機械学習を応用したデータ科学研究ー

次世代の高忠実数値シミュレーションで得られる超大規模複雑流体データから、どのようにしてキーとなる流体現象を解明し、その因果関係を抽出するか、さらにはどのように流体現象の低次元化や物理モデルの構築を図るかは喫緊の課題です。本研究室では、モード分解解析やレゾルベント解析などのモード解析法や機械学習を応用し、本課題を解決に導く計算科学の新しい展開を試みています。

航空機開発のデジタル革新
ー航空機全機周りの高忠実シミュレーション研究ー

現状の航空機開発では、試験機製造後の実機フライト試験でないと評価できずにいる設計上の重要空力課題があるため、設計変更が生じるリスクが常に存在しています。本研究室では、航空機実機複雑形状・高レイノルズ数流れに適用可能な高忠実・数値流体シミュレーションで実機フライト試験を置き換え、航空機開発に次世代のデジタルイノベーションを起こすことを目指しています。

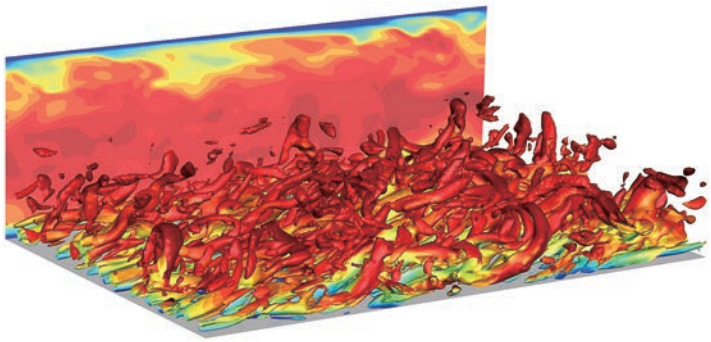
航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

久谷 研究室

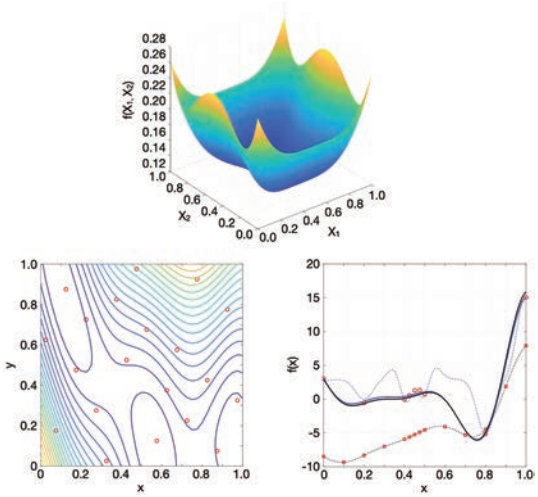
准教授
久谷　雄一

航空システム講座
空力設計学分野

http://www.klab.mech.tohoku.ac.jp/index_jpn.html



チャネル乱流の高精度流体シミュレーション



代替モデリング（surrogate modeling）

流体システム設計のための数値流体シミュレーションと設計最適化手法

当研究室では、航空機やガスタービンなどの流体システム（流体機械）のさらなる高効率化や全く新しい設計を生み出すため、数値流体シミュレーション手法と設計最適化手法に関する研究に取り組んでいます。流体機械設計現場で広く使用されている数値流体シミュレーション手法はここ十数年の間ほとんど変わっておらず、大きな変革が必要とされています。また学術界では数多くの設計最適化手法が提案されていますが、実際にそれらの手法が設計現場で用いられる機会はそれほど多くはありません。そこで当研究室では、今までは主に学術界でのみ用いられてきた高精度数値流体シミュレーション手法の産業利用を見据えた高効率化や、設計者が容易に用いられるシンプルかつ柔軟な設計最適化手法の構築、量子コンピュータの数値流体シミュレーションや設計最適化への応用などに取り組んでいます。

複雑形状周りの高精度流体シミュレーションを可能にする数値計算手法の構築

高精度な流体解析を行うのは流体物理の支配方程式に出来るだけ忠実に数値計算を実施する必要があります。一方で、一般的に複雑形状周りの流体解析に広く用いられている計算手法には数値安定化のための人工的な粘性が過剰に加えられています。そこで当研究室では人工的な粘性の付加なく安定に計算が行える数値計算手法を提案し、様々な実問題への応用を目指しています。

代替モデリングによる流体システム最適設計の高効率化

設計で最適解を得る作業は、中身がわからないブラックボックスに対して最適な出力値を出してくれる入力値を探索するようなものです。代替モデリングはこのブラックボックスを近似的に得る最適化手法の一つです。当研究室では、特に「高信頼度の計算解」と「低信頼度の計算解」を組み合わせることで効率良く最適解を見つける代替モデリングに関する研究に取り組んでいます。

量子アニーリングコンピュータを用いた数値流体シミュレーション･形状最適化

近年、量子アニーリング計算に関する研究および開発は情報科学の分野で非常に盛んに行われています。一方で、量子アニーリング計算の流体分野への応用は皆無と言って良い状態です。そこで当研究室ではこの全く新しい技術の流体分野への応用に取り組み、革新的な数値流体シミュレーション手法や形状最適化手法の構築を目指しています。

レイノルズ平均（RANS）モデルの高精度化

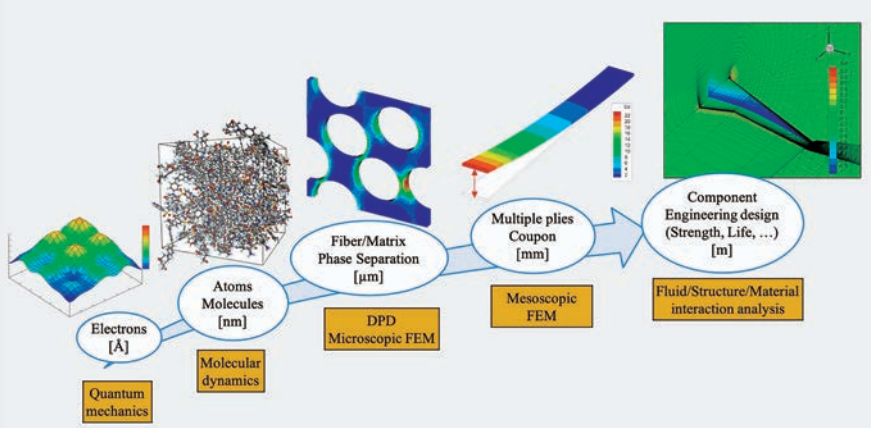
RANS モデルは予測精度と計算時間のバランスの観点から、産業界において流体システム設計に広く用いられている数値流体シミュレーション手法の一つです。一般的に産業界で用いられている RANS モデルは１方程式もしくは２方程式モデルですが、当研究室では非等方な乱流場のモデリングに適しかつ安定性にも優れた新たな７方程式モデルに関する研究を進めています。

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

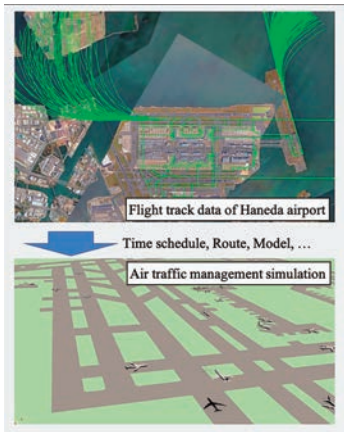
教 授 岡部 朋永
助 教 川越 吉晃
助 教 南雲 佳子
助 教 龍薗 一樹

岡部·川越·南雲·龍薗 研究室

航空システム講座
材料・構造スマートシステム学分野
http://www.plum.mech.tohoku.ac.jp/toppage.html



先進複合材料航空機のマルチスケールモデリング



羽田空港の航空交通流シミュレーション

先進複合材料を対象とした数値シミュレーション

繊維強化プラスチックは従来の金属材料に比べ、軽量かつ高強度という優れた特性を有しています。このため、航空機や自動車等の輸送機器の構造部材として用いれば、燃費改善や CO_2 排出量の削減につながります。2012年には、構造材料の大部分に繊維強化プラスチックを用いた Boeing787 が就航するなど、応用分野は着実に広がってきています。しかしながら、繊維強化プラスチックは製造工程や材料構造が複雑であり、解決するべき問題が多く存在しています。本研究室では数値シミュレーションを用いて、繊維強化プラスチックの特性解明および性能向上のための研究を行なっています。具体的な取り組みとしては、FEM による損傷解析、分子シミュレーションによる樹脂特性解析、炭素繊維強化プラスチック製主翼の最適構造設計等であり、扱うスケールおよび力学は多岐にわたります。

流体·構造·材料の連成解析による炭素繊維強化プラスチック製主翼の最適構造設計

近年、炭素繊維強化プラスチックを航空機構造部材へ適用する動きが進んでいます。しかし、現在の設計ではその性能を生かしきれていません。そこで、不確定要素となる因子を流体・構造・材料の連成解析により明らかにし、それらを設計変数に組み込んだ遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化を行うことで、より最適な構造設計を目指しています。

炭素繊維強化プラスチック積層板の初期損傷におけるマルチスケールモデリング

炭素繊維強化プラスチック積層板では、自由端層間で特異なひずみ場が生じ、初期き裂に繋がることが知られています。初期き裂が生じる際の負荷ひずみは重要な設計基準の一つであるため、精度のよい初期損傷予測が必要とされています。そこで、巨視解析によりひずみ場を予測し、微視解析により損傷進展を予測するというマルチスケール解析により、精度の良い初期損傷予測を目指しています。

複合材料製航空機部材の計算機援用仮想試験へ向けた数値解析手法開発

近年、複合材料製航空機部材における型式証明のコスト低減を目的として、型式証明試験の一部を数値解析で代替する計算機援用仮想試験が注目されています。そこで、本研究室では、複合材料製航空機部材の製造·加工段階から運用段階までの、非常時も含めた様々な状況下での損傷許容性、エネルギー吸収特性について、有限要素法や粒子法を用いた高精度な評価手法の開発を目指しています。

羽田空港の空港面航空交通流シミュレータの開発と航空機運用の最適化

世界の航空交通量は向こう20年で2.5倍に増加すると予想されており、効率的な航空機運用が求められています。特に空港周辺では離着陸とその間の空港面（誘導路や駐機場）の運用を最適化する必要があります。本研究室では羽田空港を対象とし、空港面の航空交通流をセルオートマトンシミュレーションにより再現し、交通流の解析および最適化の研究を行なっています。

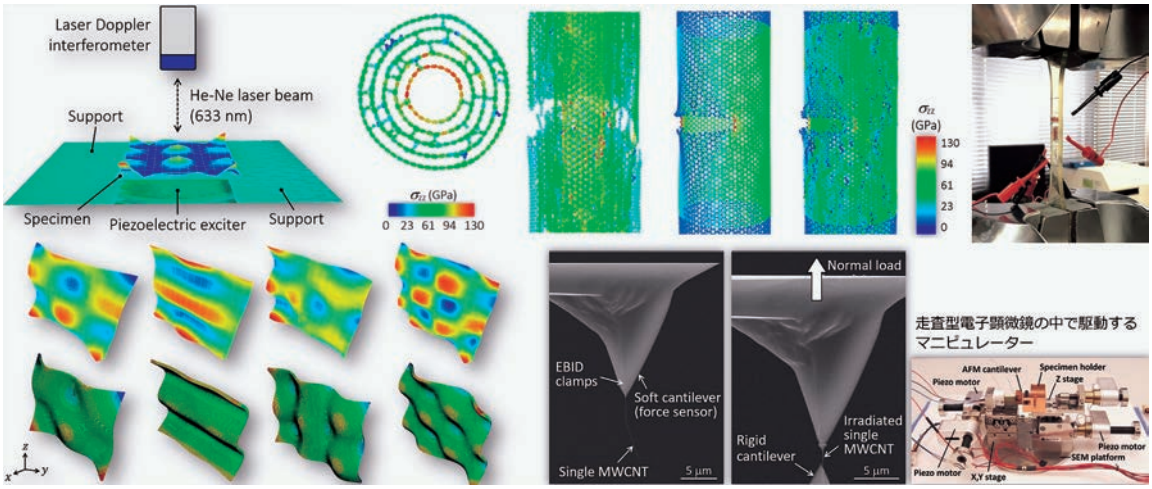
航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

山本 研究室

准教授
山本　剛

航空システム講座
材料・構造スマートシステム学分野

http://www.yamamotolab.mech.tohoku.ac.jp/



先端複合材料の実験･計算マイクロメカニクス

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を機体・車体部材に使用することで飛躍的な軽量化に成功した航空機や自動車の登場は、CO_2排出削減に大きく貢献しています。一方で、CFRP に代表される繊維強化複合材料は力学特性の異なる材料から構成される不均質材料であることから、その力学的取扱いは極めて複雑です。したがって、低炭素社会の構築ならびに安心・安全な社会構築に貢献する信頼性の高い複合材料を開発するためには、その損傷機構や変形挙動の解明に加えて予測手法の確立を行い、設計・保守に役立てる必要があります。本研究室は、CFRP やカーボンナノチューブ複合材料に代表される先端複合材料を対象として、実験と数値計算の両アプローチから機能発現機構や損層挙動を解明・制御する研究を推進することで現在の人類が有する知のフロンティアを押し広げることを目指しています。

共鳴振動現象を利用した異方性弾性定数の測定

3D プリント法により作製した3次元立体構造の CFRP を対象として、「1度の実験で全ての弾性定数を同定する」ことができる計測手法の開発を行っています。力学的異方性に起因して従来の機械的試験法では困難なこの課題に対して、固体材料の共鳴振動現象と遺伝的アルゴリズムに支援された有限要素解析を組み合わせた超音波共鳴法を用いることで精度の高い計測手法を構築しています。

機械学習支援分子動力学シミュレーションを用いた多層カーボンナノチューブ紡績糸の最適構造設計

分子動力学シミュレーションに支援された実験研究にて、多層 CNT の早期破断を誘起する構造欠陥端部での応力集中を緩和させることができる層間架橋構造を備えた多層 CNT の作製を行っています。ミクロスケール多層 CNT 紡績糸の力学特性との法則性を見出すことを橋渡しにして、マクロスケール多層 CNT 紡績糸プラスチック複合材料の創製につながる材料設計指針の確立を行っています。

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の引張強度予測

炭素繊維強化プラスチックのさらなる力学的特性の向上を目指して、CFRP の損傷・破断を誘起する繊維表面の応力集中の程度をマトリクス樹脂の物性に着目して緩和をさせる研究を行っています。指針に基づき選定したマトリクス樹脂を用いたマルチファイバ複合材料による実験・数値解析に基づく引張強度予測に加えて CFRP 試作体を作製することで強度特性向上の検証まで行っています。

脆性薄膜のき裂進展解析 ～高分子フィルムに形成したDLC薄膜の破壊特性評価～

高分子フィルムに脆性薄膜を蒸着した複合フィルムは電子デバイスやガスバリア材として利用されています。これらの複合フィルムでは構成要素の破断ひずみや熱膨張係数の違いにより薄膜の割れや界面剥離が生じ機能低下を誘起することが課題となっています。本研究では、実験と計算の両アプローチにより脆性薄膜に生じるき裂発生機構の解明と高い耐久性を有する材料開発まで行っています。

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

准教授
野々村　拓

特任助教
永田　貴之

特任助教
佐々木　康雄

野々村･永田･佐々木 研究室

航空システム講座
実験空気力学分野
http://www.aero.mech.tohoku.ac.jp

風洞実験とデータ駆動科学を利用した流体現象の計測･モデリング･制御

当研究室では、地球にやさしい航空機から惑星探査のための航空機まで様々な用途の次世代航空機を実現するための研究に取り組んでいます。特に「風洞実験」という手段を用いた実験空気力学とデータ駆動科学を利用した飛行に係わる流体現象の「計測」･「モデリング」･「制御」を行うことで航空機･輸送機の高度化を目指します。

データ駆動科学を利用することを実験デザインまで遡って考え、両者をインテグレーションすることでこれまでできなかった計測･制御を実現し、世界トップクラスの研究を行います。このような最先端の技術を従来の実験･計測に積極的に取り入れる研究者とエンジニアを育成します

先進計測を利用した流体場の低次元化と観測器の構築

流体場の最適制御制御を行うためには、時々刻々の流れ場の状態観測が必要になります。本研究では流体場を数十程度の少ない量で表現する低次元化を行い、最適化されたスパースなセンサを利用することで時々刻々の状態観測を実現します。リアルタイム計測のできる粗点粒子画像流速計測法や自動車に当たる風の角度を推定する最適なセンサ位置決定方法を提案しています。

超音速流れの時空間超解像計測

超音速旅客機周りの流れは超音速流れとなり、通常の速度などを面で計測する面計測手法では計測機器の制約で時間方向に解像することができません。「時間解像度は低いが空間解像度は高い」面計測と「空間解像度は低いが時間解像度は高い」点計測を組み合わせることで、時空間に解像度の高い結果を推定する方法を提案しており、200kHz での非定常流体変動を広範囲に再構成しています。

プラズマアクチュエータを用いた次世代流体制御

誘電体バリア放電を用いたプラズマアクチュエータはその簡単な機構と応答性の速さなどから注目が集まっています。本研究室では、プラズマアクチュエータを用いて剥離制御を中心に流体制御による流体機器の性能向上を狙っています。上述の観測器、低次元モデルとを組み合わせた流体のフィードバック制御に挑んでいます。

ユニークな気流条件での流体力学

本研究室では、火星での飛行条件を模擬できる火星大気風洞を用いた低レイノルズ数･高マッハ数流れの実験計測や磁力支持天秤を用いた機械支持なしの理想的な風洞実験計測を行っています。火星大気風洞を用いた研究では、NASA との共同研究を通じて次期火星探査ヘリコプターのブレードの性能評価、磁力支持天秤を用いた研究では種々の鈍頭物体の流れ場の解明を行ってきています。

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

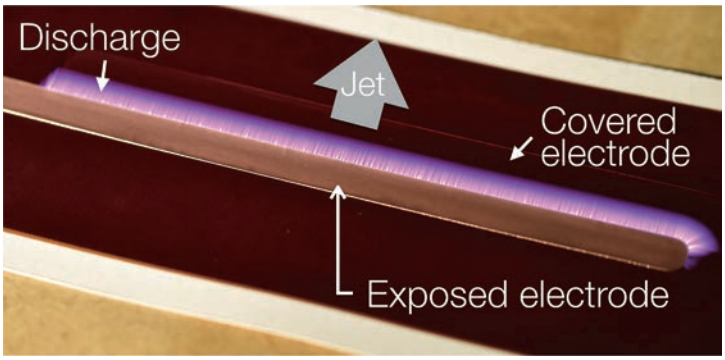
大西・佐藤（慎）研究室

教　授
大西　直文

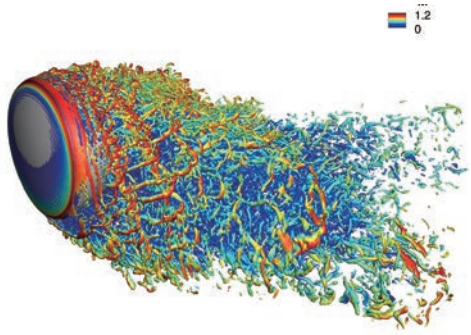
准教授
Fedorynenko, Dmytro

助　教
佐藤　慎太郎

宇宙システム講座
推進工学分野
http://www.rhd.mech.tohoku.ac.jp/



プラズマアクチュエータの放電実験



大気圏再突入カプセルの数値シミュレーション

高温気体力学の物理と応用

極超音速流と呼ばれる高速な流れはしばしば熱化学的に非平衡な高温気体を伴うため、高速気流を利用する推進技術や流れ制御技術には非平衡高温気体の理解が不可欠である。また、一般に高速気流は局所的に短時間の集中したエネルギー付与、あるいは解放によって形成され、かつ多くの場合は電磁相互作用が活発となるため、数値シミュレーションによる研究が重要となってくる。当研究室では、様々な高温気体の数値モデルを構築し、数値シミュレーションから得られる知見によって新たな航空宇宙推進技術、流れ制御技術を提案している。また、電磁相互作用を伴う流れ場は多自由度の複雑な系となるため、そのような系が生み出す高エネルギー密度現象自体を研究対象とし、その特性を生かした応用技術を模索している。

