

# 機械・医工学

Mechanical / Biomedical Engineering





教授  
芳賀 洋一

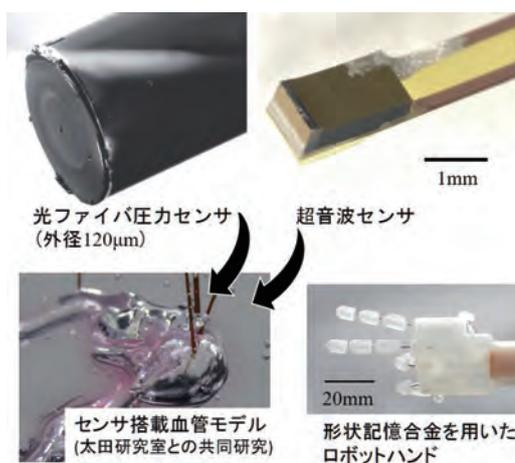
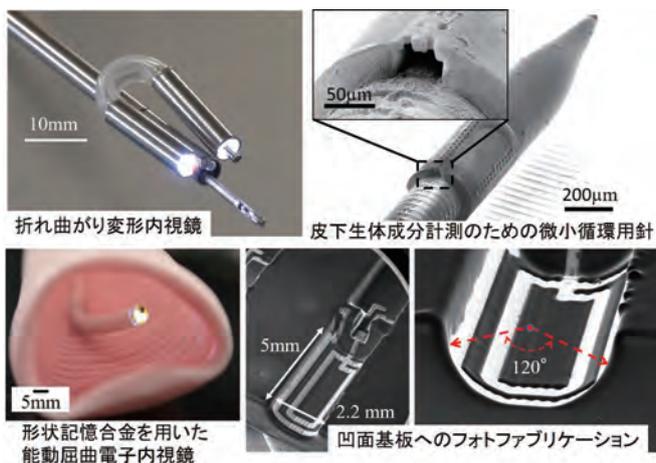


助教  
鶴岡 典子

## 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/>



### マイ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。

#### 高性能、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。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。

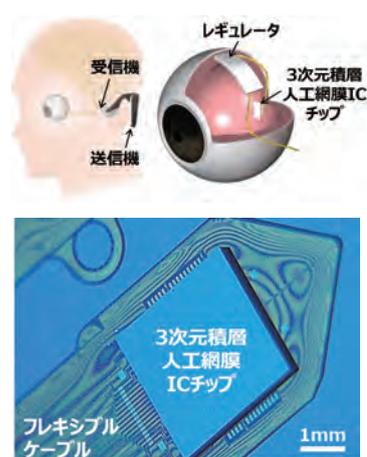
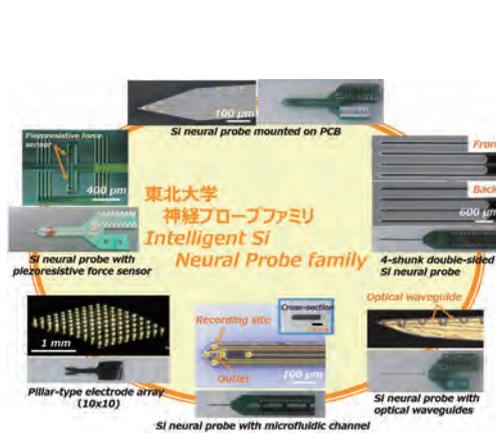
# 田中(徹) 研究室



教授  
田中 徹

生体機械システム医工学講座  
医用ナノシステム学分野

<https://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、生体と機械を総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・神経系の電氣的・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・インプラント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氣的・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。



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

<https://www.lbc.mech.tohoku.ac.jp/>

**貼って生体情報をモニタリング**  
水を含むハイドロゲル基板上に形成した柔軟微細配線  
マイクロ・ナノ加工技術を集積  
高密度インターコネク  
柔軟な薄い生体適合性シートに埋め込んだチップ

**血管可視化シート**  
期待される画像

**自己組織化によるナノ配線形成**  
ブロック高分子

**”半導体”研究に興味がある方はお気軽にお問合せ下さい。** [fukushima-tak@tohoku.ac.jp](mailto:fukushima-tak@tohoku.ac.jp)  
0.1秒以内で一括して1 $\mu$ m以下の高精度な位置合わせを実現  
一括実装  
3D積層  
液滴  
疎水性  
親水性  
半導体チップやセンサ

