

機械システム

Mechanical Systems



教授
小野 崇人

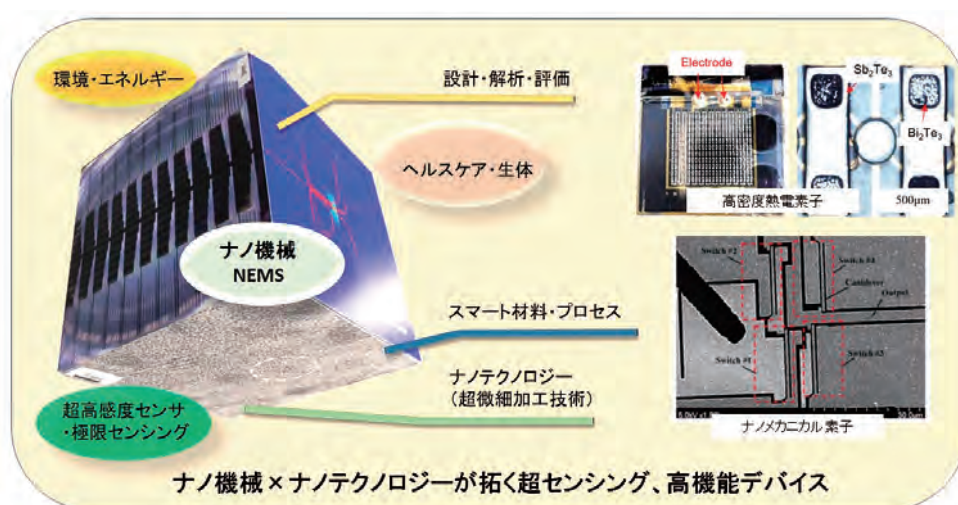


准教授
グエン バン トアン

小野・トアン 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、ブレイ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、電氣的、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

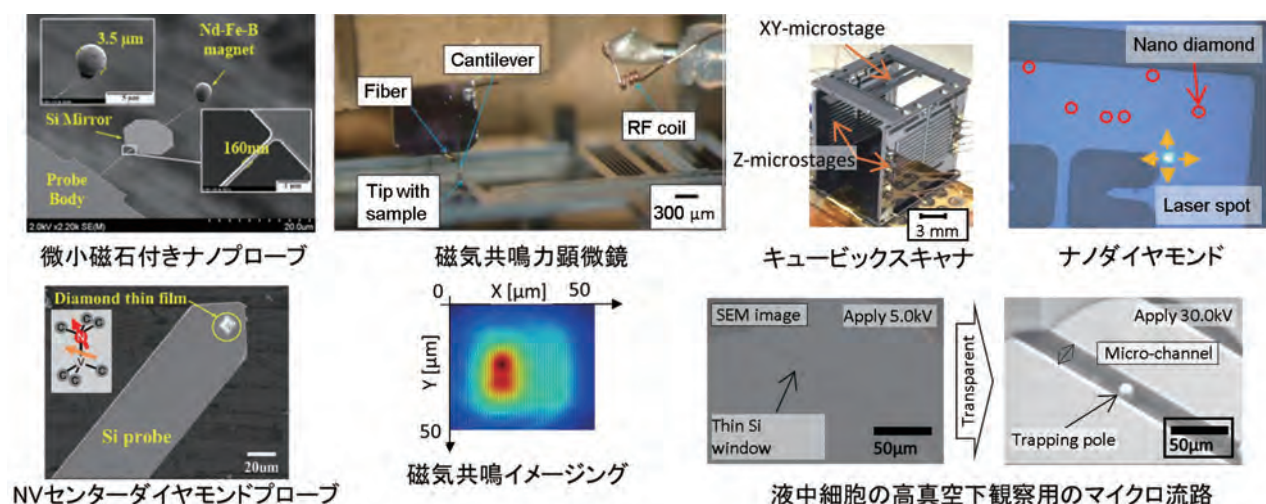
高感度・高機能センサ技術をヘルスケアや生体センシングに応用するための基礎研究を進めている。体内の成分を非侵襲で測定するため、高感度音波センサを開発し、レーザー光がターゲット物質に吸収される際の音波を検出する (光音響) ことで非侵襲計測を実現することを目指している。また、尿などの成分を自宅で簡易に測定できる高感度バイオ化学センサを開発している。

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

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

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せ、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。

超高感度なナノメカニカル磁力センサ

磁気共鳴イメージング (MRI) 技術を用いて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に 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。