プラズマによる流れ場の制御

プラズマを利用した流れ場制御技術として、誘電体バリア放電を用いたプラズマアクチュエータによる流れ場の制御について数値的および実験的研究を行っている。電極配置や入力電圧波形に応じた放電特性を数値計算で予測し、その知見をもとに、誘電体を薄くし、多段に並べることで低電圧動作可能なことを実証した。電極を物体表面へ微細加工することで、より柔軟な流れ制御を目指している。

極超音速飛行体周りの高温衝撃層の予測

大気圏に再突入する宇宙機や、スクラムジェットエンジンを搭載した極超音速飛行体では、機体周りに形成される衝撃層が高温となり、いわゆる熱化学非平衡状態となる。当研究室では、機体表面における正確な空力加熱予測を目指し、実験との比較を通した熱化学非平衡モデルの精緻化を試みている。また、やはり空力加熱増加の要因となる、境界層の乱流遷移過程についても調査している。

超音速流れ場の基礎的物理解明

当研究室では、超音速流に関連した様々な現象における基礎的物理の解明に取り組んでおり、重力崩壊型超新星爆発や鈍頭物体周りにおける衝撃波の不安定性、大気圏突入機体における表面触媒性再結合反応、超高圧状態を伴う固体中の衝撃波伝搬等に関して、三次元流体計算や分子動力学計算の先進的な数値計算手法を取り入れることで、これまで解析の難しかった問題に挑戦している。

輻射流体力学の解析手法の開発と応用

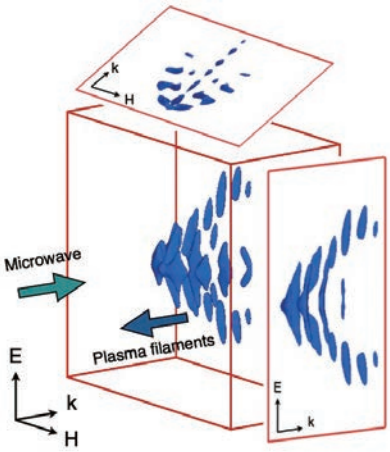
高温気体やプラズマを伴う流れ場においては、原子・分子の状態遷移過程に伴う輻射の放出・吸収や、高温流体中の輻射輸送過程が流れ場を左右する、いわゆる輻射流体力学的挙動を示す。このような流れ場の精緻な解析のために、現実的なモデルを取り入れた新しい解析手法を開発している。また、開発した手法を用いて、プラズマを利用した短波長光源等の応用技術についての研究も行っている。

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

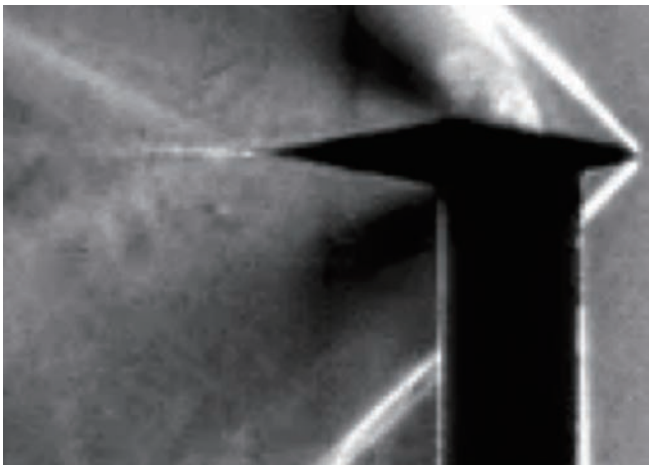
准教授
高橋　聖幸

高橋 研究室

宇宙システム講座
推進工学分野
http://www.rhd.mech.tohoku.ac.jp/



マイクロ波放電における電離構造



超音速翼周りのシュリーレン写真

電離高速流を用いた航空宇宙技術の創成

宇宙へのアクセスを容易にする、宇宙ミッションや地球上での飛行を高速化する。それらを達成する為、当研究室では電離高速流を用いた新たな航空宇宙技術の創成を目指している。空気や気体燃料にエネルギーを付与して電離させ、電離気体の磁場や電場に応答するという性質を利用して高速流を作り出す事で、従来では考えられなかったロケット打ち上げ技術、宇宙推進技術、超音速飛行技術の構築が可能となる。電離流体場を記述する支配方程式を数値的に解く事でその特異な振る舞いを予測し、航空宇宙デバイスに対する応用可能性を調査して技術提案を行う。そして実際に実験系を構築して実証実験を実施し、提案技術の確立を目指す。

マイクロ波ロケットによる打ち上げ

地球と宇宙を結ぶロケットを燃料を搭載せずに打ち上げる。夢のような宇宙輸送システムがマイクロ波ロケットによって実現される。当研究室ではマイクロ波ロケットノズル内部で生じる放電及び衝撃波伝搬現象を数値シミュレーションによって再現し、その推力獲得原理や推力特性を調査している。更に獲得推力改善を目指し、外部磁場印加型や管内加速型マイクロ波ロケットを提案している。

無電極進行磁場推進

深宇宙探査等の長期宇宙ミッションを達成する為には、長寿命な新型プラズマスラスターの開発が必要不可欠である。当研究室では、進行磁場による荷電粒子加速を利用した新しい無電極プラズマスラスターに注目し、スラスタ内部での荷電粒子挙動を数値シミュレーションを用いて調査している。また磁化プラズマ不安定性を利用した推力増強技術の研究も行なっている。

磁気セイルによる宇宙航行システム

宇宙ミッションを迅速化する為には、高比推力及び高推力の推進システム構築が必要となる。磁場による帆で太陽風を捉えて燃料消費を抑えつつ推力を獲得する磁気セイルシステムは、高比推力及び高推力の両者を達成し得る。当研究室では、磁気セイルの更なる高推力化を目指して多数のセイルによる編隊飛行を提唱し、数値シミュレーションを用いてその有用性を検証している。

繰り返しレーザーパルスによる超音速流制御

超音速旅客機を実現する為には、超音速翼の空力性能を改善する必要がある。当研究室では、繰り返しパルスレーザーを使用した革新的超音速飛行デバイスを開発している。圧縮性流体シミュレーションによりレーザー誘起衝撃波と翼周りの超音速流体場との相互作用を調査し、空力性能が改善可能かを調査している。更に実証実験を実施し、空力性能改善技術の確立を目指している。

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

吉田・レネ 研究室

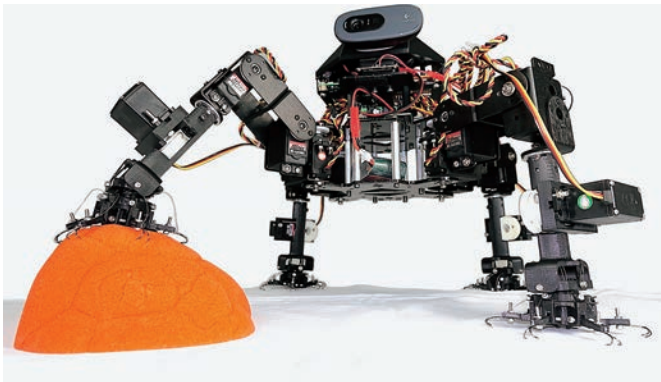
教 授
吉田 和哉

助 教
Laine, Mickael

宇宙システム講座
宇宙探査工学分野

http://www.astro.mech.tohoku.ac.jp/

月面探査ローバー「Moonraker-PFM」



崖登り探査のための脚型ロボットモデル

宇宙ロボット・惑星探査ロボット・小型衛星の研究開発

本研究室では、軌道上の宇宙ロボットや月・惑星を移動探査するロボットのダイナミクスと制御の研究を行っています。宇宙環境で動作するロボットの力学を解明し、新しい機構や制御法を開発しています。「おりひめ・ひこぼし」「はやぶさ」「はやぶさ2」など、宇宙航空研究開発機構を中心に進められているわが国の宇宙開発ミッションにも深く関わっています。また、大学主導型の小型衛星の開発にも取り組み、多くの実績・成果を挙げています。さらに現在、これまで培ってきた宇宙開発の技術を生かし、民間初の月探査ローバーの研究開発を進めています。

民間による初の月面探査ローバーの開発を進めています!

本研究室は、わが国が誇る小惑星探査機「はやぶさ」と、その後継機「はやぶさ2」の開発に貢献してきました。また、これまで培ってきた知識と経験、技術を踏襲し、次代の月惑星探査ミッションとして、民間による初の月面探査プロジェクト GLXP に日本で唯一参加しています。数年以内に月面に降り立ち探査を行うことを目指して、移動探査ロボットのフライトモデルの開発を進めています。

私たちが開発した小型科学観測衛星「雷神2」が、地球周回軌道を飛んでいます!

国家プロジェクトとして推進されるこれまでの大型衛星開発に対して、小型衛星は大学中心のプロジェクトとして低コスト・短期間で開発可能という利点があり、先進的なミッションを行うことができます。本研究室では、これまで50kg 級衛星「雷神」「雷神2」「ディワタ1」、および3kg 級衛星「雷鼓」を開発し、軌道上実証するなどの成果を挙げてきました。さらに次の衛星へと挑戦を続けています。

宇宙ゴミの除去に向けた軌道上サービスロボット技術の研究開発に取り組んでいます!

宇宙環境保全を目的として、地球周回軌道上に散在する宇宙ゴミの捕獲・回収を担う軌道上サービスロボットの力学と制御を研究しています。特に、安全かつ確実な作業達成に向けて、回転浮遊する宇宙ゴミに対する接触を介した相対運動制御に取り組んでいます。本研究室では、空気浮上システムを用いた模擬微小重力実験と動力学解析を通じて、実践的な研究開発を進めています。

月・惑星・小天体上での未踏峰探査を実現する移動探査技術を研究しています!

月や火星など、軟弱な不整地を走行する車輪型の移動探査ロボットの走行力学と運動制御を研究しています。地盤との複雑な相互力学、および先進的なセンシング技術を基盤とし、未知不整地に適応したシステム開発を目指しています。また、微小重力な小天体上や、月・惑星上の丘陵地、崖、縦孔内などの未踏峰領域へのアクセスを実現する革新的移動技術の研究開発にも取り組んでいます。

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

准教授
桒原　聡文

桒原 研究室

宇宙システム講座
宇宙探査工学分野

http://www.astro.mech.tohoku.ac.jp/
http://web.tohoku.ac.jp/astro/sat/index.html

超小型衛星「DIWATA-1」の
国際宇宙ステーションからの放出の様子

超小型人工衛星開発評価環境

超小型人工衛星のシステム及び先端要素技術の研究開発

本研究室では超小型宇宙システムのダイナミクスと制御、及び将来利用ための先端要素技術の研究を行っています。超小型人工衛星を用いた全球規模での環境計測・地球観測に必要となる衛星の軌道決定技術、姿勢決定・制御技術の研究開発を行っています。本研究室は、これまでに「RISING-2」「DIWATA-1」「DIWATA-2」「RISESAT」「MicroDragon」「ALE-1」などの50kg 級超小型人工衛星の研究開発と運用において多くの実績を挙げています。また、近年では宇宙航空研究開発機構が実施する「革新的衛星技術実証プログラム」において次期超小型衛星技術の宇宙実証を目指し、超小型人工衛星を用いた高空間分解能スペクトル撮像技術の構築と、農林水産業と防災・減災への応用に関して研究開発を進めています。

超小型人工衛星技術の宇宙実証を行っています!

本研究室は、これまでに「RISING-2」「DIWATA-1」「RISESAT」など複数の50kg 級超小型人工衛星の研究開発と運用を通し、多くの先端技術の宇宙実証の実績を挙げています。これらの衛星の運用は独自の管制局を用いており、研究室のメンバで協力して実施しています。今後も最先端の技術実証を継続的に実施していきます。

総合的なシミュレーション技術で超小型人工衛星のダイナミクスを解明します!

人工衛星のダイナミクスと制御の研究のために、地上での開発評価環境の構築を進めています。ハードウェア・イン・ザ・ループ・シミュレーション環境で搭載電算装置の姿勢制御性能やロバスト性の評価を実施すると共に、3軸の回転自由度を有する空気浮上式ボールベアリングを用いたモーションテーブルに衛星機器を搭載し、実際のダイナミクスを解析します。

超小型宇宙システムの実利用化のための先端要素技術の研究開発

産学連携の共同研究として先端要素技術の研究開発に多数取り組んでいます。高精度姿勢決定センサ、膜展開式軌道離脱装置、高精度姿勢・軌道制御技術、超小型月・惑星探査機技術などが挙げられ、国際宇宙ステーションや協力機関の人工衛星等で宇宙実証を行っています。また、国外の機関との協力体制による超小型人工衛星技術の研究開発、及び人材育成活動にも取り組んでいます。

超小型人工衛星が切り拓く明るい未来の社会

超小型人工衛星は短期・低コスト開発が可能であり、極めて広い分野への適用可能性を秘めています。特に軌道上に複数の衛星を群的に配置することで高頻度観測・通信を実現できます。大型宇宙システムとの協調運用により、将来の人類の生活水準の向上に大いに貢献できる重要な技術です。社会に役立つ超小型人工衛星技術を構築すること、それが本研究室の目標です。

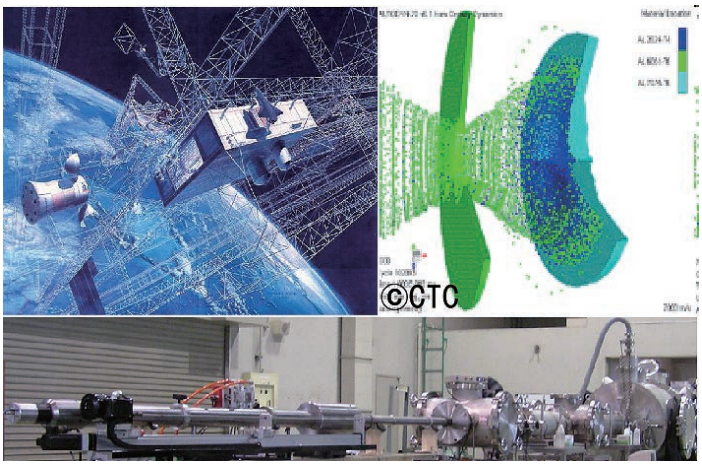
航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

槙原 研究室

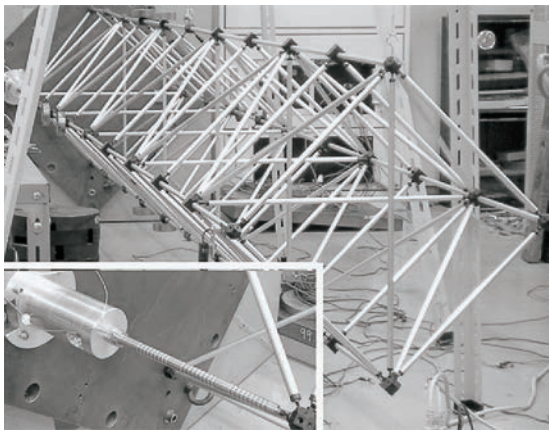
教 授
槙原　幹十朗

宇宙システム講座
宇宙構造物工学分野

http://web.tohoku.ac.jp/makihara/www-j/index-j.htm



左上：宇宙構造の振動制御、右上：スペースデブリ解析、下：JAXA のデブリ実験装置



宇宙ステーションの一部を模擬したトラス構造物実験（スマート部材組込み）

宇宙構造物の振動･音響･衝撃制御、およびその高度実現化に関する研究

宇宙ステーション・月面基地・人工衛星などを含む宇宙構造物を対象にした振動制御・音響透過低減・衝撃制御に取り組んでいます。宇宙空間では、豊富な電力供給を望むことが出来ません。その為に宇宙空間では、自家発電を行いながら振動を効果的に抑制するセルフパワード（自家発電）型振動抑制装置は欠かせません。振動制御の駆動に必要なエネルギーを自分で発生させます。自家発電の余剰電力は他の機器の駆動に用いる事も可能です。当研究室では、次世代宇宙ステーションの構成部材であるトラス構造物に着目しています。研究実験室にトラス構造物を設置し、実証実験を行っています。（研究例：セルフパワード型振動制御装置の研究開発、大型トラス構造物を用いた実証実験、ロケット打ち上げ時の人工衛星の衝撃緩和、ロケットフェアリングの音響透過低減機構）

スマート構造を用いたエネルギー回収機構

月面では夜が14日も続くので、電力を太陽発電だけに依存できません。恒常的にエネルギが不足する宇宙空間では、振動源からエネルギーを回収することは急務の課題です。宇宙利用に限らず、航空機、自動車をはじめ、供給電線を付けられない移動体全般に使える技術を目指しています。（研究例：スマート構造を用いたエネルギーハーベスティング、自律系デジタルエネルギー回収装置の開発）

スペースデブリの宇宙構造物への衝突対策

宇宙構造では、スペースデブリや隕石との衝突は大きな課題です。JAXA などと協力しながら高速衝突対処方法の確立を目指しています。デブリ除去手法として導電性テザーシステムが考案されており、除去システムの構造構成の研究も行っています。（研究例： 宇宙ステーションのスペースデブリ衝突防護、電磁誘導テザーのダイナミクス解析とデブリ衝突解析）

宇宙構造の損傷検知を実現するシステム同定

長期運用される航空宇宙機は損傷劣化を伴います。運用中の損傷検出技術が重要です。構造物の動的特性の変化は損傷検出に利用できます。入出力データから動的特性を取得する技術はシステム同定と呼ばれます。外乱やアクチュエータの制御力を入力として取り扱い、励起された振動を出力として動的特性を同定します。宇宙空間で少ないセンサーデータを用いて高度なシステム同定を達成します。

火星月面基地テンセグリティ構造

火星月面基地や大型宇宙構造物を実現するには革新的な軽量構造が必要です。当研究室では建築や芸術分野で注目が集まる「テンセグリティ」の宇宙利用に向けた研究を進めています。テンセグリティは棒と紐から成ります。棒のみから成る従来構造とは一線を画した軽量性を実現できるだけでなく、収納と展開も容易です。テンセグリティの構造特性の解明に向けて解析と実験に取り組んでいます。

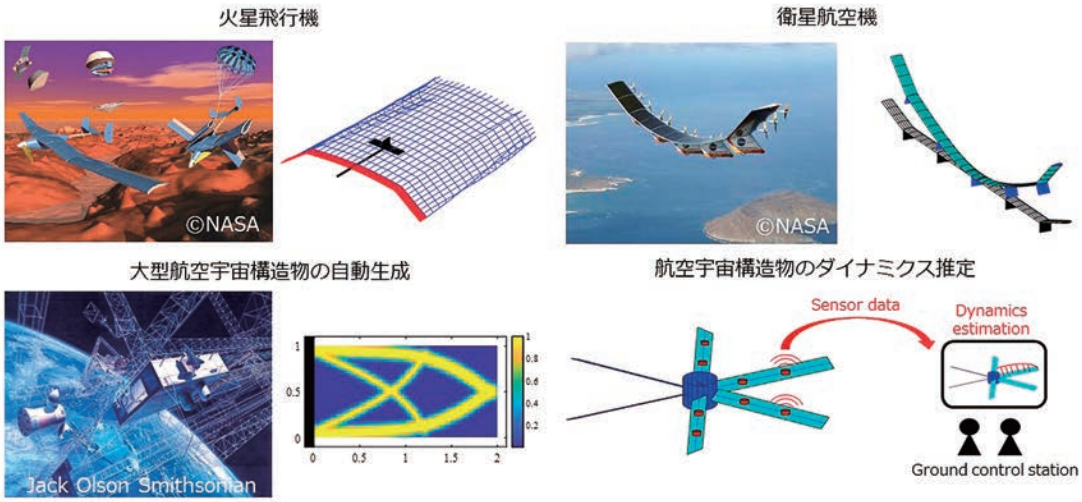
航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