**4段積層した三次元チップの電子顕微鏡断面写真**  
厚さ0.05mmのICチップを接合  
銅を埋め込む貫通配線TSV  
0.05mm  
Si

**VCSEL**  
鳥瞰図  
上面図  
一辺0.3mm  
一辺0.05mm

**自己組織化実装により接合した面発光レーザーVCSEL(左)と極小LED(右)**

**高集積なフレキシブルセンサやウェアラブル医療システム技術**  
**次世代人工知能を牽引する脳の構造を模したAI半導体技術**  
**ロボットでは掴めない極小構造体の高精度集積技術“セルフアセンブリ”**

## 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)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。

## 西澤・照月 研究室



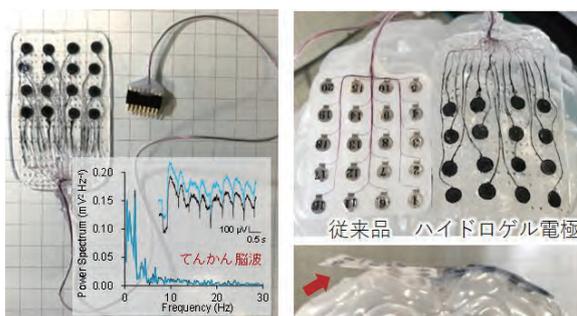
教授  
西澤 松彦



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/index\\_j.html](http://www.biomems.mech.tohoku.ac.jp/index_j.html)



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。

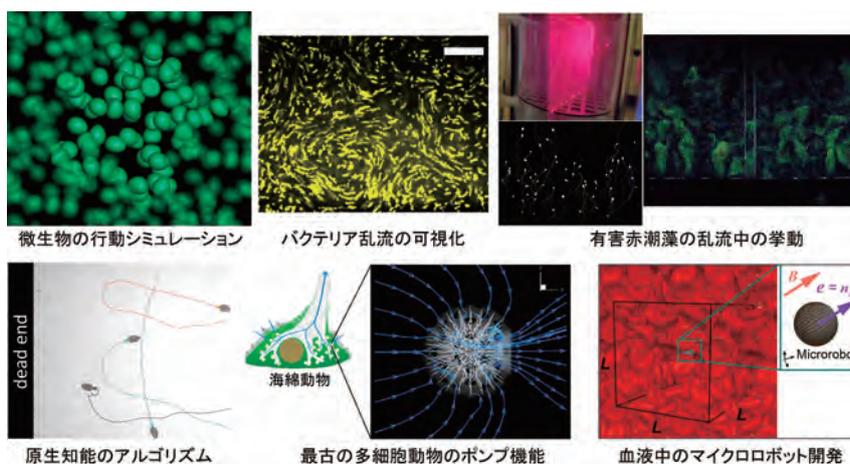


教授  
石川 拓司

## 石川 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](http://www.bfsl.mech.tohoku.ac.jp/index_jp.html)



微生物の行動シミュレーション

バクテリア乱流の可視化

有害赤潮藻の乱流中の挙動

原生知能のアルゴリズム

最古の多細胞動物のポンプ機能

血液中のマイクロロボット開発

環境問題や生命現象の力学的理解、医療応用やマイクロロボットの開発など、諸問題を解決すべく実験・理論・数値計算を用いた研究を行っています。

## 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、こうした諸問題の解決を目指しています。

### 微生物の行動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などの相互作用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っています。

### 生命現象の力学的な理解と解明

人体の左右軸は、初期胚のノードと呼ばれるくぼみの微弱な流れの方向で決まります。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。さまざま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。

### アクティブマター流体力学の構築

アクティブマター流体力学とは、自律運動する多数の粒子（鳥の群れや魚の群れ、微生物の大群など）が群れとしてどのように振舞うかを記述する新しい学問です。我々は、アクティブマター粒子の運動や凝集、マクロな粘度や拡散係数などを世界に先駆けて解明しています。

### 血管内を移動する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、ドラッグデリバリーの分野で注目されています。我々は、血液中を効率的に推進する微小遊泳ロボットの動作原理を開発しています。ロボットの表面特性と外部磁場を制御することで、ロボットの動きを任意に制御することが可能です。