教授
足立 幸志



特任教授
小池 亮

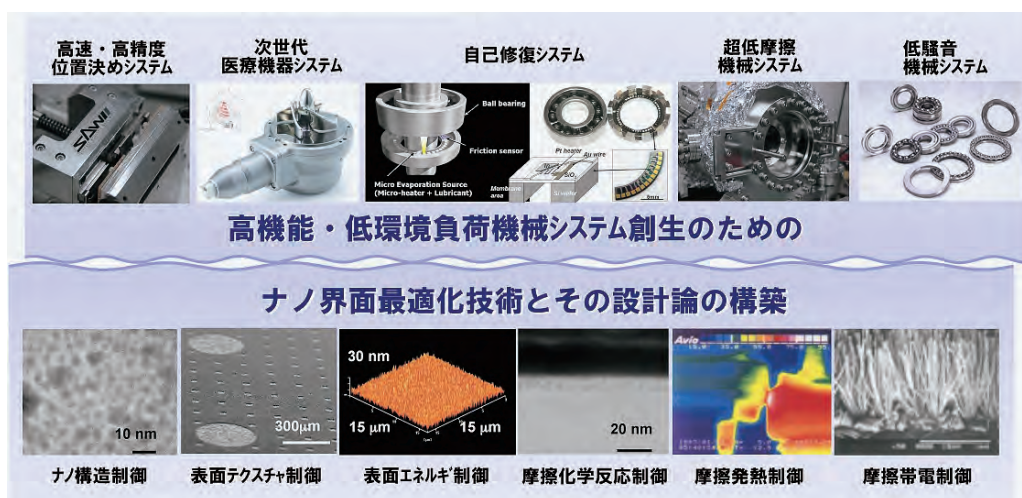


助教
厨川 和哉

足立・厨川 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現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フォームの研究開発～

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フォ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。

村島 研究室

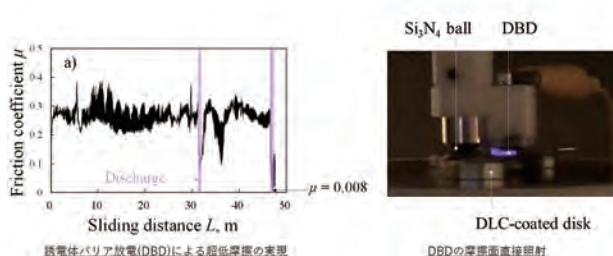
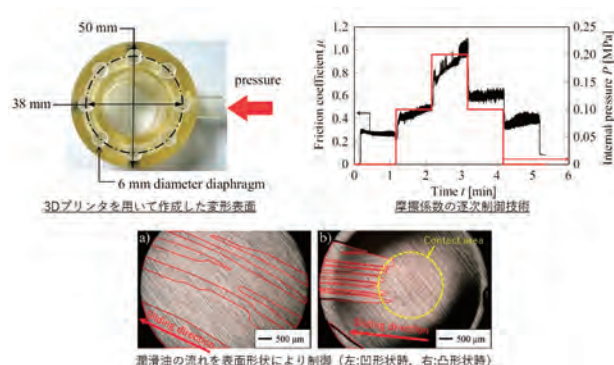
機能システム学講座