准教授
大塚　啓介

大塚 研究室

宇宙構造物工学分野

http://web.tohoku.ac.jp/makihara/www-j/index-j.htm



大型航空宇宙構造物のダイナミクス　―革新構造の設計解析と自動生成から運用まで―

大型宇宙構造・火星飛行機・衛星航空機といった次世代構造物に対するダイナミクス（動的挙動）の解明、および自動生成から運用に関わる革新的な構造技術の創出に取り組んでいます。長期運用される大型航空宇宙構造物の実現には、構造のダイナミクスに対する深い理解に加えて、狙い通りのダイナミクスを生み出す構造の自動生成技術、構造運用中のダイナミクス監視技術が欠かせません。当研究室では物理法則と機械学習に基づくシミュレーション技術に風洞やダイナミクスセンシング可能な各種実験装置を用いて研究を進めています。これらの技術は航空宇宙分野のみならず、自動車・鉄道・風車・プラント・インフラといった多種多様な構造にも応用可能です。

火星飛行機のダイナミクス解明
―マルチボディダイナミクス―

火星飛行機や大型宇宙構造は複数の部材から成るマルチボディシステムと呼ばれます。ロケットで宇宙空間に運ぶことができる重量は限られるため、部材の変形を限界まで許容した軽量化が望まれています。この結果、次世代宇宙構造物には地球上の構造物とは異なるダイナミクスが発現します。当研究室ではこのダイナミクス解明に向けたシミュレーション手法の構築と実験を行っています。

衛星航空機のダイナミクスシミュレーション
―空力弾性―

１年間着陸せずに飛行し続けることで空の基地局となる衛星航空機の実現が期待されています。衛星航空機は非常に細長い翼を有するため、従来の航空機にはありえないような大変形が発生し、フライトダイナミクスに大きな影響を与えます。当研究室では、機械力学・材料力学・流体力学を連成させた新たなフライトシミュレーション手法を構築し、風洞実験による実証を行っています。

大型航空宇宙構造物の自動生成
―トポロジー最適化―

現在の航空宇宙機は過去の設計に基づいた決まった形から脱却できていません。これでは大勢の人が居住できる大きな宇宙構造や１年以上も飛行を継続できる革新航空機を生み出すことはできません。そこで当研究室では人では思いつかないような革新構造を自動算出する構造最適化技術を構築しています。自動算出の過程に製造制約を導入し、実際に作れる大型構造の自動生成を目指しています。

航空宇宙構造物のダイナミクス推定
―構造ヘルスモニタリング―

人間の身体と同じように長期に渡って運用される軽量航空宇宙構造物は作用する外力やそれによって引き起こされる変形をモニタリングして、その健全性を把握することが求められています。当研究室では物理法則に基づくアプローチと機械学習に基づくアプローチを駆使して、限られたセンサデータから未知外力や形状を推定する構造ヘルスモニタリング技術の構築を目指しています。

航空宇宙コース
情報科学研究科情報基礎科学専攻

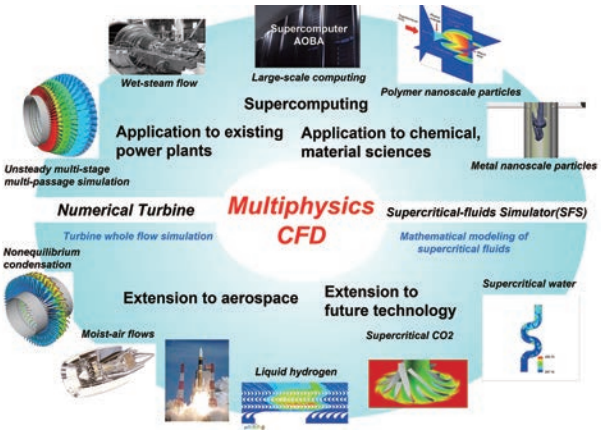
山本（悟）・宮澤 研究室

教　授
山本　悟

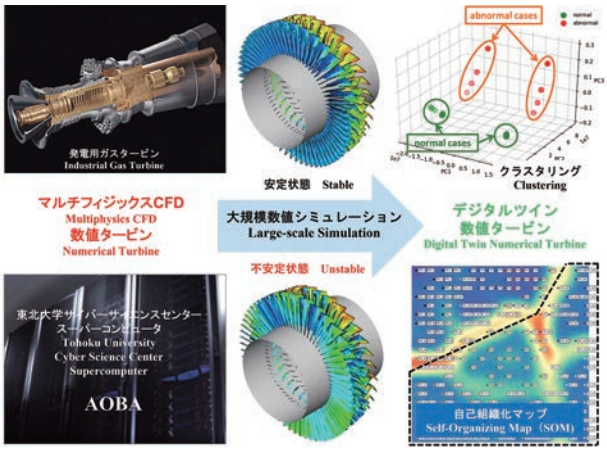
助　教
宮澤　弘法

情報応用数理講座
計算数理科学分野

https://www.caero.mech.tohoku.ac.jp/



マルチフィジックス CFD プラットフォーム「数値タービン」と「SFS」の研究展開



デジタルツインプラットフォーム「デジタルツイン数値タービン」の概要

マルチフィジックスCFDで脱炭素デジタル社会に貢献

我々の研究室では、水や空気の流れのみならず、様々な付随的物理化学現象を伴うマルチフィジックス熱流動、特に、凝縮や蒸発などの相変化を伴う気液二相流れ、特異な物性を示す超臨界流体、などの数理モデルを構築してスーパーコンピュータにより数値計算するマルチフィジックス CFD を研究しています。具体的には、ガスタービンの湿り空気流れ、蒸気タービンの湿り蒸気流れ、超臨界水熱合成、超臨界二酸化炭素急速膨張法、超臨界二酸化炭素発電、超臨界オクタン再生冷却などの工学問題を解明するため、民間企業、大学、研究機関などと連携した共同研究を推進しています。さらに、マルチフィジックス CFD に AI 技術を応用した新たな研究領域も開拓しています。これら研究成果により高性能、高効率、高寿命なものづくりを実現して、脱炭素デジタル社会に貢献していきます。

数値タービンのスーパーコンピューティング

現在我が国では、ガスタービンと蒸気タービンを併用したコンバインドサイクル発電により電力需要の大部分が支えられています。当研究室では、タービンをまるごとスーパーコンピュータで大規模数値計算することができるマルチフィジックス CFD プラットフォーム「数値タービン」を研究開発しており、高性能でかつ高信頼な次世代タービンを開発して電力の安定供給に寄与します。

超臨界流体シミュレータ（SFS）

超臨界熱流動を数値計算するためのマルフィジックス CFD プラットフォーム「超臨界流体シミュレータ（SFS）」を古澤准教授とともに研究開発しています。SFS は、水、二酸化炭素、炭化水素など様々な物質の、気体・液体・超臨界流体の状態にある低速から高速の熱流動を大規模数値計算することができる独自の技術です。これら物質の超臨界流体熱流動解明に応用しています。

航空機エンジン湿り空気流れの大規模シミュレーション

航空機エンジンに流入する湿りを伴う空気がエンジンの性能にどのような影響を与えるのかを解明するために、ガスタービン圧縮機翼列全周を通る湿り空気流れを数値タービンとスーパーコンピュータを用いて大規模数値計算しています。さらに脱炭素社会の省エネ型エンジンとして注目されている境界層注入型（BLI）エンジンの湿り空気流れの解明にも応用しています。

デジタルツイン数値タービン

脱炭素デジタル社会の実現に向けて提唱された Society 5.0の核心技術がデジタルツインです。実現象をコンピュータ上に仮想的に実現するデジタルの双子を創成します。数値タービンをさらに高速化して並列実行できるようにしたことで、「デジタルツイン数値タービン」をスパコン上で実現することに成功しました。得られたビックデータは機械学習により自己組織化されます。

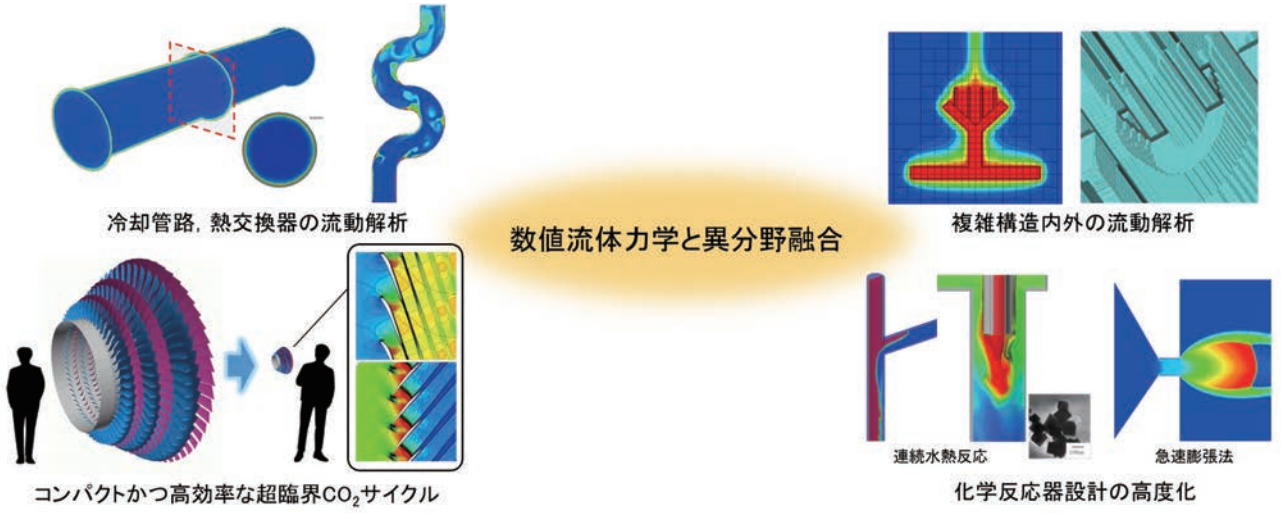
航空宇宙コース
情報科学研究科情報基礎科学専攻

准教授
古澤　卓

古澤 研究室

情報応用数理講座
計算数理科学分野

http://www.caero.mech.tohoku.ac.jp



数値流体力学（CFD）と異分野融合による特異条件下の流動現象解明

本研究室では数値流体力学（CFD）と異分野を融合させることで様々な条件下における熱流動現象の解明を目指しています。山本研究室と共同で開発している「超臨界流体シミュレータ」と「数値タービン」をベースとして、化学反応モデル、微粒子生成モデル、非平衡凝縮モデルなどを組み合わせることで熱交換器、冷却管、化学反応器、圧縮機、ガスタービン、蒸気タービンにおける複雑な熱流動と物理現象を明らかにしています。また、高圧条件下における物理現象を再現するために数理モデルの再構築を行い、これまでよりも正確な数値シミュレーションを達成しています。次世代高効率発電サイクルやグリーンケミストリー実現によるサステナブルな社会への貢献を目標として数値シミュレーションの高度化および異分野との連携を行っています。

航空宇宙機エンジン用冷却管路内のマルチフィジックス流動

航空宇宙機用として炭化水素燃料を用いた再生冷却エンジンの研究が近年進められています。このエンジンの冷却管路中では炭化水素が液体から超臨界になり、さらに高温になることで化学反応が起こることが知られています。それらのすべての現象をシミュレーションできる手法の確立を進めています。

次世代高効率発電サイクルに向けた超臨界流動の解明

高効率な次世代発電技術として超臨界二酸化炭素を作動流体として用いたサイクルが提案されています。これらは高圧条件下で作動するために数値シミュレーション技術が欠かせません。実在気体モデルおよび非平衡凝縮モデルを導入することで臨界点近傍で作動する遠心圧縮機内部の超臨界二酸化炭素流動の解明を行っています。

化学工学との融合による流路設計の高度化

急速膨張法や連続水熱合成法などの化学反応器では超臨界から気体、液体に急激に変化させることで製薬や機能性材料用の微粒子を生成させます。反応器内部流動が粒子生成に大きく影響するために流路設計が重要となります。数値シミュレーション手法によってこれらの設計の高度化をしています。

超臨界条件下における数理モデルの構築と実用化

超臨界流体流動や化学反応、微粒子生成、非平衡凝縮などの物理現象の解明には正確な数理モデルの構築が欠かせません。特に臨界点近傍などの高圧条件下の熱物性値は理想気体とは大きく異なることが知られています。様々な物理現象をより正確に再現するために、実在気体の影響を考慮することで数理モデルの再構築を行っています。

航空宇宙コース
情報科学研究科情報基礎科学専攻

小林・小松 研究室

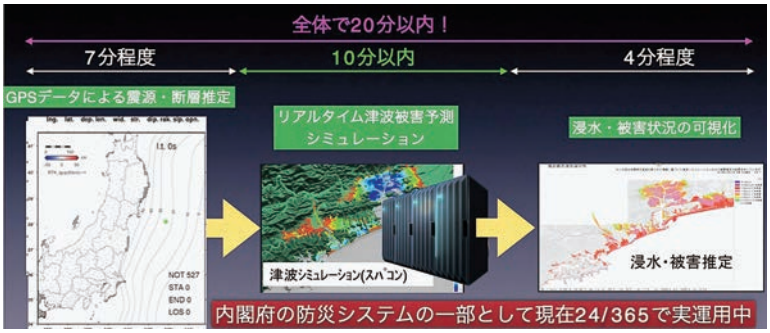
教　授
小林　広明

特任准教授
小松　一彦

ソフトウェア科学講座
アーキテクチャ学分野

https://www.cal.is.tohoku.ac.jp/

量子アニーリングアシスト型次世代スーパコンピューティング基盤の研究開発



リアルタイム津波浸水被害推定システムの研究開発

次世代コンピューティングシステムとその性能を引き出すアプリケーションの研究開発

小林・小松研究室では佐藤（雅）研究室と連携して、高性能・低消費電力・高信頼な次世代コンピューティングシステムのためのハードウェア基本要素技術の確立と、その卓越した処理能力を最大限に引き出せる革新的なアプリケーションの設計・開発を中心に研究・教育を進めています。さらには、量子コンピューティングやAI（人工知能）などの新しい情報処理技術と従来型コンピューティングとの融合などポストムーア型コンピュータアーキテクチャの研究にも取り組んでいます。加えて、これらの新たなアーキテクチャ能力を最大限に活用したアプリケーションの研究開発やその社会実装、および性能を最大限に引き出すためのコード最適化技術に関する研究も行っています。

量子アニーリングアシスト型コンピューティングシステム

従来型計算では解くことが困難な組み合わせ問題等を効率的に解くことができる量子アニーリングが注目されています。この利点を活かして従来型計算と組み合わせる「量子アニーリングアシスト型次世代スーパーコンピューティングアーキテクチャ」の研究開発を推進しています。その応用例としてリアルタイム津波浸水被害予測・最適避難経路提示システムの開発と社会実装に取り組んでいます。

機械学習による高性能計算の高度化

コンピュータ自身が学習してデータ解析を可能とする機械学習が注目されています。そこで、シミュレーション結果と現実の比較からデータの意味を見いだし、現実世界へ活用するシステムの実現を目指しています。その応用例として、実運用の発電タービンとタービンシミュレータを連携させ、最適メンテナンス・障害回避を可能とするデジタルツインの研究開発と社会実装に取り組んでいます。

プロセッサの性能を最大限に引き出すコード最適化・チューニング

コンピュータの応用範囲が広がるにつれ、計算処理を担うプロセッサは多様化しています。本研究では、プロセッサの性能を最大限引き出すことで、アプリケーションの高速化を実現します。主な応用例として、総合型複合材料開発システムのシミュレーションコード群の高速化に取り組んでいます。

高性能・低消費電力なコンピュータアーキテクチャ

コンピュータではプロセッサとメモリが協調し、大規模データを高い効率で処理することが求められています。一方で、データ供給の要であるメモリの性能向上が頭打ちになり、プロセッサの性能を活用しきれないメモリウォール問題が顕在化しています。本研究では、電力あたりの性能を最大限にするために、ベクトル処理技術や階層型メモリシステム向け再構成技術の研究に取り組んでいます。

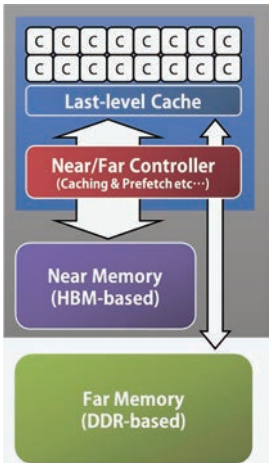
航空宇宙コース
情報科学研究科情報基礎科学専攻

佐藤 研究室

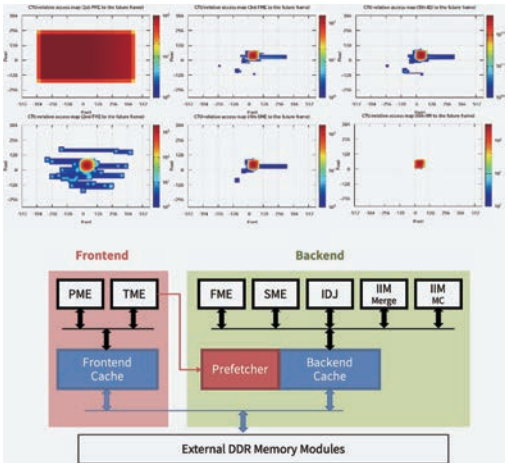
准教授
佐藤　雅之

ソフトウェア科学講座
アーキテクチャ学分野

https://www.cal.is.tohoku.ac.jp/



複合型メインメモリシステムの概念図



動画像圧縮処理のメモリアクセス解析と圧縮処理プロセッサアーキテクチャ

次世代マイクロプロセッサのための賢いメモリアーキテクチャへの挑戦

近年では半導体微細化限界によるマイクロプロセッサのピーク演算性能の向上鈍化が予測されており、メモリシステムのデータ供給能力の観点からマイクロプロセッサの実効的な演算性能を向上することが必要になりつつあります。また、メモリシステム性能が向上するにつれてその消費電力も増大するため、低消費電力化も重要になります。佐藤研究室は小林・小松研究室と一体運営し、階層型メモリシステムにおけるデータ管理方式の高度化や、今後発展が期待されるアプリケーションのメモリアクセス特徴に合わせたメモリ機構の設計などの取り組みを通じて、次世代のマイクロプロセッサにふさわしいメモリアーキテクチャの創出を目指しています。また、次世代のスーパーコンピュータに搭載されるマイクロプロセッサに向けた設計の検討にも取り組んでいます。

次世代マイクロプロセッサのための複合型メインメモリシステム

大容量かつ高速なメインメモリをバランス良く実現するためには、容量指向・速度指向等の異なる特徴を持つメモリモジュールを多数活用しつつ、単一システムとして大容量かつ高速なメモリを実現する複合型メインメモリが求められます。本研究では複合型メインメモリを構成した場合に、モジュール間でデータの配置を適切に管理するためのデータ管理方式の実現を目指しています。