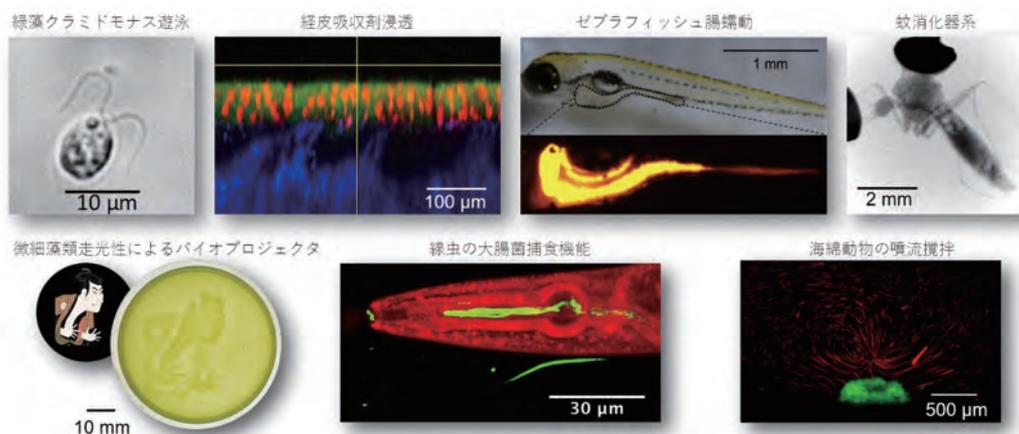
# 菊地 研究室



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](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、若しくは見ることでできない物の流れや現象、運動などを視覚的に見やすくし、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jing

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。

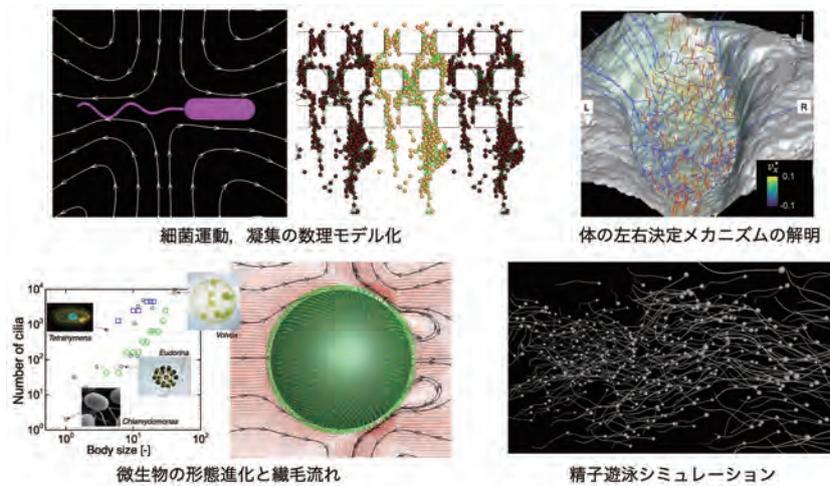


准教授  
大森 俊宏

## 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](http://www.bfsl.mech.tohoku.ac.jp/index_jp.html)



計算バイオメカニクスの構築を通じて生物と力学との関わりを明らかにする研究をおこなっています。

### 「生命の力学」を解明する計算バイオメカニクスの構築

「生命とは何か？」この問いに対して機械工学は一体どのような答えを与えてくれるのでしょうか？生命現象の力学を議論するバイオメカニクスはその解の一つです。本研究室では、流体運動を介して複雑に絡み合う細胞間相互作用を記述する新しい数理モデルや計算力学モデルを開発し、並列計算を用いた大規模な数値シミュレーションを行うことで複雑な細胞集団運動の定量化を目指します。特に、細胞の運動器官である「繊毛・鞭毛」の力学を数理モデルや様々な研究者との共同研究から明らかにすることで、生殖や発生、進化における流体運動の果たす役割を解明する研究を推進しています。

#### 複雑流動問題に対する計算力学モデルの構築

弾性に富んだ細胞は周囲の流れによって容易に変形し、その変形がさらなる複雑な流れを生み出します。本研究では、移動境界、流体構造連成問題を内包する複雑な細胞流れを解析するため、駆動力となる分子モータの運動、細胞変形、流体運動とを連立する新しい計算力学モデルの構築を行っています。

#### 流れを利用する生体機構の理解

精子が卵子にたどり着くには卵管内の流れを逆らって泳ぐ走流性を発揮する必要があり、また受精卵が正常に体の左右を決定するには繊毛によって生み出される流れが必要になります。このように様々な生命現象において流れが重要な役割を果たしており、生体流れの数理モデルを構築することで細胞運動のメカニズムから流体運動による生物の進化要因までを明らかにする研究を展開しています。

#### GPUを用いた大規模流体構造連成解析

粘性が支配的になる細胞流動では広範な細胞運動を同時に解析することが必要になってきます。そのため計算の大規模化が必要であり、高負荷な演算を処理する必要があります。本研究では最新のGPUを用いた大規模流体構造連成解析を展開することで高速演算処理を達成し、計算の大規模化に対する問題解決を図っています。