動画像圧縮処理プロセッサ向けメモリアーキテクチャ

動画像圧縮処理では規格が進化することによりデータ圧縮効率を増加させています。一方、最新規格では処理に必要な演算量とそれに伴うメモリアクセス量が飛躍的に増大するため、処理にかかる時間や消費エネルギ等のコスト増加が問題となります。本研究では、動画像圧縮処理プロセッサのために、その処理に特化したデータ供給の能力・方式を備えるメモリシステムの実現を目指しています。

異種メモリ素子混載型キャッシュメモリ

キャッシュメモリはマイクロプロセッサの消費電力の大部分を占めており、その消費電力の削減が求められています。本研究では、異なる特徴を持つメモリ素子で構成されたメモリアレイを備えたキャッシュメモリを提案しています。また、アプリケーションデータの再利用特性に応じて適材適所で使い分けることにより、高性能かつ低消費電力なキャッシュメモリの実現を目指しています。

最新プロセッサのメモリアーキテクチャ評価

現在発売されている最新のマイクロプロセッサは、様々な設計制約を考慮することにより実現されています。本研究では、最新のマイクロプロセッサのメモリアクセス性能を評価することにより、その設計から得られるメモリアクセス性能の特徴を明らかにすることを目的としています。また、評価結果に基づき将来のメモリシステムに必要とされる要件を洗い出すことを目指しています。

航空宇宙コース
情報科学研究科情報基礎科学専攻

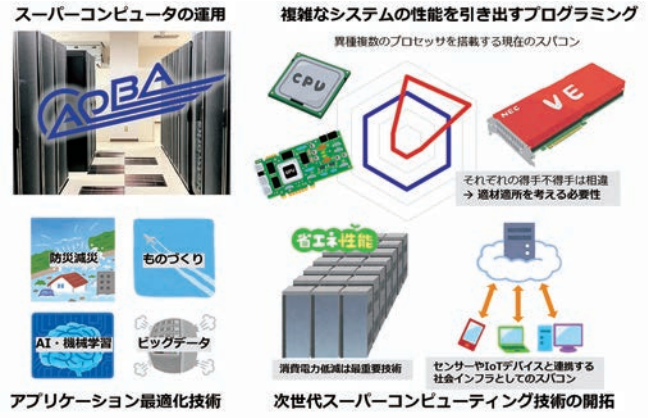
滝沢・髙橋（慧）研究室

高性能計算論講座

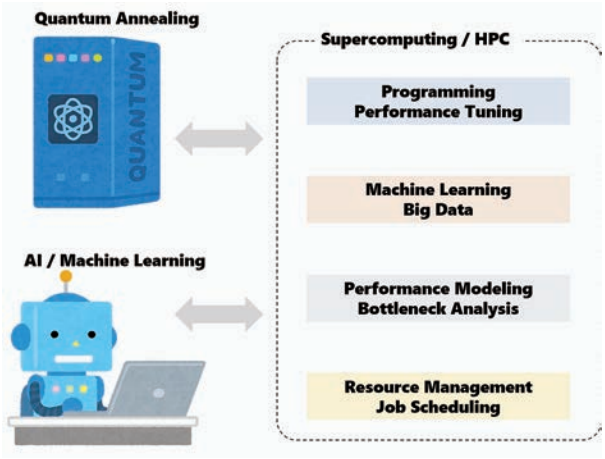
https://www.hpc.is.tohoku.ac.jp/

教　授
滝沢　寛之

助　教
髙橋　慧智



次世代スーパーコンピューティング技術の研究開発



量子コンピュータや機械学習とスーパーコンピューティング技術の相互連携

スーパーコンピュータを最大限に活用する基盤技術と革新的アプリケーションの開拓

当研究室は、東北大学サイバーサイエンスセンターで実運用されているスーパーコンピュータ（スパコン）とその課題を意識しながら、最先端科学技術のさらなる進展や革新的「ものづくり」に真に貢献できる次世代のスーパーコンピューティング技術の創出を目指しています。特に、スパコンの性能を最大限に活用するための基盤ソフトウェア技術や、スパコンの新しい利用方法の開拓を中心に研究を進めています。最近では、熟練のプログラマによる職人的なプログラミング作業を機械学習で置き換えて自動化する研究や、リアルタイム観測データと連動して臨機応変にスパコンを使うための研究をしています。さらには、ベクトルプロセッサや、量子コンピュータ、アプリケーションに合わせて再構成可能なハードウェア等を、スーパーコンピューティング分野で有効活用するための研究も行っています。

スパコンを中核とするサイバーフィジカルシステムの実現に向けて

センサー技術や IoT デバイスの発展により、大量のデータが時々刻々と生成されています。そのようなリアルタイム観測データと連動して臨機応変に運用できるスパコンの実現を目指し、普段は学術研究に使われているスパコンを、緊急時には防災減災をはじめとする別の目的でも迅速かつ確実に利用するための基盤ソフトウェア技術の開発と、それを応用した実システムの構築を行っています。

機械学習技術によるソフトウェア開発支援の可能性を探る

機械学習技術は近年急速に発展しています。ソフトウェア開発に求められるプログラミングや性能最適化など、従来では人間が担ってきた作業の一部を機械学習技術で代替することが試みられています。ハードウェアおよびソフトウェアのさらなる複雑化が予想される将来を見据え、深層学習や説明可能 AI 等の技術を応用し、人間と機械が協調するソフトウェア開発技術の実現を目指しています。

多様なプロセッサの適材適所での利用を可能にするプログラミング環境の実現

どのような処理でもそつなくこなす汎用プロセッサよりも、特定の処理のために設計された専用プロセッサの方が効率よくその処理を実行できるため、近年のスパコンには長所短所の異なる複数種類のプロセッサが搭載されるようになっています。ベクトルプロセッサ、GPU、量子アニーラや再構成可能デバイスなどの多様なプロセッサを適材適所で利用するための研究を行っています。

スパコンを実際にとことん使いこなしてその限界に挑む

他分野の研究者と協力して、スパコンの性能を最大限に引き出すようなアプリケーションを実際に開発することで、アプリケーション高速化技術やそれを支援する基盤ソフトウェア技術を研究開発しています。また、現在のスパコンの限界を明らかにすることで、将来のスパコンのあるべき姿や具備すべき機能と性能を議論し、その実現のために求められる要素技術を研究しています。

航空宇宙コース
流体科学研究所

大林・焼野 研究室

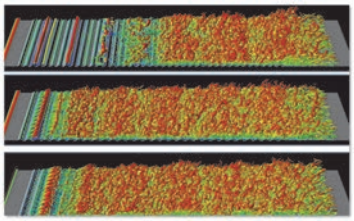
教 授
大林 茂

助 教
焼野 藍子

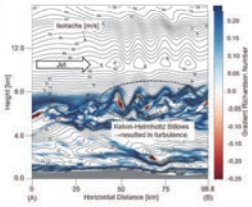
協力講座
航空宇宙流体工学分野

https://www.ifs.tohoku.ac.jp/edge/index.html

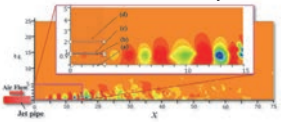
後退翼層流化を目指した前縁部受容性と粗さに関する研究
Attachment-line receptivity analysis and roughness effect for wing laminarization



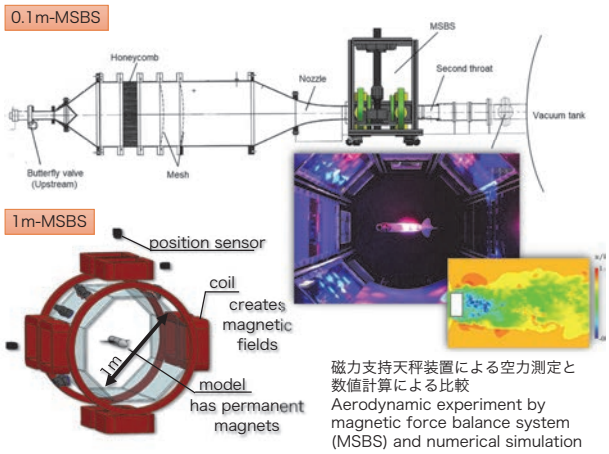
晴天乱気流による航空機揺動を高速かつ高精度に予測する技術の開発
Technology development to predict aircraft shaking due to 'clear-air turbulence' fast and with high accuracy



動的モードに着目した亜音速ジェットの騒音解析
Noise analysis of subsonic jets focusing on dynamic mode



様々な数値流体計算の例



磁力支持天秤装置による空力測定と数値計算による比較
Aerodynamic experiment by magnetic force balance system (MSBS) and numerical simulation

磁力支持天秤装置（MSBS）での空力測定実験

航空宇宙流体の先進的数値計算工学に関する研究

航空宇宙流体で問題となる乱流遷移や流れの剥離、後流渦干渉など、特に流体の非線形現象に関連する種々の未解決問題の解明と制御に挑戦、先進的な数値計算技術による工学的ブレークスルーをねらいます。研究室では従来、数値流体力学を軸に、データ科学に基づく風洞試験との組み合わせによる融合計算技術を提案、航空機の実機レベルで重要となる流体力学の諸問題の解決に取り組んで来ました。大規模並列化による高解像直接数値計算や、流体の線形安定性による乱流遷移、乱流秩序構造など、流体現象の詳細の理解に踏み込みつつ、最新のデータ科学技術を駆使した、航空宇宙流体工学のさらなる革新を目指しています。

航空旅客機後退翼での層流化技術開発

民間航空機が運航する際にエネルギーの損失となる抵抗のうち、約半分は空気の粘性による摩擦抵抗です。航空機の周りが乱流状態では摩擦抵抗が増大しますが、工夫により乱流遷移を遅らせ、層流を維持できれば抵抗を低減できるため、現在再び注目を集めています。大規模直接数値計算やデータ科学に基づく流体安定性解析を駆使して、優れた層流化技術の開発を目指しています。

データ同化を用いた流体計算の高速化・高精度化に関する研究

データ同化は、実験などによる観測値を、数値計算の初期条件や境界条件として考慮することで、計算コストを抑えつつ特定の有限時間における予測精度を向上させる技術です。私たちは、データ同化技術を工学設計への応用を目指しています。例えば、航空機の運行時に問題となる大気境界層での外乱の影響など、不確実性の高い現象を予測し制御や設計に活かすための研究を行っています。

微細表面粗さによる摩擦抵抗低減技術開発

航空機をはじめとする抵抗を低減するため、乱流遷移を遅延する層流化のほかにも、表面粗さの形状を工夫することで、乱流状態での摩擦抵抗低減のための研究を実施しています。これまで実験において、粘性低層以下の粗さにより効果があることが示されています。このような粗さは従来のリブレットよりも方向変化に鈍感で、より加工がしやすく有望ですが、実用化には更に解析が求められます。

磁力支持天秤装置による機械支持のない空力測定

飛行物体の空力特性を測定するために、模型の機械支持による影響を避けるため、磁気力によって模型を宙に浮かせ、さらに姿勢制御を行う磁力支持天秤装置（MSBS）の開発をしています。これまで、非定常運動、超音速飛行のため速応性の高いシステムの構築をしました。現在はそれらを利用して、低細長比円柱や、陸上競技のやり投げ用やりなど、実形状の空気力学的特性評価に取り組んでいます。

航空宇宙コース
流体科学研究所

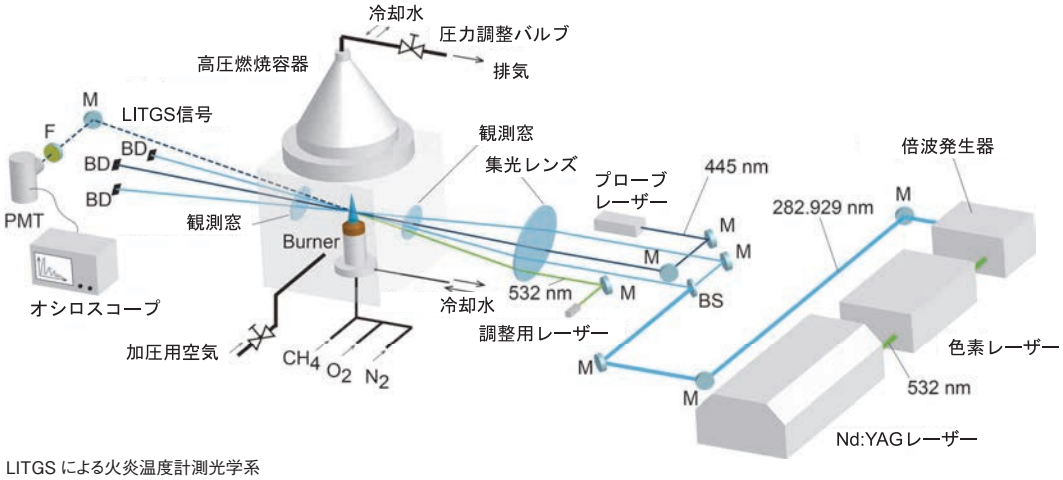
早川 研究室

准教授
早川　晃弘

特任助教
Yu Xia

協力講座
高速反応流研究分野

http://www.ifs.tohoku.ac.jp/kobayashi/



LITGS による火炎温度計測光学系

高圧環境における反応性流体のダイナミクスと計測に関する研究

燃焼現象はエネルギー，推進や工業分野等で幅広く用いられ，多くのエネルギーを生み出しています。一方，気候変動を引き起こすと考えられる温室効果ガスの排出低減は世界的な課題になっています。脱炭素に向かった動きが加速している中，燃焼によるエネルギー変換も脱炭素化や，一層の効率化が求められています。燃焼は流動や化学反応が互いに影響し合う複雑な現象です。本研究室では，カーボンフリー燃料であるアンモニアや，バイオガスなど新燃料の燃焼特性を実験や詳細反応機構を考慮した数値計算により解明しています。また燃焼現象の高度理解や予測技術の高度化を実現するために，レーザーを用いた非接触計測技術の開発に関する研究にも取り組んでいます。特にロケットやガスタービンで用いられている高圧環境下における燃焼現象の解明を目指して研究に取り組んでいます。

高温高圧燃焼場に対する非接触温度計測

ロケット燃焼は圧力10MPa，火炎温度3000K のオーダーとなる代表的な極限燃焼環境です。このような条件における燃焼現象を明らかにするためには，計測技術の高度化が不可欠です。しかしながら，高圧環境下においては計測を困難にする物理現象が存在します。本研究室では，高圧環境の燃焼現象に対しても利用可能と期待される Laser Induced Thermal Grating Spectroscopy（LITGS）を用いた温度定量計測手法に関する研究に取り組んでいます。

カーボンニュートラルバイオ燃料の燃焼

バイオ燃料は実質的な二酸化炭素排出を伴わないため，カーボンニュートラル燃料と考えられます。本研究室では，定容燃焼容器内を球状に伝播する火炎を観察することによって，層流燃焼速度など，バイオ燃料の基礎的な燃焼特性を実験的に解明しています。また，内燃機関等の実燃焼器で重要となる高圧下におけるバイオ燃料の燃焼特性についても研究を行っています。

高温･高圧環境下におけるアンモニア燃焼

アンモニアは燃焼時に二酸化炭素を排出しないことや貯蔵・輸送特性に優れていることから，カーボンニュートラル社会の実現に向けて，燃焼器での利用拡大が期待されています。しかしながら，燃焼特性が従来の炭化水素燃料とは大きく異なるため，アンモニアの燃焼特性を解明する事は重要です。本研究室では，アンモニアの層流燃焼速度に及ぼす温度や圧力の影響を実験的に検討しています。

アンモニア火炎からの燃焼生成ガス特性解明

アンモニアは燃焼時に二酸化炭素を排出しませんが，未燃アンモニアや，燃料中の窒素に起因した窒素酸化物を排出する可能性があります。本研究室では，アンモニア層流火炎の燃焼生成ガスを計測する事によって，アンモニア火炎からの窒素酸化物等の排出特性を実験的に明らかにしています。この研究は，ガスタービン燃焼器等でアンモニアを利用するための基礎的知見となります。

航空宇宙コース
流体科学研究所

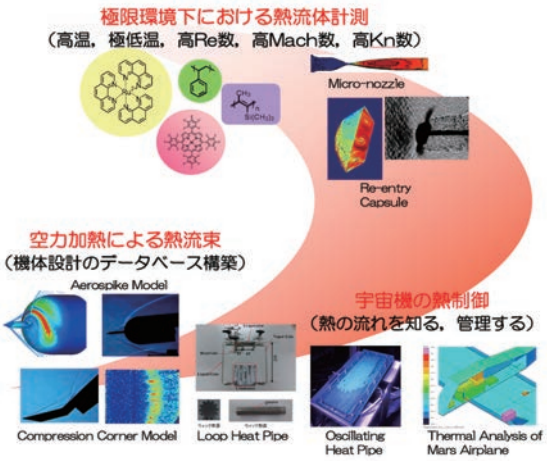
永井・伊神・常 研究室

教 授
永井 大樹

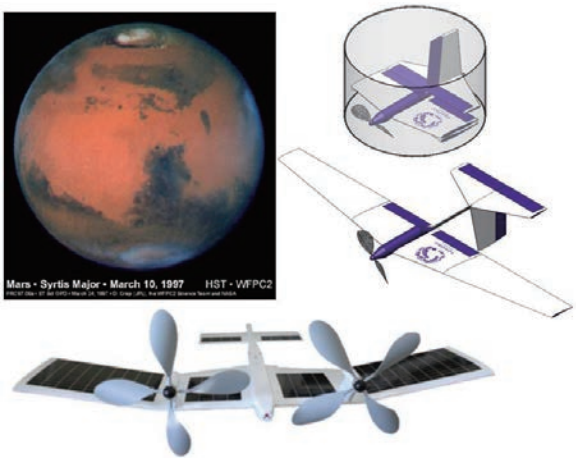
助 教
伊神 翼

特任助教
常 新雨

協力講座
宇宙熱流体システム研究分野
http://www.ifs.tohoku.ac.jp/space/



次世代宇宙機に関わる熱流体現象の解明とその制御技術



火星飛行機の概念図とモックアップ

次世代宇宙機に関わる熱流体現象の解明とその制御技術の開発

宇宙機は、打ち上げ時から、宇宙空間、地球への帰還時において様々な熱流体環境に晒される。特に、次世代宇宙輸送システムの開発には、大気圏再突入時の熱・空力特性の解明が必須である。本研究では、機能性分子センサーを用いた空力加熱推算手法の研究や高温（1000℃以上）、極低温などの極限環境場を計測できる熱流体計測手法の研究・開発を行っている。

また極限熱環境下で長期間に亙るミッションを行う次世代の宇宙機には、限られた電力、重力のリソースで内部機器の排熱が可能な熱制御システムが不可欠である。そこで本研究室では、この要求に応えるべく、高熱輸送能力、軽量・省スペースな非電力熱輸送デバイスとしてループヒートパイプ（LHP）や自励振動ヒートパイプ（OHP）等の研究開発を行い、次世代宇宙機ミッションの実現にブレイクスルーをもたらすことを目指している。

宇宙飛行体が惑星大気に突入する際の空力特性・空力加熱現象の解明

宇宙機が惑星大気に突入する際の遷音速動的不安定現象に着目し、その現象解明に向けた実験的な研究を行っている。特に、深宇宙から地球に帰還する新たなサンプルリターンカプセル形状に対して、空力特性の計測や流れ場の可視化により、自励振動現象の解明を目指している。さらに、カプセル模型を上空から自由落下させることで低速域での運動特性を計測する手法を提案している。

次世代宇宙機の熱制御デバイスの開発および革新的熱システムの開発

気液二相流を利用した熱制御デバイス（LHP、OHP、Mechanical Pump Loop など）の研究・開発を行う。特に LHP／OHP は駆動部分が無いため、軽量・省スペースな非電力熱輸送デバイスとしてリソースの限られている深宇宙探査機への搭載を期待されている。最終的にはこれらを組み合わせた省電力・高効率な革新的宇宙機熱制御システムの提案を目指す。

大気を有する惑星における航空機などの”流体力”を利用した新しい探査システムの研究・開発

現在、火星大気中を飛行しながら探査を行う火星飛行機の研究開発を行っている。その中で、地球上で火星と同等な飛行環境と有する高度35km 付近において飛行実証試験を行い、世界に先駆けてその実現可能性を示す。

この研究を通して、大気を有する他の惑星においても航空機などの流体力を利用した新しい探査システム（Planetary Locomotion）の提案を目指す。

惑星探査航空機のための柔軟膜翼の研究・開発

左記探査システムの一つである火星探査飛行機の翼には、高い空力特性のみならず、軽量性・収納／展開性・突風耐性など、様々な性能を同時に満たすことが求められる。本研究室では、それらの要求を満たす翼として、自然界の昆虫やコウモリが有するような柔軟膜翼に着目している。低レイノルズ数流れと柔軟膜との干渉が起こす現象の解明や、膜状の先進的アクチュエータを用いた流れ場の制御などに取り組み、“柔らかさを賢く使う”翼の実現を目指す。

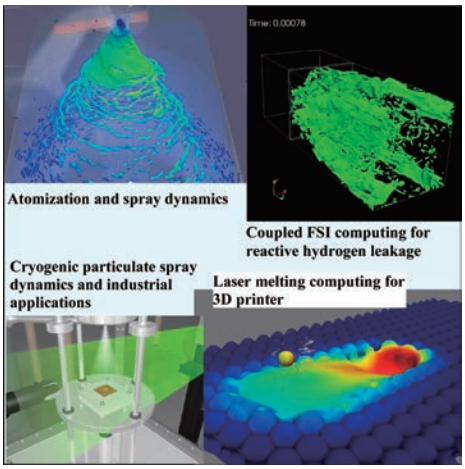
航空宇宙コース
流体科学研究所

石本･大島 研究室

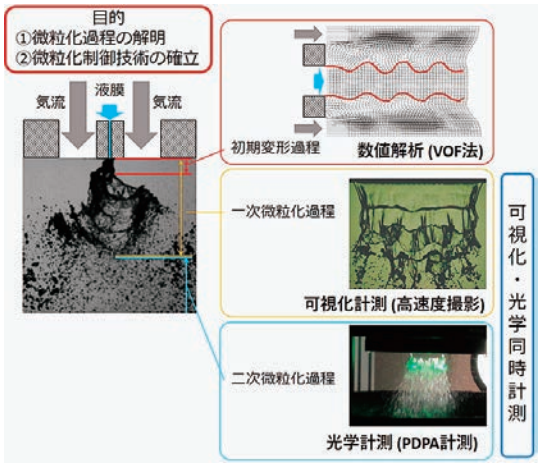
教 授
石本 淳

助 教
大島 逸平

未到エネルギー研究センター
協力講座 混相流動エネルギー研究分野
http://alba.ifs.tohoku.ac.jp/



マルチスケール先端混相流コンピューティング



平面液膜式燃料噴射弁による液膜微粒化過程

マルチスケール異分野融合型混相流動エネルギーシステムの創成

本研究分野では、超並列分散型コンピューティングと先端的光学計測の革新的融合研究に基づくマルチスケール先端混相流体解析手法の開発・体系化を目指している。さらに、高密度水素に代表される環境調和型エネルギーに直結した新しい混相流体システムとそれに伴うリスク科学の創成を目的とした基盤研究を推進している。特に、サブミクロン・ナノオーダ極低温微細粒子の有する高機能性に着目し、ヘリウムを使用しない新型の一成分ラバルノズル方式によって生成される超音速極低温微細粒子噴霧の活用による環境調和型ナノクリーニング技術の創成、メガソニック洗浄における粒子除去メカニズムの解明のため、メガソニック場中の複数気泡ダイナミクスの大規模数値解析を行っている。

超高密度水素エネルギーキャリア開発における混相流体工学的アプローチ

化石燃料と同等のエネルギー密度を得るには水素の高密度化と太陽光発電等、太陽光発電等の新エネルギー技術との複合化、とそれに関わる安全管理技術が必要である。このような現状に対し、高密度水素精製・輸送・貯蔵とリスク管理に関する連成科学的アプローチを行っている。（水素高速充填技術開発、マイクロ固体水素粒子生成、水素漏えい、水素爆発シミュレーション）

漂流物が混入した津波が及ぼす災害ダメージ予測システムの開発とメガフロートを用いた津波軽減

津波ダメージ軽減化を可能にする技術として、メガフロートを用いた津波ダメージ軽減法を開発している。大地震発生が警戒される海域において沖合津波の波長レベルの全長を有するメガフロートを係留させておく。沖合津波が発生した場合、津波はメガフロートに衝突しメガフロートが並進運動することにより運動量交換が行われ、津波の運動量を沖合で軽減させることが可能となる。

極低温マイクロ･ナノ固体粒子を用いたNon- aqueous半導体洗浄

冷却液体窒素と極低温ヘリウムガス（寒剤）の高速衝突により連続生成される微細固体窒素粒子から成るマイクロ・ナノ固体窒素噴霧流の有する超高熱流束冷却特性とそれに伴うレジスト熱収縮効果を有効活用した新型半導体洗浄法に関する検討を行う。

ガスタービンの革新的燃料噴射技術の開発

液膜の初期変形は一次微粒化に、一次微粒化は二次微粒化、つまり最終的な噴霧特性に強く影響を及ぼしている。しかし、従来研究ではこれら過程の相互作用が十分に考慮されていない。そこで、微粒化過程の素過程と各過程の相互作用に着目し、数値解析、可視化計測、光学計測や理論解析を協調して行うことで、気流による液膜微粒化過程の解明と微粒化制御技術の確立を目指している。

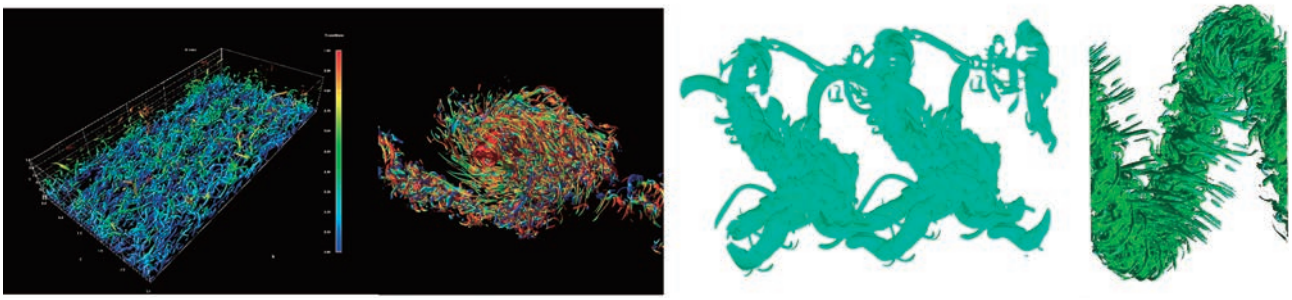
航空宇宙コース
流体科学研究所

教　授
服部　裕司

服部 研究室

協力講座
計算流体物理研究分野

http://eagle.ifs.tohoku.ac.jp



チャネル乱流、不安定化した渦輪 / らせん渦に見られる渦構造

複雑流動現象の大規模数値シミュレーション研究

複雑流動現象の高精度大規模数値シミュレーション研究に取り組んでいる。自然現象や産業応用の場面でわれわれが遭遇する流れは、一般に複雑な形状をもつ物体や運動・変形する物体を含んでおり、従来の境界適合型格子による数値解析法では取り扱いが困難である。われわれは、埋め込み境界法の一種である Volume Penalization 法（VP 法）を発展させることにより、これらの流れを高い精度で数値解析により捉えるための数値計算手法を開発している。これまでに VP 法の高精度化に関する基礎研究を行った。また、VP 法や離散型埋め込み境界法の圧縮性流れへの適用により、複雑形状物体・運動変形する物体を含む系での空力騒音の直接数値シミュレーションを実現した。さらに、開発した手法を用いてスーパーコンピュータによる大規模高精度数値シミュレーション研究を行っている。

流れの安定性の理論解析および数値解析

安定性は流れの基本的性質の一つであり、現象の理解や流れの制御において重要である。渦を中心とした流れの安定性解析を理論解析と数値解析により行っている。これまでに、渦管の曲りに起因する曲率不安定性の発見、変分原理に基づく平行流の安定性の必要十分条件の導出などの成果を挙げている。現在は、大気・海洋などで重要となる回転・成層の効果について研究を進めている。

渦動力学の研究

流動現象のダイナミクスの解明のために渦運動の理解は重要な役割を果たす。渦構造のもつ特性・多様性・普遍性と、流動現象一般における役割を解明するため、渦構造の形成過程・非線形力学・乱流に至る道筋など、渦の動力学全般について研究している。強い渦の形成メカニズムの解明、翼端渦の形成過程と構造、らせん渦の不安定化過程に関する研究を行っている。

乱流の統計的性質の解明と新しい乱流モデルの開発

多くの流れは乱流状態にある。大規模数値シミュレーションと理論解析により、流体力学の長年の課題である乱流の統計的性質の解明に取り組んでいる。乱流の未踏の統計法則の発見のみならず、数値シミュレーションに不可欠である正確な乱流モデルの開発を目指す。現在は機械学習による乱流モデルの開発と、平面 / 凹面上の乱流境界層の制御に関する研究を進めている。

空力騒音低減のための基礎技術の研究

鉄道や流体機械の高速化のためには空力騒音の低減が求められる場合が多い。そのための基礎技術を数値シミュレーションにより研究している。これまでに多孔質材貼り付けによる空力音低減について、連続体モデルが有効であることを示し、数値解析による多孔質材最適化への道を切り拓いた。現在は、空力騒音低減のためのアジョイント法による物体形状最適化法を開発している。

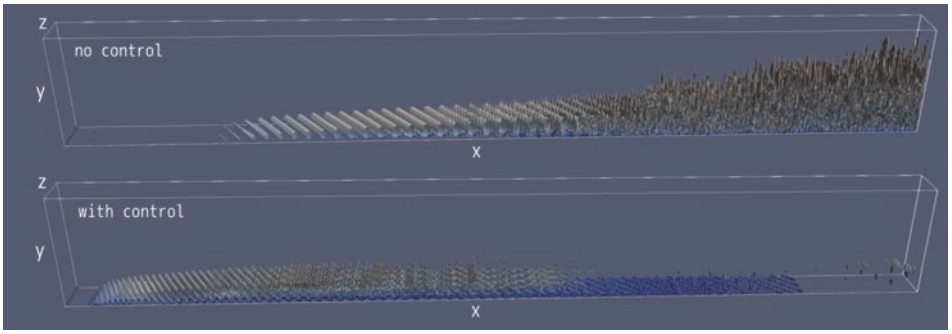
航空宇宙コース
流体科学研究所

廣田 研究室

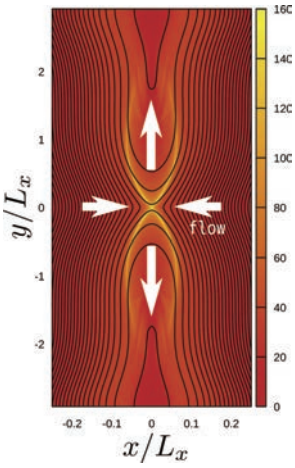
准教授
廣田　真

協力講座
計算流体物理研究分野

http://eagle.ifs.tohoku.ac.jp/



壁面粗度による三次元境界層遷移の抑制



爆発的な磁気リコネクション

流体安定性の数理に基づいた複雑流動現象の解明と制御

流体やプラズマに見られる複雑な流動現象の様子は、高精度かつ大規模な数値シミュレーションによって明らかになりつつあります。一方で、そこから法則性を抽出したり、現象を制御する手法を考案するには、物理的解釈や数理モデル化を行うことも必要です。特に流れの安定性を解析することは、乱流遷移や（渦や磁場の）構造形成・崩壊のメカニズムを原理的に理解するための糸口となります。本研究室では安定性解析と大規模数値シミュレーションを併用して、このような流動現象の解明と制御の研究を行っています。

具体的には航空機などの翼まわりの乱流遷移の制御手法を研究し、摩擦抵抗の低減に向けて取り組んでいます。また、惑星大気や宇宙プラズマなどにおける謎に満ちた現象の物理を探ることで、新しい流動法則の発見を目指しています。

後退翼面上の三次元境界層遷移に対する壁面粗度を用いた制御

民間航空機で用いられている後退翼の表面には三次元的な境界層流れが形成され、これが不安定であるために乱流遷移が起こります。境界層流れが乱流化すると摩擦抵抗が格段に増大してしまうため、不安定性をできるだけ抑制することが航空機の低燃費化につながります。本研究室では、翼面に特殊な粗度分布（凹凸）を配置することで、乱流遷移を効果的に抑制する手法を探っています。

様々な平行シア流や回転流の安定性解析

平行シア流や回転流のような対称性をもった流れの安定性を理解することは、流体力学の基礎となるだけでなく、現実に見られる複雑な流れを単純化したモデルとして重要な知見を与えてくれます。さらに密度成層や遠心力、磁場などが存在する場合の振る舞いは、物理的な直観だけで理解するのは難しく、流れが安定化／不安定化する条件を数学的に解析しています。

無衝突プラズマにおける爆発的磁気リコネクションの非線形理論

プラズマ中の磁気リコネクション（磁力線のつなぎ換え）現象は太陽フレアや磁気圏サブストーム、磁場閉じ込め核融合プラズマの崩壊などを引き起こしますが、これらが爆発的と呼べるほど異常に速い時間で起きるメカニズムは明らかになっていません。本研究では無衝突プラズマがもつ多階層性に焦点を当て、非線形理論の構築と数値計算による検証を行っています。

拡張磁気流体力学の理論とシミュレーション

磁気流体力学（通称 MHD）はプラズマのような伝導性の流体に対して広く用いられてますが、十分にスケールが大きくて密度が高く、衝突頻度も高いプラズマを想定した近似に基づいています。これらの近似が成り立たなくなると MHD が破綻し、それまで無視していた効果を正しく考慮しなければならなくなります。この拡張 MHD 近似の妥当性と数値計算手法についての研究を行ってます。

機械・医工学

Mechanical / Biomedical Engineering

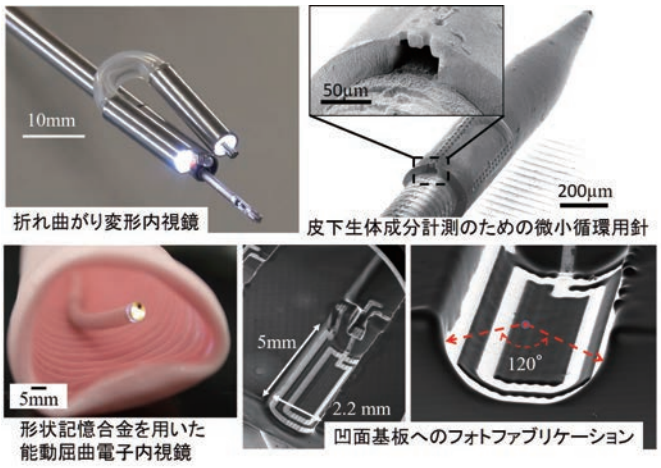
機械・医工学コース
医工学研究科医工学専攻 / ロボティクス専攻

教 授
芳賀　洋一

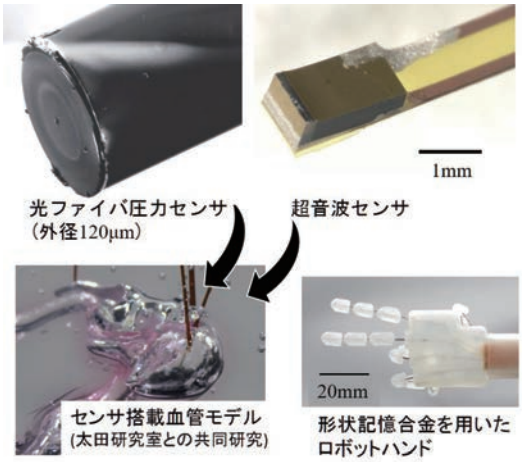
助 教
鶴岡　典子

芳賀・鶴岡 研究室

バイオメカニクス講座
ナノデバイス医工学分野
http://www.medmems.bme.tohoku.ac.jp/



折れ曲がり変形内視鏡
皮下生体成分計測のための微小循環用針
形状記憶合金を用いた能動屈曲電子内視鏡
凹面基板へのフォトファブリケーション



光ファイバ圧力センサ（外径120μm）
超音波センサ
センサ搭載血管モデル（太田研究室との共同研究）
形状記憶合金を用いたロボットハンド

ミクロな機械が切り拓く次世代の医療とヘルスケア

マイクロセンサや運動素子（アクチュエータ）を作製するMEMS（微小電気機械システム）技術など、様々な微細加工技術を駆使して、今までにない特徴や利点を持った医療機器、ヘルスケア（健康管理）機器を開発しています。体内で用いる低侵襲医療機器をさらに高性能化、多機能化することで、患者の負担が少なく、かつ精密で安全な検査・治療が実現できます。また、今までにない新しい診断、治療が可能になります。微細加工を利用して薄く柔らかく小型で、違和感なく体表に装着できる新しい生体計測機器、治療機器の開発も行っています。更に、小型で複雑な構造の医療機器、ヘルスケア機器を低価格で作製するための新たな微細加工技術、組立技術の開発を行っており、作製の基礎から、実機の開発と評価、製品化を目指した体制づくりまで、人に役立つ機械の実現を目指して研究開発を行っています。

高機能、多機能な低侵襲検査、治療機器の開発

体を大きく切り拓いて顕微鏡を用いたサブミリレベルの精密なマイクロサージェリーが行われるようになりましたが、内視鏡やカテーテルを用いた身体に負担の少ない手段でこのような精密な手術を行うことはできていません。マイクロセンサやアクチュエータを搭載した医療機器の開発、長期的には医療用マイクロロボットを開発し、体内からの精密な検査治療を実現することを目指しています。

広く役立つ生体計測を体表から行う新たなヘルスケア（健康管理）機器の開発

体表に装着し、皮下の血管径変化を超音波を用いて計測し血圧やストレス計測を行うセンサ、鍼灸で用いる針付きパッチを利用し、採血せずに血液中の糖や乳酸などを気軽に計測する皮下組織液採取システムを開発しています。簡単な制御と判断を行う集積回路によるプロセッサ、およびネットワークとのワイヤレス通信機能を備えた機器と組み合わせることで、発病や持病の発作を未然に防ぎます。

非平面フォトファブリケーション、非平面実装技術の開発

大量生産が可能な半導体プロセスやMEMSプロセスの多くは平らなウェハ上に加工を行いますが、体内で用いる医療機器や多くの健康管理機器へ組み込むための実装には適しません。直径数mmの円筒の表面、内面に微細加工を行う今までにない新たな加工技術の開発と、それに必要な装置の開発を行っています。量産性のあるプロセスにより低価格化し、広く使って貰えることを目指しています。

手術手技の評価、医療機器開発に役立てるためのマイクロセンサを搭載した臓器モデルの開発

医師の訓練、手術手技の評価、医療機器開発の際の安全性や有効性評価には、ヒトに対する実際の手術、実験動物の利用などが行われますが、これに代わる、マイクロセンサを搭載した新たな臓器モデルの開発を行っています。臓器の形状、物理特性を再現した臓器モデルに複数のマイクロセンサを搭載することで、手術前後の血行動態や形状の変化、治療中に組織にかかる力などを定量化します。