#### ソフトアクティブマターの物理

自ら運動をする細胞が集団となると細胞間の物理的な相互作用によって自発的に集団が構造化され、非自走粒子の物理とは全く異なる様相を示すことがあります。このような自走粒子の集団運動はアクティブマターと呼ばれる物理学の新分野を形成しています。細胞数理モデルの解析から何故集団化が起こり、それは生物としてどのような意義があるのかを明らかにする研究を行います。

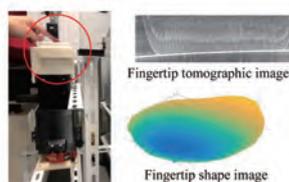
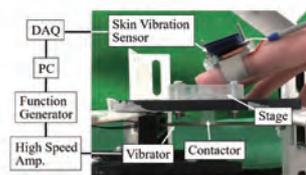
# 田中(真) 研究室



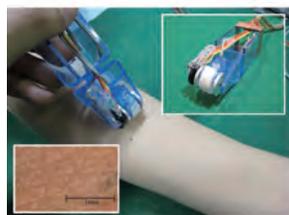
教授  
田中 真美

社会医工学講座  
医療福祉工学分野

<https://sites.google.com/view/tohoku-mech-mwel>



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。



准教授  
奥山 武志

## 奥山 研究室

社会医工学講座  
医療福祉工学分野

<https://sites.google.com/view/tohoku-mech-mwel>



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障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。

#### 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。

#### 筋音・筋振動による筋状態評価手法の創出

安全で効果的なり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。

#### 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。

# 山口 研究室



教授  
山口 健

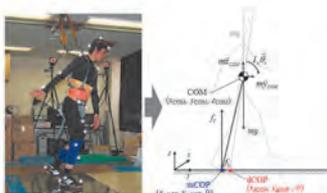
社会医工学講座

ライフサポート工学分野

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



歩行動作解析に基づく転倒危険性評価



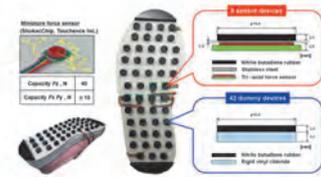
新しい動的姿勢安定性評価指標の開発



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



ティッ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. 肌触り感に優れた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、歩行安全性に優れた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ー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。このセンサー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。

### 産学連携の取り組み

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、肌触り感に優れた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をご覧ください。

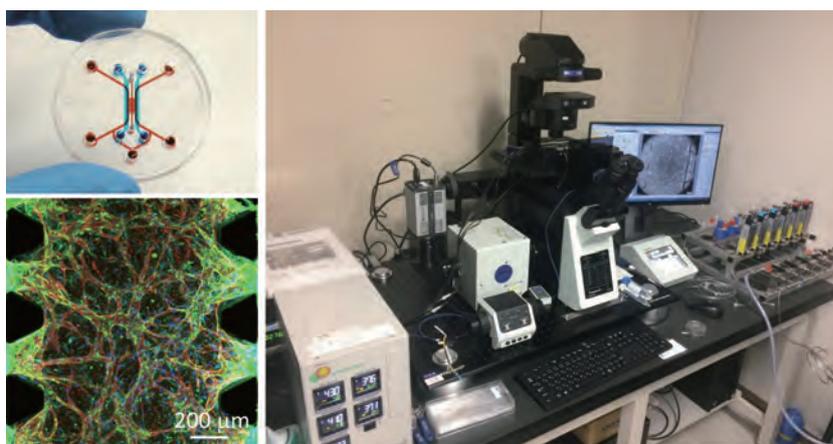


准教授  
船本 健一

## 船本 研究室

協力講座  
融合計算医工学研究分野

<https://sites.google.com/view/ifs-funamoto/home>



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・化学的刺激的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。酸素濃度の時間空間変化は、がん細胞の遊走と血管新生を活性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。

#### 細胞性粘菌の走気性の観察とモデル化

細胞性粘菌の *Dictyostellium Discoideum* は、周囲の環境を感知して遊走する性質(走性)があります。最近の研究により、この単細胞生物は、低酸素環境において酸素がより豊富な領域に向かって遊走する性質(走気性)を有することが発見されました。細胞の酸素応答の本質を解明することを目指し、細胞性粘菌の走気性の細胞実験と、数理モデルの構築および解析を行っています。