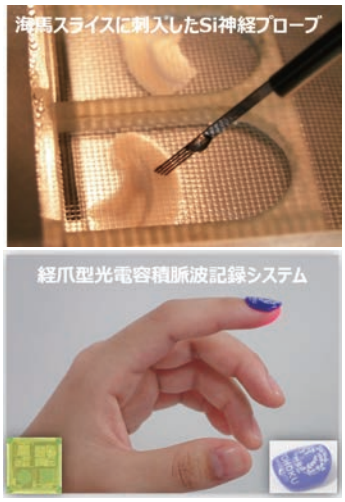
機械・医工学コース
医工学研究科医工学専攻 / 機械機能創成専攻

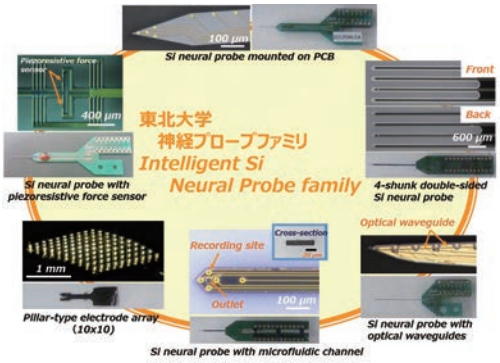
田中（徹）・木野 研究室

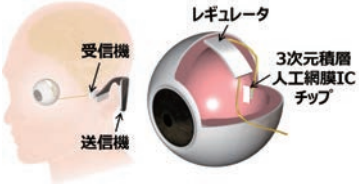
教 授
田中 徹

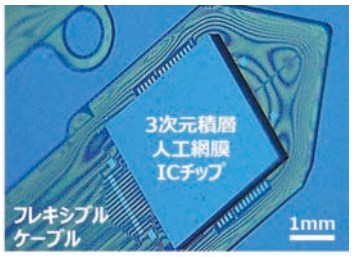
特任准教授
木野 久志

生体機械システム医工学講座
医用ナノシステム学分野
http://www.lbc.mech.tohoku.ac.jp/









半導体神経工学に基づく生体融和型マイクロ・ナノ集積システムの創成

半導体神経工学は、生体の神経システムへ半導体工学を駆使して迫り、その構造と機能の探究を通して、生体と機械を綜合した新しい融合システムを創製する研究領域です。本研究室では、半導体神経工学に基づく生体融和型の新しいマイクロ・ナノ集積システムについて専門教育と研究を行います。生体と同じ積層構造を有し高い QOL を実現する人工網膜や、脳・神経系の電気的・化学的状態を計測・解析する生体埋植型集積化知能デバイスについて研究しています。また、これらを作製する基盤技術である三次元集積化技術と生体用アナログ・デジタル集積回路設計の研究も行います。本研究室は福島研究室と一体で運営しています。

1. 人の眼に埋め込んで視覚を再生する人工網膜システム
2. 生体埋植型集積化知能デバイスと脳・機械インターフェイス
3. ウェアラブル・インプランタブル生体センサシステム
4. 三次元集積回路技術とアナログ・デジタル集積回路設計

眼球内完全埋め込み型人工網膜による視覚の再建

網膜色素変性や加齢黄斑変性などの疾病で失明した方の網膜に三次元積層人工網膜 IC チップを埋め込み、網膜の出力細胞である神経節細胞を電気刺激することによって視覚を再建する研究に取り組んでいます。これまでにエッジ強調機能を有する1500画素クラスの人工網膜 IC チップの設計と試作を行っています。また、ウサギの眼に人工網膜 IC チップを埋め込んで光覚を誘起することに成功しています。

脳・神経インプラント多機能集積化神経プローブの開発

脳や神経に貼付・埋植して皮質から深部までの電気的・化学的情報を記録し、脳神経機能の解析や脳神経疾患治療・脳機能拡張などを可能とする多機能集積化神経プローブの研究を行っています。神経プローブ上に各種センサや生体信号処理 IC を搭載しており、有線または無線で外部と通信を行います。また、ワイヤレス・ファイバレス光刺激を可能にする多段階励起ナノ粒子神経プローブの研究も行っています。これまで国内外の研究機関に神経プローブを提供して、幅広い共同研究を展開しています。

様々な生体信号を装着感なく最適に記録できる集積化生体情報記録システムの開発

脳波や心電、脈波等の生体信号は信号強度と周波数帯が異なるため、所望の生体信号を記録するために特定の周波数帯の信号を最適に増幅する必要があります。また、できるだけ装着感を無くして常時計測することで健康管理や疾病の早期発見が可能になります。そこで記録性能を瞬時に切り替えでき、かつ低ノイズ記録可能な生体信号計測 IC と PD/LED/ 各種センサ等を柔軟基板上に集積して、所望の生体信号を高精度に装着感無く記録できる集積化生体情報記録システムの開発を進めています。

次世代ICT社会を支える三次元集積回路技術の開発

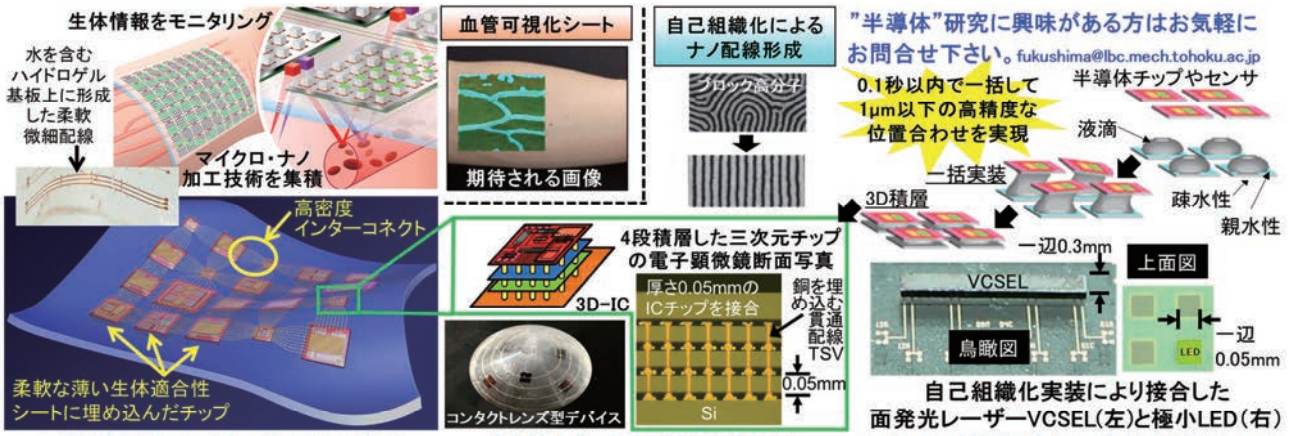
これまで平面的に微細化されてきた半導体集積回路を立体的に積層化することにより速度・消費電力・機能性などの性能を飛躍的に高められる三次元集積回路が次世代 ICT社会を支えるハードウェアのコア技術として期待されています。本研究室では優れた性能と高い信頼性を有する三次元集積回路を実現するために、三次元集積回路のプロセス技術・回路設計技術・信頼性評価技術を開発しています。

機械・医工学コース
機械機能創成専攻 / 医工学研究科医工学専攻

准教授
福島　誉史

福島 研究室

機能システム学講座
機械力学分野
http://www.lbc.mech.tohoku.ac.jp/



自己組織化技術とフレキシブル集積によるホリスティック実装工学で人工知能社会を牽引

機械工学、材料工学、電気電子工学、医工学などを分野横断するホリスティック実装工学は、個々の素子や材料を最適設計・配置・接続し、最高性能の総和として異種デバイスからなるマルチリシック (Multi-lithic) システムを創る学問で、近年のスマートフォンやウェアラブル機器の発展に欠かせない身近な存在です。欧米では半導体パッケージング工学とも呼ばれ、半導体に加え、MEMS や光学素子、バイオチップ等のコンポーネントを有機的に集積し、知能化機械システムを具現化します。特に、本研究室では、センサやディスプレイを搭載した身に着ける人工知能システムを創成すべく、柔軟で立体的なデバイスの作製と、自己組織化現象に着目したアセンブリとインターコネクトを中心とした要素技術の研究に取り組んでいます。本研究室は、田中（徹）・木野研究室と一体で運営しています。

柔軟な生体適合性高分子と硬い単結晶半導体からなる高性能フレキシブルデバイスに関する研究

フレキシブルデバイスでは、高分子シート上に有機半導体や印刷配線を形成する Roll-to-Roll 方式が盛んに研究されていますが、微細化と高性能化には限界があります。我々は、柔軟な高分子シート内に硬い小型の単結晶半導体チップや微小機械を多数埋め込んでインモールド成型加工するスケーラブルな手法で高性能、柔軟、且つ多機能な医用ウェアラブルデバイスを開発しています。

液体の表面張力などを用いた自己組織化実装（セルフアセンブリ）技術に関する研究

自己組織化はエントロピーに逆行した散逸系で、その究極の創造体は生物であり、誰かに組立てられたわけでもなく、無秩序から秩序構造が有機的に形成されます。我々は、液体の表面張力等を駆動力とし、ロボットでは掴めない微小素子をナノレベルの精度で自己組織的に実装し、次世代センサやディスプレイへ応用しています。最近では血栓予防を目的とした血管可視化シートも開発しています。

機能性高分子による誘導自己組織化インターコネクトと人工知能チップに関する研究

脳は複数の機能層が積層された3D 構造を有し、シナプス結合を介し情報を伝達する立体的なネットワークを構築しています。脳の構造や情報処理を模倣したコンピュータの実現にはニューロンの代替となる3D 配線が必須です。我々は、高分子の誘導自己組織化現象を利用して3D ナノ配線 (TSV) を形成し、人工知能チップの作製を通して高度な自動運転システム等の創出を目指しています。

高度な接合/接着技術を用いた三次元チップ作製とフレキシブルシステム集積に関する研究

次世代の人工知能チップや脳型コンピュータシステムを構築するには、3D 配線に加えて高密度の微細電極でデバイス同士を接合／接着して積層し、三次元化する技術が必要です。我々は、接着剤を用いずに半導体や金属を原子レベルで接合する直接接合や、有機無機ハイブリッド高分子を用いた400℃にも耐える究極の貼って剥がせる接着（テンポラリー接着）など独自の研究を展開しています。

機械・医工学コース
ファインメカニクス専攻 / 医工学研究科医工学専攻

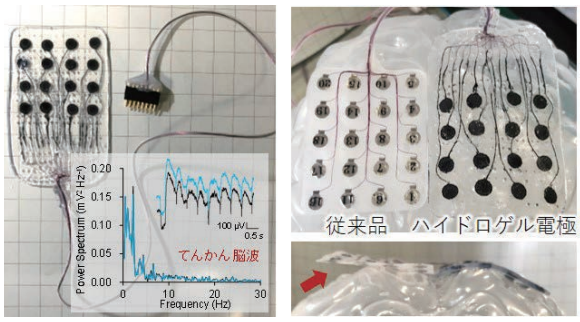
西澤・照月 研究室

教 授
西澤 松彦

助 教
照月 大悟

バイオメカニクス講座
バイオデバイス工学分野

http://www.biomems.mech.tohoku.ac.jp



図① ハイドロゲルを基材とする頭蓋内有機電極

図② バイオ電池で駆動するマイクロ創流デバイス

生体・環境に調和するバイオハイブリッドデバイスの創製

生命の仕組みが分子レベルで明らかになるにつれて、その担い手であるタンパク質や細胞を、超精巧な部品として利用する「バイオハイブリッドデバイス」に注目が集まっています。人類テクノロジーの域を遥かに超えたバイオ部品の感度や効率、これらを組み込んだバイオセンサやバイオ電池の開発に、我々は取り組んでいます。真のバイオ融合を目指して、ソフト・ウェット材料加工、デバイス系（電子駆動）とバイオシステム（イオン駆動）の接合・制御などに、独自技術を創出してきました。

バイオリソグラフィー：タンパク質や細胞の操作と計測システム

バイオシステムの組織化をその場で（溶液中で）制御し、タンパク質や細胞を配列させる技術「バイオリソグラフィー」を開発して装置化しました。この装置は、コンニャクなどのハイドロゲルに電極を配線することもできます。ハイドロゲル製の動くバイオチップは、筋肉細胞を運動させながら代謝活性を調べるシステムとして、２型糖尿病や肥満の研究に活用されます。

ウェットデバイス：表皮・臓器にしっとり貼り付く ハイドロゲル基板電極

70%以上が水分であるため生体にしっとりと馴染み、神経や筋肉の活動計測、および通電治療などに有効なゲル電極を開発しました。乾燥した状態で保存し、水分を吸わせて（水で戻して）使用できる、生体に安全な有機物の電極です。体内埋め込みによる脳・神経機能の補助などにも適しています（図①）。

バイオニック発電：生体・環境エネルギーで駆動する自己発電デバイス

酵素を触媒とするバイオ電池（バイオ燃料電池）で世界最高の出力密度を達成しています。この発電システムは、生体由来材料で構成できるために、環境発電・医用発電に求められる“安全性”に優れます。MEMS 技術による積層・集積を通じて、高出力ならびに長寿命への取り組みを進めるとともに、電池が要らない自己発電型のセンサや経皮通電パッチを開発しています（図②）

スキン医工学：皮膚機能の診断治療デバイスの開発

皮膚の厚み方向には表皮電位が発生しており、これが各種皮膚機能の根幹を支えている。創傷やアトピー性皮膚炎などは表皮電位値の異常を伴い、外部からの電圧印加による制御によって治癒および症状緩和が認められることもある。本研究室では、上記のウェットデバイス技術とバイオニック発電を駆使し、皮膚電位を計測・制御する低侵襲な診断・治療デバイスの開発を進めている。

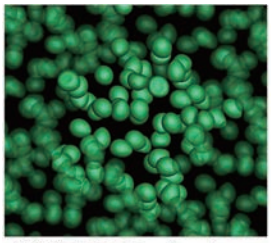
機械・医工学コース
ファインメカニクス専攻 / 医工学研究科医工学専攻

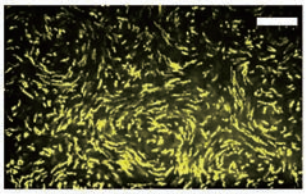
教　授
石川　拓司

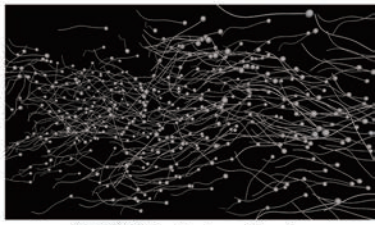
助教
大森　俊宏

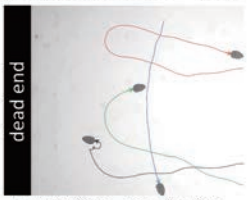
石川・大森 研究室

バイオメカニクス講座
生体流体力学分野
http://www.bfsl.mech.tohoku.ac.jp/index_jp.html

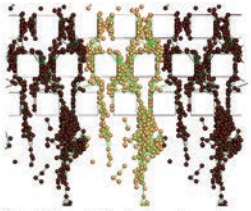

微生物遊泳シミュレーション

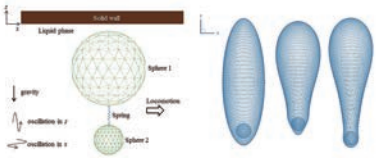

バクテリア乱流の可視化


精子遊泳シミュレーション



原生知能のアルゴリズム


バイオフィルムシミュレーション


流体振動を用いたマイクロロボット開発

バイオメカニクスで切り拓く人と地球の豊かな未来

「バイオメカニクス」とは、生体の生理学的あるいは病理学的な現象を物理法則に基づいて調べ、生物学・医学と異なる視点から生命現象を解明する学問分野です。私達は微生物と人体を主な研究対象とし、動脈疾患などの健康問題や、赤潮などの環境問題に対して、実験、理論、数値シミュレーションを用いた研究をしています。実験による新しい現象の発見、その現象を記述する新しい数理モデルの開発と理論解析、定量的な数値シミュレーションによる工学・医療への応用を一貫して行うことで、こうした諸問題を解決すべく研究を行っています。

微生物の分布を予測する数理モデルの開発

漁業に深刻な被害をもたらす赤潮は、海流と風向き、プランクトンの遊泳の兼ね合いによって引き起こされます。また、機器を損傷させたり、感染症を引き起こすバイオフィルムは、微生物が界面に付着することで生じます。我々は微生物の挙動を力学的に解明し、微生物の運動を記述する数理モデルを開発することで、環境問題の解決や工学機器の性能向上に役立てています。

力学的視点からの生命現象の理解

マウスの体の左右は、初期胚のノードと呼ばれるくぼみの微弱な流れで決まります。また、大腸菌などのバクテリアは、集団で協調して遊泳し、物質輸送を促進することが知られています。このように様々な生命現象は物理法則の上に成り立っており、我々は、流れによって生じる生物学的機能を解明することで、生命現象における力学の果たす役割を明らかにすべく研究を行っています。

流体力学を用いた医療デバイスの開発

微小流体流路は、少量のサンプルから細胞を分離するのに適しています。我々は、がんの予後検診に役立てるため、末梢血流の乳がん細胞を流体力によって分離するデバイスを開発しています。また、遊泳能の高い細菌を分離するデバイスの開発や、血栓の付着を防ぐ流路形状の提案などを行い医療応用を目指したバイオチップ開発を行っています。

流体振動を用いたマイクロロボットの開発

マイクロメートルスケールの微小な遊泳ロボットは、微細加工やドラッグデリバリーの分野で注目されています。我々は、流体振動力を用いた微小遊泳ロボットの動作原理を開発しています。流体振動の方向を変化させることで、ロボットの動きを任意に制御することが可能です。

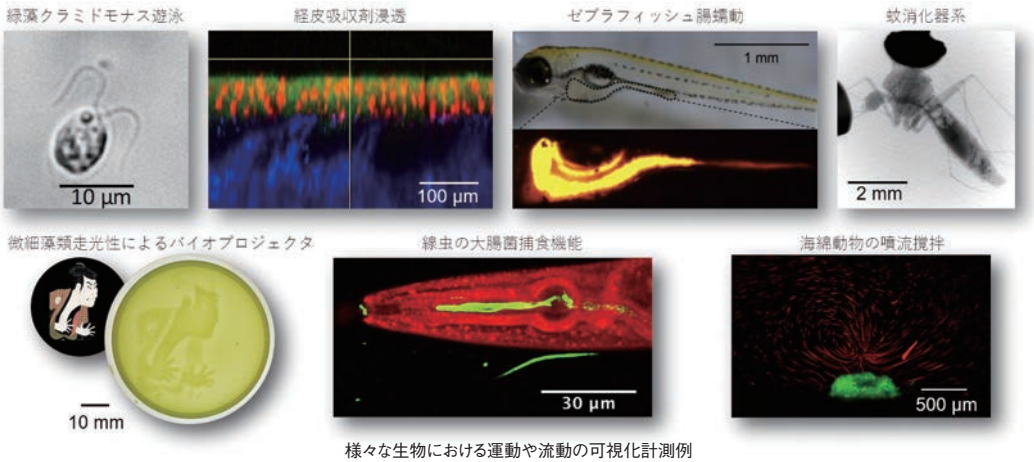
機械・医工学コース
ファインメカニクス専攻 / 医工学研究科医工学専攻

菊地 研究室

准教授
菊地　謙次

バイオメカニクス講座
生体流体力学分野

http://www.bfsl.mech.tohoku.ac.jp/index_jp.html



様々な生物における運動や流動の可視化計測例

可視化で解き明かす生物流動とバイオメカニクス

可視化は、見えにくい、若しくは見ることのできない物の流れや現象、運動などを視覚的に見易くし、その理解を深める有用なツールの一つです。私達は通常観察が困難な生体に関わる流動や物質拡散、生物の運動について可視化・解析するための技術を開発し、生き物に関わる様々な力学について実験的に研究を行なっています。複雑な生命現象をより深く理解するためには、可視化実験によって得られた新たな知見をもとに、理論解析を行うことが重要です。研究対象は、ヒト、その他の動物、植物、魚類、両生類、微生物などの幅広い生命現象であり、皮膚からの薬剤浸透（経皮吸収）や腸蠕動、血流などの医療・健康診断に関する研究や、生物特有の流動現象のメカニズム解明など、多くの学問分野に渡った学際研究を行なっています。当研究室は、石川・大森研究室と一体で運営しています。