# 太田・安西 研究室



教授  
太田 信



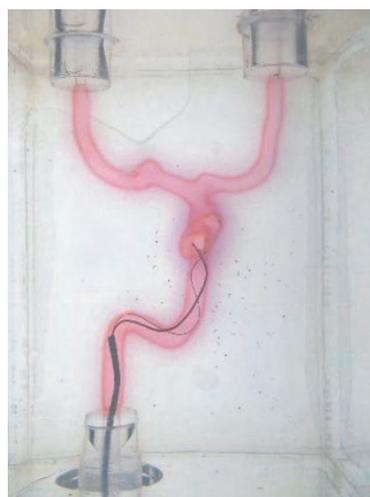
助教  
安西 眸

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/html/index\\_ohta\\_j.html](https://www.ifs.tohoku.ac.jp/bfc/html/index_ohta_j.html)



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もアブレーションカテーテル、フローダイバースtent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スtent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tent、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

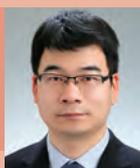
血管内の流れ場を知るため、コンピュータを用いた数値流体力学(CFD)解析が行われてきました。しかし、CFD解析に要する長い計算時間が問題でした。そこでディープラーニング技術を用い、流れ場を瞬時に推定する技術を開発しました。CFD解析では約10分を要していたのに対し、ディープラーニングでは約1秒で血流場を得ることができ、大幅な解析時間の短縮が可能です。

### 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。



教授  
佐藤 岳彦

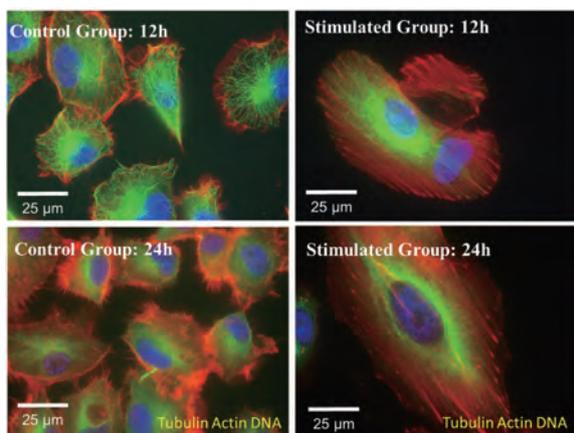


助教  
Liu Siwei

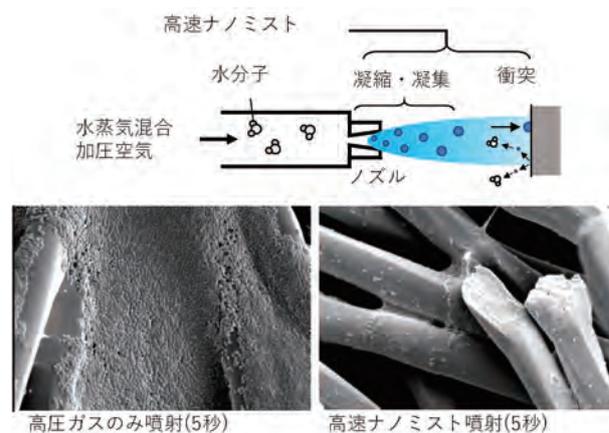
## 佐藤(岳)・劉 研究室

協力講座  
生体ナノ反応流研究分野

<https://www.ifs.tohoku.ac.jp/bionano/>



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、電氣的、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、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きました。当研究室では、効果の強い化学種の影響を取り除いた電氣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氣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。

## 水谷・久慈 研究室



教授  
水谷 正義



助教  
久慈 千栄子

協力講座  
マニファクチャリングプロセス分野（機械システムコース）  
生体機能創成学分野（機械・医工学コース）

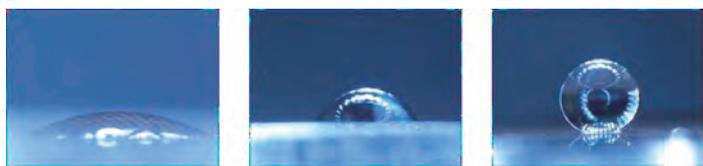
<https://mmlab.mech.tohoku.ac.jp/>



レーザ照射により得られる多彩な幾何学形状



“薄くて硬くて粘り強い”アモルファス合金



超親水表面 ← → 超撥水表面

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な不可欠な“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な変化します。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。

#### 光で加熱し“弱く”する！

—材料組織から考えるアモルファス合金の新たな切断加工—

省エネ材料として期待されるアモルファス合金は、薄くて硬くて粘り強い難加工材料です。その原因となる“材料組織”は加熱によって変化して弱くなりますが、材料全体の組織変化は省エネ性を低下させてしまいます。そこで、あえて熱影響の小さい超短パルスレーザを使用し、切断する局所領域だけを弱くして加工性を向上させる新たな加工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。