生体内をありのままにバイオイメージング

観察する生物・生体に対し、刺激や損傷などの負荷を最小限に留めたリアルタイム観察手法の開発を行なっています。不透明な細胞や組織を可視光で観察するには光学的な限界があります。我々は、超短波長パルスレーザーやマイクロフォーカスＸ線、共焦点光学系などを用いて、生体内部を低侵襲・非破壊で観察し、生体内部の流動や物質拡散メカニズムについて研究しています。

物質浸透･拡散を促進するメカノエフィカシー

生体内を浸透・拡散する物質は、その背景にある流動構造によってさらに浸透･拡散が促進されます。また、分解（代謝）や合成によっても物質濃度が時々刻々と変化するため、精度良く生体内の輸送現象を予測・制御することは困難です。我々は皮膚表面から浸透（経皮吸収）する薬剤を機械的運動によって制御することを目指し、薬剤の細胞・組織間内の輸送促進方法について研究しています。

生物の機能を工学的に応用する医療機器開発

生物の特有の形状や性質には環境に適応した機能が備わっていることがあり、その生物の持つ特徴を力学的に理解し、工学的に模倣・応用（バイオミメティクス）することで、我々の生活に役立つ技術として活用されています。生物に隠された機能を応用した医療機器の開発研究を本学大学病院と共同研究として行っています。

光学顕微鏡を用いたマルチモーダルイメージング

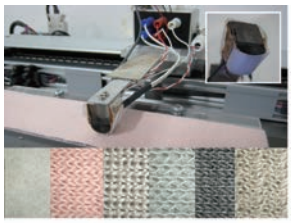
微小領域における物質濃度、拡散係数、移流速度、pH、温度について、レーザー誘起蛍光法、画像相関法、ラマン散乱分光法などを用いた三次元物理量を定量的に取得する方法を開発しています。また、時間変化を計測することで多次元計測し、生命現象の解明に特化した高時間分解能な多変量計測法について研究しています。

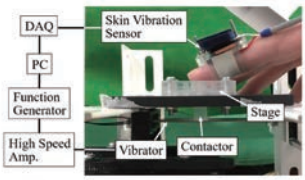
機械・医工学コース
医工学研究科医工学専攻 / ロボティクス専攻

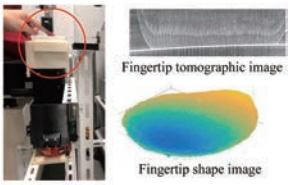
教　授
田中　真美

田中（真）研究室

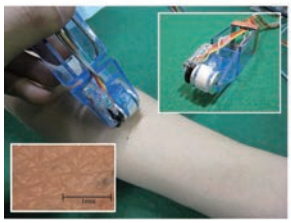
社会医工学講座
医療福祉工学分野
http://rose.mech.tohoku.ac.jp







上段左から
「インテリジェント人工指」、「振動刺激提示システム」、「OCT を用いた指先内部の計測」



下段左から
「皮膚性状計測センサ」、「乳癌セルフチェック用センサ」、「触刺激計測センサ」

触覚･触感に基づくQOLテクノロジーの創出

近年、人口の少子高齢化を迎える現代社会において、医療・福祉・保健の分野では、さまざまな観点から生活の質（QOL）を考慮した社会の構築が求められており、新しいメカトロニクス技術を利用した医療福祉機器への期待が高まっています。医療福祉工学の発展には、新たなセンサやアクチュエータの創製、システムや情報処理技術の高度化が重要な課題となっています。そこで、当研究室では、ヒトの高度な計測システムに着目し、そのメカニズムを明らかにしながら、ヒトが持つ巧みな触覚感性機能をセンサシステムで実現することで新たなQOL テクノロジーの創出を目指しています。得られた触覚・触感計測技術を積極的にさまざまな用途に応用する研究も行っています。

触覚･触感のメカニズムの解明

触覚はヒトの生活において必要不可欠な感覚であり、指先は「触れる」だけでなく、「撫でる」、「押す」などの触動作を行うことによって質感や手触り感などの触感を収集しています。ヒトは「柔らかさ」や「なめらかさ」などをどのように知覚しているのかを解明するために、様々な実験系を構築し、指先振動、指先内部の特性なども計測調査し、触知覚メカニズムについて明らかにしています。

触覚･触感計測センサシステムの開発

人の触覚・触感は、刺激を能動的あるいは、受動的に受けて感じるものであり、本研究ではその感覚の計測を、前述の触覚・触感のメカニズムの解明結果も応用しながら、センサ材料、動作機構、信号処理などについて検討を行い実現を目指すものです。様々な材料の手触り感の数値化や、繊細な手触り感の計測が可能になること、また着用しているものなどの人体に及ぼす触刺激を計測することの実現などが期待されます。

乳癌セルフチェック用センサ

乳がんは女性の部位別のがんの中で罹患数が最も多く、死亡者数および罹患者数も年々増加しています。しかし、超早期発見が可能であれば生存率が高いことが分かっています。そこで、自宅での乳癌のセルフチェックが推奨されていますが、一般の方がセルフチェックを行うことは困難となっております。このような課題を解決するため、乳癌セルフチェック用センサの開発を行っています。

触診センサの開発

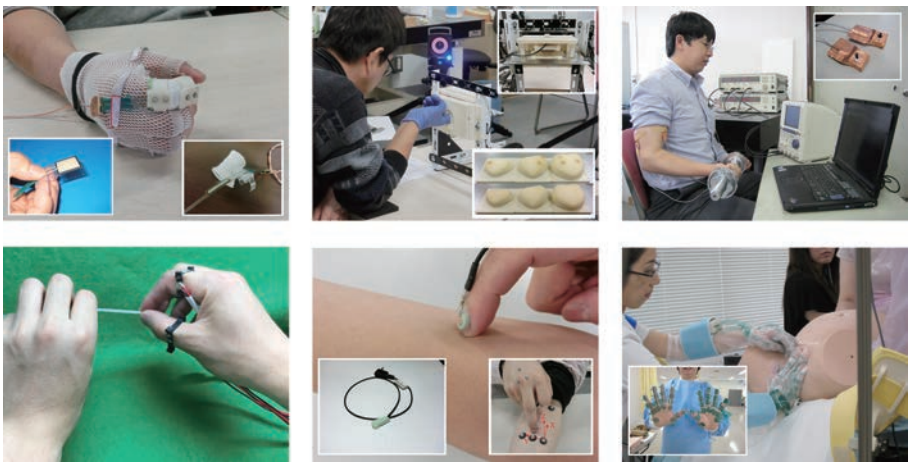
触診は複数の情報を一度に取得可能とする簡便かつ有効な診断方法ですが、熟練度が必要であることや客観的な評価や感覚の共有が困難です。当研究室では、前述の乳癌セルフチェック用センサの開発に加え、自動触診システムの開発やまた得られた情報を医師への伝達する提示システムの構築などを行っています。遠隔医療や患者の心理的な負担の軽減にも有用であると期待されています。

機械・医工学コース
ロボティクス専攻 / 医工学研究科医工学専攻

奥山 研究室

准教授
奥山　武志

社会医工学講座
医療福祉工学分野
http://rose.mech.tohoku.ac.jp



上段左から
「関節角度計測センサ」、「前立腺触診動作計測」、「筋音計測システム」

下段左から
「指先力計測センサ」、「引掻き動作計測センサ」、「分娩介助動作計測システム」

生体動作計測による医療福祉工学

医療福祉分野においては、触診や手術、リハビリテーションの介助などに手指が用いられ、重要な役割を担っています。しかしながら、未修練者がこれらの手指を用いた高度な手技を習得するためには、多くの訓練と臨床経験による熟練が必要です。そのため、より効果的に手技を習得するために、高度で熟練した手技の定量化が求められています。そこで、当研究室では、最先端のメカトロニクスや情報処理技術を駆使し、ヒトの動作を計測・評価する研究を行っています。また、定量化された動作情報を未修練者の教育へ活用するだけではなく、触診センサなどの医療福祉ロボティクスへの活用も行なっています。さらに、生体動作計測技術を基に、筋活動状態の計測システムや皮膚疾患による引掻き行動モニタリングシステムの開発も行っています。（当研究室は、田中（真）研究室と一体で運営しております。）

ウェアラブル手指動作計測センサシステム

指関節部の平均曲率と指関節角度の関連性に着目した指関節角度を計測する柔軟ポリマーセンサや、指先にかかる力と腱張力の関係に着目した指先力を計測する指輪型センサなどのウェアラブルな手指動作計測システムを開発しています。これらはセンサ装着による指感覚の阻害が生じないように設計されており、指感覚が重要であるリハビリテーションなど様々な分野での応用が期待されています。

筋音・筋振動による筋状態評価手法の創出

安全で効果的なリハビリテーションを実現するために、筋肉が収縮する際に生じる体表面微振動（筋音）や筋骨格の振動特性に注目し、筋肉の疲労状態などの筋活動状態を評価する手法の開発を行っています。これまでの研究で、筋音と筋電を複数点で同時計測するシステムを開発し、筋肉の特性や筋損傷、筋疲労によって筋音の周波数特性が変化することを確認しています。

皮膚疾患による引掻き行動モニタリングシステム

皮膚疾患の治療において痒みの定量化が重要ですが、主観的な感覚であるため、客観的な評価が困難です。そこで、痒みにより誘発される引掻き行動に注目し、痒みの代替指標として引掻き動作を計測するセンサシステムの開発を行っています。特に、引掻く際の力学的な特徴（接触力など）を評価できるシステムを目指して、引掻き音を計測する装着型のマイクセンサを開発しています。

巧みの手技を定量化する計測技術

様々な手指動作計測技術を基に、熟練した技能者の手技の定量化を行っています。前立腺の直腸内触診については、動作計測が可能な前立腺触診シミュレータを開発し、熟練した医師の手技の特徴を抽出しています。また、安全な分娩のために行われる助産師による分娩介助動作についても、グローブ式センサを用いて助産師の手にかかる圧力分布を計測し、熟練者の手技の特徴を定量化しています。

機械・医工学コース
ファインメカニクス専攻 / 医工学研究科医工学専攻

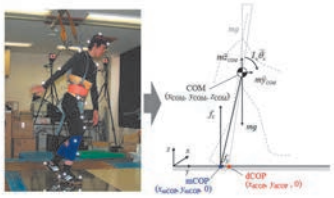
教 授
山口 健

山口 研究室

社会医工学講座
ライフサポート工学分野

http://www.glocaldream.mech.tohoku.ac.jp

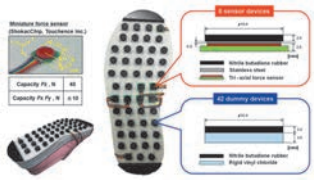
歩行動作解析に基づく転倒危険性評価



新しい動的姿勢安定性評価指標の開発

超耐滑靴底意匠の開発

床材料の耐滑性評価システムの開発


センサシューデバイスの開発と動作解析への応用

ティシュペーパーの肌触り感評価法の開発

安全安心な社会を実現する生命･生活支援工学

安全安心な生活や、高齢者及び障害者の自立した生活の実現のためには、生命・生活を支援する新しい工学技術分野（ライフサポート工学）の確立が必要です。当研究室では、トライボロジーとバイオメカニクスを基盤として、転倒機構の解明や転倒防止のための靴・床の開発、動的姿勢安定性評価手法の開発、高性能なスポーツ用品や生活用品の開発などを通じて、ライフサポート工学に関連する教育･研究を行っています。

1．歩行安定性に関するバイオメカニクス研究
2．すべり転倒機構の解明に関する研究
3．センサシューデバイスを用いた歩行動作解析
4．超耐滑靴底及び床の開発に関する研究
5．肌触り感に優れるティッシュペーパーの開発に関する研究

すべり転倒機構の解明に関する研究

屋内外の転倒事故件数は増加傾向にあり、特に高齢者の転倒事故は寝たきりの原因になるなど、深刻な問題となっています。当研究室では、歩行中の靴底と床面間の力学解析と動作解析に基づいて、すべりを原因とする転倒発生機構の解明に取り組むとともに、靴底材料と床材料に求められる摩擦係数やすべりにくい歩行動作に関する研究を行っています。

超耐滑靴底･床材料の開発に関する研究

当研究室では、水や油、粉体などで覆われた床面に対して優れた耐滑性を示す靴底材料や靴底意匠の開発、濡れてもすべりにくい床材料の開発に取り組んでいます。接触面観察システムを用いた摩擦試験により、液体や粉体を効果的に接触面から排除することが出来る靴底意匠の開発に成功し、歩行安全性に優れる超耐滑靴の実用化を達成しています。

センサーシューデバイスを用いた歩行解析に関する研究

靴底に多数の力覚センサを配置したセンサシューデバイスを用いた歩行解析システムの開発に取り組んでいます。このセンサシューデバイスを用いることにより、歩行中の靴底面内の応力分布に基づいた靴底意匠の設計が可能となります。また、歩行中の圧力中心点や重心位置の推定などが可能となり、場所によらない歩行解析が実現が期待されます。

産学連携の取組み

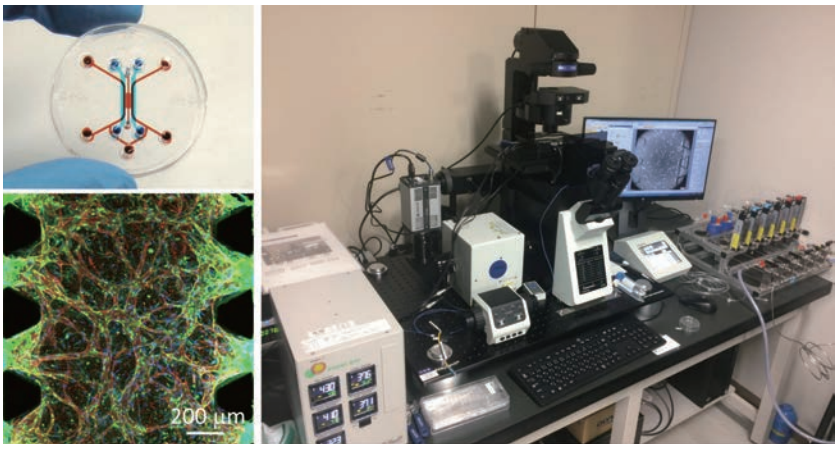
当研究室は産学連携による研究成果の「社会還元」に積極的に取り組んでいます。これまでに入院患者用安全サンダル、超耐滑ラバーソール、歩道用の防滑コンクリートブロック、肌触り感に優れるティッシュペーパー、靴・床耐滑性評価試験システムの実用化に成功しています。また、その他の研究内容、研究成果は当研究室HP をご覧下さい。

機械・医工学コース
流体科学研究所

船本 研究室

准教授
船本　健一

協力講座
融合計算医工学研究分野
http://www.ifs.tohoku.ac.jp/sme/index-j.htm



3-in-1 生体模擬チップ（左上図）とチップ内に形成した微小血管網の顕微鏡画像（左下図）、細胞群の３次元動態のタイムラプス観察システム（右図）

マイクロ流体デバイスによる生体内微小環境の再現と細胞動態の制御

生体内の細胞は、運動や血流による力学的な刺激と、生化学物質による化学的な刺激を感知して応答します。細胞の正常な応答は、分化・形態形成・生体恒常性の維持にとって必要不可欠であり、万が一それらの機能が破綻した場合には、疾患の発症や様々なダメージを引き起こします。また、生体組織の内部の酸素濃度は大気中よりも低く、血流の状態による時間的な変化もあり、細胞に対して大きな影響を与えています。そのため、生理現象の解明と疾患の治療技術の革新には、時間的・空間的に変化する低酸素環境における個々の細胞の応答と細胞群の相互作用を解明し、制御することが重要です。本研究室では、生体内の微小環境を再現・模擬する「マイクロ流体デバイス」の開発を行い、様々な条件下における細胞群の動態のメカニズムの解明と、その制御について研究しています。

3-in-1生体模擬チップの開発

酸素濃度・力学的刺激・化学的刺激の３つの因子を制御し、生理的環境と病的環境の両方を再現するマイクロ流体デバイス「3-in-1生体模擬チップ」を開発しています。酸素濃度を調整した混合ガスをガス流路に供給することで酸素状態を制御しながら、細胞に対して力学的刺激（圧力やせん断応力）と化学的刺激（生化学物質や薬の濃度勾配）を負荷するデバイスを開発しています。

がん細胞の遊走の計測と制御

がん組織内部（がん微小環境）では、細胞の過剰な増殖と未熟な血管網の形成により、酸素濃度の不均一な分布（空間変化）と急性の低酸素負荷と再酸素化（時間変化）が生じます。酸素濃度の時空間変化は、がん細胞の遊走と血管新生を活発化させてがんの成長と転移を促します。本研究では、３次元培養したがん細胞の低酸素刺激に対する応答の解明と制御に取り組んでいます。

血管内皮細胞単層の物質透過性の評価

血管の内側は血管内皮細胞の単層により覆われています。この血管内皮細胞の単層の物質透過性は、出血の発生や動脈硬化の発症と進展、がんの転移などの様々な疾病と関連があります。本研究では、虚血再灌流などにより誘起され、遺伝子の発現を即座に変えるとされる酸素濃度の変化に焦点をあて、低酸素負荷による血管内皮細胞単層の物質透過性の変化を明らかにする研究を行っています。

ヒト胎盤チップによる胎盤機能の再現

胎児の健やかな発育と母体の良好な健康状態の維持には、胎盤の正常な機能が必要不可欠です。母体の栄養・健康状態が胎盤と胎児に与える影響について多くの動物実験が行われてきましたが、種によって胎盤の構造が異なるという根本的な問題があります。本研究では、微小環境の酸素濃度の制御と細胞の共培養を可能にする細胞培養技術を応用し、ヒト胎盤の機能の再現に取り組んでいます。

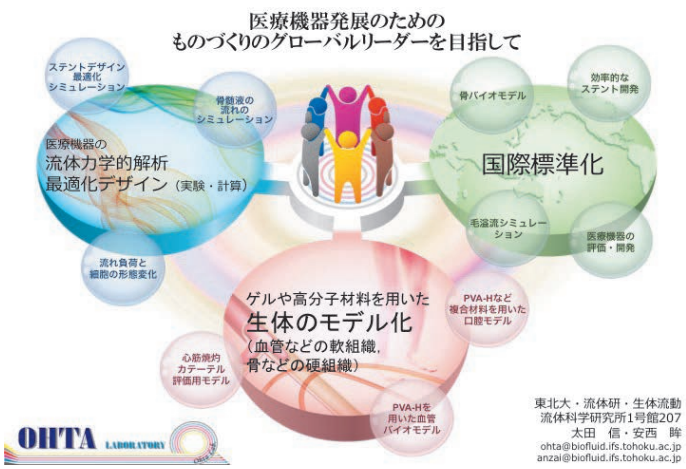
機械・医工学コース
流体科学研究所

太田・安西 研究室

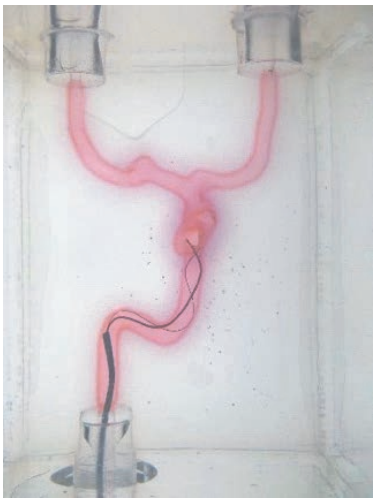
教 授
太田 信

助 教
安西 眸

協力講座
生体流動ダイナミクス研究分野
https://www.ifs.tohoku.ac.jp/bfc



太田研のコンセプト



血管モデル

血管内治療デバイス評価用　血管モデルの開発

血管疾患部とそっくりの力学特性および形状を持つモデルを開発しています。本モデルはカテーテルなどの先端医療機器の開発や訓練に役立つもので、治験前の試験に最適です。医療機器の問題点の洗い出しを通じて、治験数や動物実験数を減らすことが可能になります。本研究室では、動脈のモデルに PVA-H（ポリビニルアルコールハイドロゲル）を主とした材料から開発しています。このため、血管とカテーテルとの摩擦係数や形状を様々に変化させることができます。本モデルを利用してこれまでにもアブレーションカテーテル、フローダイバータステントなど、多くの医療機器の評価や、効果の可視化を通じてメカニズムの解明に共同研究を通じて取り組んできました。またモデルの国際標準化も推し進め、医療機器の定量的評価を可能にし、安全な医療機器の開発を通して、社会に貢献することを目指しています。

ステントデザインの血流最適化設計

脳動脈瘤の治療にフローダイバータステントと呼ばれる医療機器は、破裂例もあり改良が必要です。今後の開発には、ステントの血流効果や力学条件等多くの因子を最適なバランスにすることが大切です。そこで本研究ではデザインを最適化を自動探索する数値流体解析プログラムを開発しています。将来は、各患者に最適なステントを提供するテーラメード医療機器開発に役立ちます。

体外循環路を用いた医療機器評価

体内で使用する医療機器を、体外の循環路および生体に近い組織モデル (当研究室で開発した PVA-H モデル) を用いて評価します。これまでに、アブレーションカテーテル、超音波、クライオセラピー、マルチレイヤーステント、ステントグラフト、圧力センサ、ナノパーティクル熱特性、カテーテルシミュレーションなどを評価してきました。

ディープラーニングによる血流動態予測

血管内の流れ場を知るため、コンピュータを用いた数値流体力学 (CFD) 解析が行われてきました。しかし、CFD 解析に要する長い計算時間が問題でした。 そこでディープラーニング技術を用い、流れ場を瞬時に推定する技術を開発しました。CFD 解析では約10分を要していたのに対し、ディープラーニングでは約1秒で血流場を得ることができ、大幅な解析時間の短縮が可能です。

国際標準の推進

医療機器の評価法を国際標準化していくことは、医療機器の品質を保証し、安全な医療機器の提供に欠かせないことです。科学的に評価する方法を模索し開発していくと同時に、国際標準化活動にも積極的に参画しています。

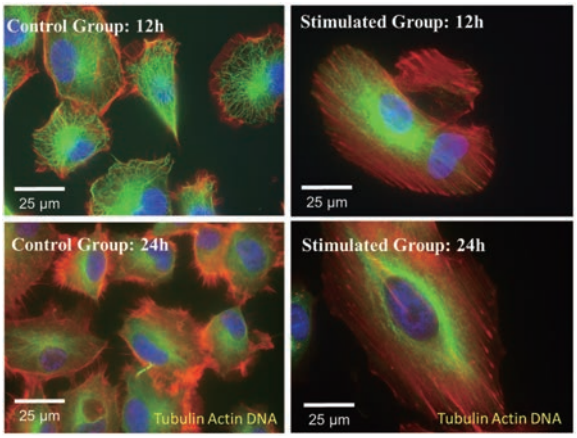
機械・医工学コース
流体科学研究所

佐藤（岳）・劉 研究室

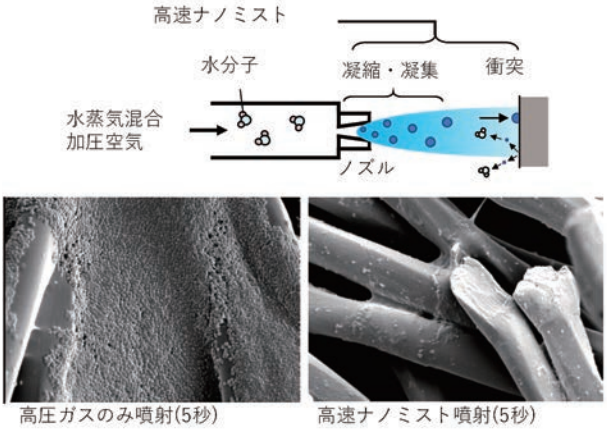
教 授
佐藤　岳彦

助 教
Liu Siwei

協力講座
生体ナノ反応流研究分野
http://www.ifs.tohoku.ac.jp/bionano/index.html



プラズマ刺激による細胞応答の変化



人工血管上に形成された黄色ブドウ球菌のバイオフィルムが高速ナノミストの処理で殺菌除去される様子（撮影：藤村茂（東北医科薬科大学教授））

プラズマ医療の基礎と応用

プラズマ流が生成する様々な物理刺激が生体にどのような影響を与えているのか解明し、プラズマ医療の基礎学理構築と新しいプラズマ医療法の開発を目指しています。プラズマ流の化学的、力学的、電気的、熱的、光学的な刺激の生成法の開発とその制御、ならびに生成された物理刺激が生体に輸送される機構の解明とその制御に関する研究を、流体工学、プラズマ工学、生体工学を融合した新しい学術的視点を通して進めています。また、生体の活性化や不活性化における細胞反応機構の解明、がん細胞に対するアポトーシス誘導法の開発、細胞活性化を利用した細胞増殖法の開発に取り組んでいます。

プラズマ複合刺激による細胞応答制御

プラズマによるがん細胞の活性化や不活性化に関する研究では、これまでは、プラズマにより生成される化学的活性種の効果が注目されていました。当研究室では、効果の強い化学種の影響を取り除いた電気的効果や紫外線による効果や化学種と電気や紫外線による相乗効果を明らかにするため、細胞応答の観察とその詳細な解析をおこなっています（写真左）。

帯電キャビテーション気泡生成とダイナミクス解明ならびにその最先端応用

レーザーで誘起したキャビテーション気泡内でプラズマを発生させ、今まで計測が困難であった気泡中の圧力や特性を明らかにすることを目指しています。また、プラズマ発生による気泡内への帯電は、気泡収縮過程で大きな電気的な力や高電界を形成するため、微小高エネルギー源や新しいバイオ・医療応用などの新しい機能を活用する手法の開発に取り組んでいます。

高速ナノミストによる新しい洗浄・殺菌法の開発

水蒸気を混合させた加圧空気をノズルから噴出させ、凝縮により高速のナノメートルスケールの液滴を生成させることで、わずかな水のみで濡らさずに洗浄・殺菌できる機能を発現することを発見しています。写真は高速ナノ液滴で殺菌除去したバイオフィルムの様子です（写真右）。高速ナノ液滴の特性と洗浄・殺菌メカニズムを明らかにし、実用化を進め社会実装することを目指しています。

不凝縮ガスを含む水蒸気の流れの熱流動解析

高圧蒸気滅菌器は２気圧以上の飽和水蒸気により滅菌する装置ですが、滅菌器に含まれる空気などの不凝縮ガスが存在すると飽和蒸気圧が低下し、滅菌性能に影響が出ることが知られています。そこで、水蒸気中の不凝縮ガスをリアルタイムで検出し、冷却面近傍の水蒸気と不凝縮ガスの流れを明らかにすることを目指しています。

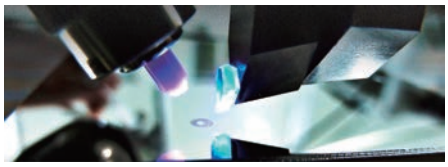
機械・医工学コース
グリーン未来創造機構グリーンクロステック研究研究センター

水谷 研究室

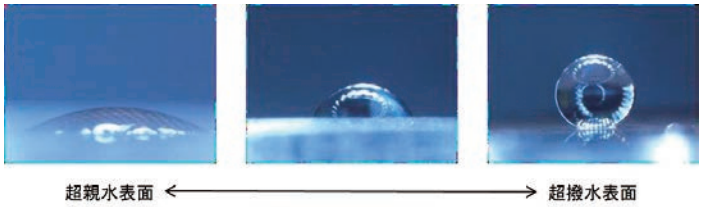
教 授
水谷 正義

協力講座
マニュファクチャリングプロセス分野
http://mmlab.mech.tohoku.ac.jp/

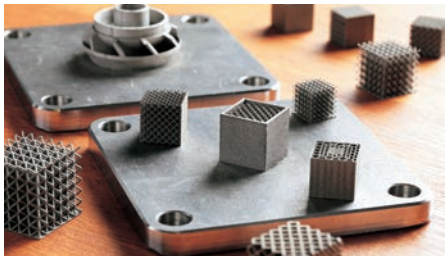
レーザ照射により得られる多彩な幾何学形状



レーザ援用切削の様子



表面機能の一例（材料表面の濡れ性制御）



3D プリンターにより造形したラティス構造体

機能を持つ新たな界面創りとその応用

日本のものづくりが世界を牽引する力を維持するためには、これまでにはなかった新たな技術が必要です。本研究室ではその一つとしてナノ・マイクロファブリケーションを利用し、材料の表面に様々な機能をもたせた「機能性界面」を創成する技術の開発を行っています。ナノ精度の加工技術を利用して「もの」の表面を単純に加工する、あるいは精密に成形するだけではなく、プラスアルファの機能をもたせるところが、本研究の特徴です。

本研究室では、これからの社会に必要不可欠な“夢”のある高機能加工技術のフロンティアを目指し、マイクロファブリケーション技術の新しい加工原理の創出、その科学的解明ならびに実用化を視野に入れた研究を、産学連携を基盤として行っています。

新たなプロセスを創り出す!
—キーワードは“ハイブリッド（複合）”—

レーザ加工や放電加工などの材料加工プロセスで“ちょっとした手を加える”と、表面の幾何学的な構造や化学的な組成が様々に変化します。この現象に着目し、メカニズムの解明とその制御に取り組んでいます。本手法により、表面の「濡れ性」や「潤滑性」、「光学特性」などの様々な機能を持った表面を創成することが可能であり、新たな表面創成プロセスとして期待できます。

光で表面に細工する?

超短パルス（ピコ秒～フェムト秒）のレーザ照射を利用することにより、材料表面に周期性あるいはランダム性を有する構造が創成され、様々な機能を付与することが可能になります。本研究室では、レーザを材料に照射した際に生じる現象をシミュレーションにより可視化するとともに、実験的な手法を用いて明らかにし、新しい機能性界面創成技術を提案しています。

光を当てて切り取る?
—レーザ援用マイクロ切削によるマイクロナノ複合構造体の創成—

レーザ照射は、材料表層の物性を変化させる方法として非常に有効なツールにもなります。そのような現象を利用し、機械加工プロセス（超精密切削）にレーザ照射を援用することにより、切り屑生成部分の局所的な材料物性を変化させ、光学的な機能性を有するマイクロ・ナノ複合構造体を欠陥レスで効率的に加工するプロセスの構築を行っています。

多孔質構造体の新たな作り方!
—3Dプリンターを利用した機能性インプラントの開発—

3D プリンターは、目的とする構造物の３次元形状情報があれば複雑な形状でも造形が可能です。この特徴を利用して、医療分野ではテーラーメイドのインプラント（人工骨、骨固定材など）作製技術として期待されています。本研究室では、3D プリンターの造形プロセスで生じるミクロな現象を解明し、それを応用して新たな機能を付加する、革新的なプロセスの開発に取り組んでいます。

エネルギー環境

Environment and Energy Engineering

エネルギー環境コース
流体科学研究所

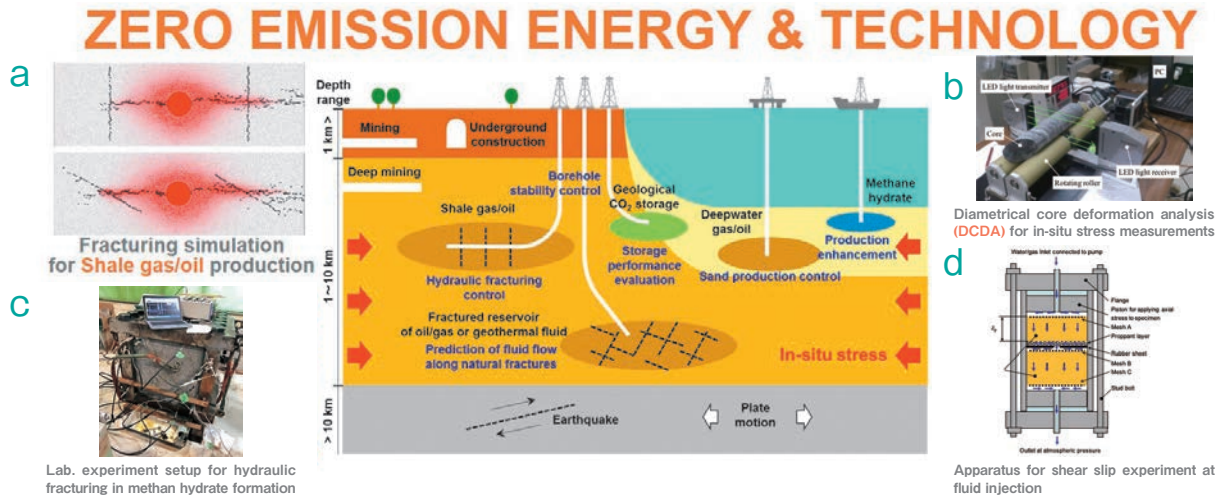
伊藤・椋平 研究室

教 授
伊藤　高敏

助 教
椋平　祐輔

未到エネルギー研究センター
協力講座　地殻環境エネルギー研究分野

http://www.ifs.tohoku.ac.jp/geo/



”Geomechanics ＝ Geo（地球）＋ Mechanics（力学）”による地球温暖化ガスを削減するためのエネルギーと新技術の開発

近年、非在来型資源開発の発展と共に、Geomechanics（ジオメカニクス）の理解が、地下の破壊現象の理解や資源開発に重要であることが分かってきました。当研究分野では、ジオメカニクスを軸に、二酸化炭素地下貯留、メタンハイドレート、非在来型資源、高精度地殻応力測定、超臨界地熱開発を対象として研究を実施しています。地球環境問題とエネルギー問題の解決を目指し、地殻内に天然に存在する特殊環境（温度、圧力、閉鎖性）を高度に利用することで、調和のとれた人と自然の関係を達成することを目指した様々な研究を行っています。

a. 非在来型石油資源開発における フラクチャリング法の高度利用

シェールガス・オイル等の非在来型資源は浸透性の低い地層に貯留していることが多く、その生産には岩盤に割れ目を造るフラクチャリング法が必要不可欠です。しかし、地下での破壊現象は直接観察できない為、未解明の部分が多く、効率的な生産のためフラクチャーを制御する技術が熱望されています。当研究室では、このフラクチャー伸展挙動や、透水性改善のメカニズムを解明し、工学的に応用するための新たな理論を構築する研究を行っています。

b. コア変形法による地殻応力測定

地熱や非在来型石油・ガス資源の開発では、地下の対象地層に作用している地殻応力が、流体資源の生産性を決定する重要なパラメータとなります。また地震リスクを評価する際の決定的なパラメータでもあります。対象地下岩体のボーリングで回収される地下岩石片（コア）の変形を高精度に測定することで、従来は困難であった地殻応力を直接推定する手法の開発を行っています。

c. 様々な地下開発時の地震リスク低減

国外の地熱や非在来型石油・ガス資源の開発時に稀に地震が発生し地上の設備に被害を与える事例があります。エネルギー開発のリスク低減と、安全安心な資源開発の為に、岩石実験や実データ解析を通して、地殻応力、流体と地震発生の関係性の解明を目指し、研究を行っています。

d. 未固結層のフラクチャリング挙動解明と メタンハイドレート開発への応用

わが国の次世代型資源として注目されているメタンハイドレートは海底の砂層等の未固結層内に存在し、その効率的生産のためにフラクチャリング法を利用することが考えられています。しかし未固結層内では固結した岩体に対する従来のフラクチャリング理論が適用できません。そこで、当研究室では独自の実験設備や解析手法を駆使し、未固結層内でのフラクチャー形態の解明に従事しています。

東北大学機械系産学懇談会
会　員　リ　ス　ト

8月1日現在

企業名
CKD㈱
JFEエンジニアリング㈱
JFEスチール㈱
㈱KOKUSAI　ELECTRIC
NOK㈱
NTN㈱
㈱SUMCO
TDK㈱
朝日インテック㈱
旭化成㈱
アズビル㈱
アルプスアルパイン㈱
イーグル工業㈱
オークマ㈱
大谷製鉄㈱
オリンパス㈱
川崎重工業㈱
キヤノン㈱
京セラ㈱
㈱クボタ
㈱神戸製鋼所
㈱小松製作所
㈱ジェイテクト
㈱シグマ
㈱島津製作所
ジャパン マリンユナイテッド㈱
信越化学工業㈱
㈱神鋼環境ソリューション
新明和工業㈱
スズキ㈱
スタンレー電気㈱
住友化学㈱
住友金属鉱山㈱
住友重機械工業㈱
住友精密工業㈱
住友電気工業㈱
住友ベークライト㈱
セイコーエプソン㈱
大同特殊鋼㈱
大日本印刷㈱
ダイハツ工業㈱
㈱ダイヘン
㈱タンガロイ
帝人㈱
㈱デンソー
東海旅客鉄道㈱
東京エレクトロン宮城㈱
㈱東芝
東レ㈱
東レエンジニアリング㈱
凸版印刷㈱
トヨタ自動車東日本㈱
㈱豊田自動織機
ニチアス㈱
日揮ホールディングス㈱
日産自動車㈱
日鉄エンジニアリング㈱
（一財）　日本海事協会
日本航空電子工業㈱
日本精工㈱
㈱日本製鋼所
日本製鉄㈱
日本電気㈱（NEC）
日本ミシュランタイヤ㈱
㈱ニューフレアテクノロジー
㈱ハッピージャパン
パナソニックグループ
日立建機㈱
㈱日立製作所
日野自動車㈱
ヒロセ電機㈱
ファナック㈱
フードテクノエンジニアリング㈱
㈱フェローテックホールディングス
富士通㈱
富士電機㈱
富士フイルム㈱
プライムネットエナジー&ソリューションズ㈱
ブラザー工業㈱
㈱ブリヂストン
古河電気工業㈱
㈱プロテリアル
本田技研工業㈱
㈱牧野フライス製作所
マニー㈱
マツダ㈱
三井海洋開発㈱
三菱重工環境・化学エンジニアリング㈱
三菱電機㈱
三菱電機エンジニアリング㈱
三菱電機ソフトウエア㈱
三菱マテリアル㈱
ミネベアミツミ㈱
村田機械㈱
㈱村田製作所
㈱モリタホールディングス
森松T&S㈱
ヤマハ発動機㈱
㈱リコー
リコーインダストリアルリューションズ㈱

ゆめ きかい 東北大

機械系産学連携推進室
Office for Promotion of Engineers Network

東北大学大学院
工学研究科・情報科学研究科・環境科学研究科・医工学研究科

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01
Tel 022-795-7034
Fax 022-795-7002
E-mail open-mech@grp.tohoku.ac.jp
URL http://www.open.mech.tohoku.ac.jp/