ナノ界面制御工学分野

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



准教授
村島 基之



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。

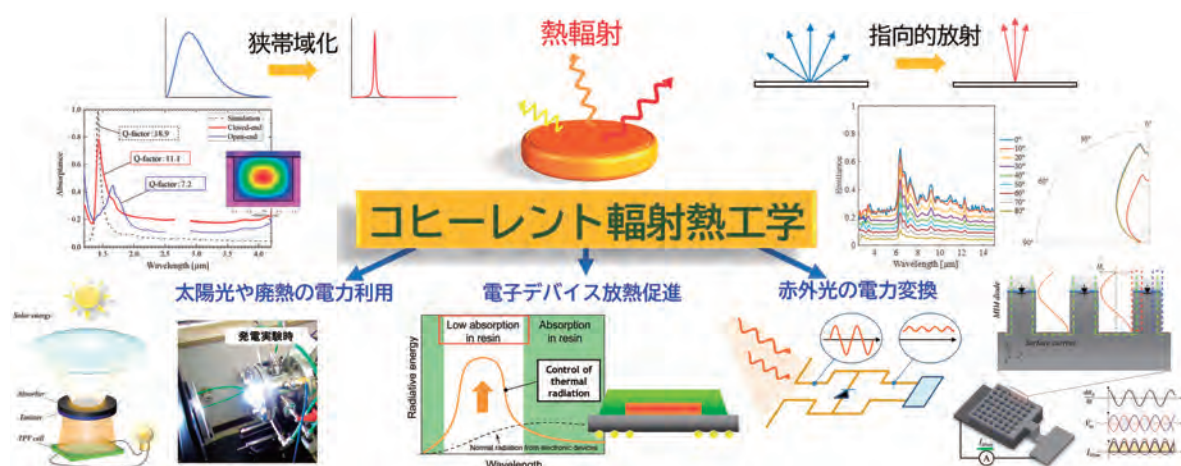


准教授
清水 信

清水 研究室

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

輻射熱の制御による先進熱利用 ～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熱発電技術

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。

熱輻射制御による電子デバイスの放熱促進

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熱発電技術

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。

合金の自己組織化に基づく大面積熱輻射制御デバイス

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。

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

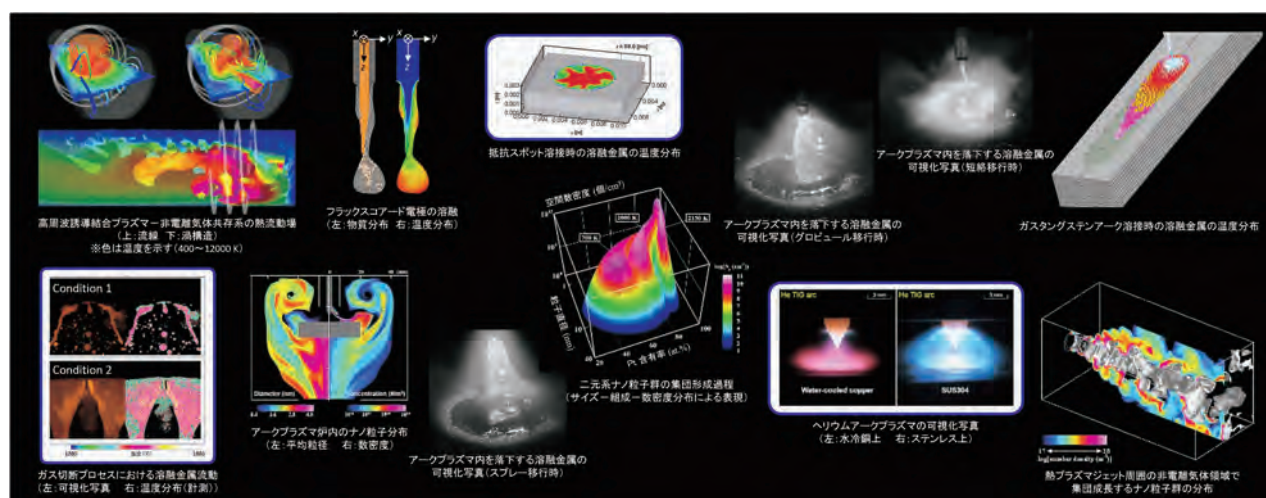
<http://www.fluid.mech.tohoku.ac.jp/>



教授
茂田 正哉



助教
杉本 真



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まなうことから、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「見る・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値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まなうプラズマ・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値モデルを組み上げ、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。

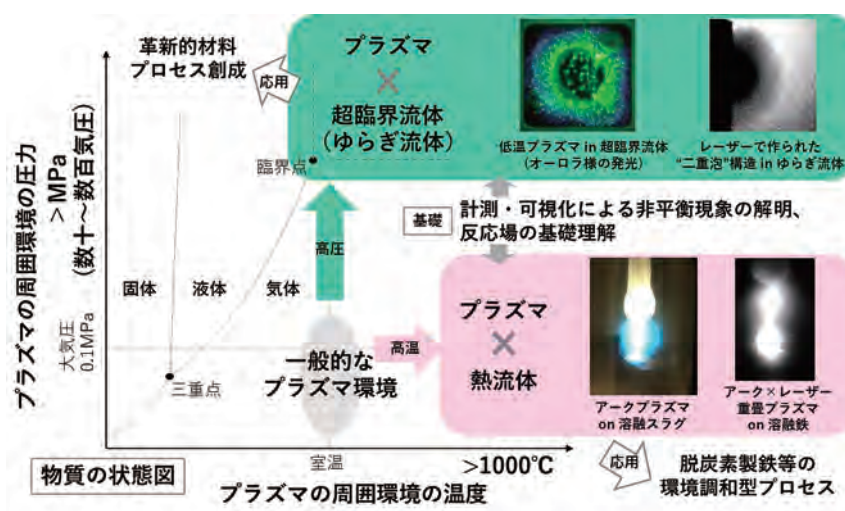


准教授
宗岡 均

宗岡 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/>



プラズマとゆらぎ・熱流体の相互作用の理解と革新的なものづくりプロセスの創成

高圧、低温、超高温といった日常から離れた「極端環境」は、機械材料や化学工学における反応場として重要な役割を担ってきました。一方、プラズマは電子・イオン・ラジカルなど多様な活性粒子を含む流体で、「物質の第4の状態」と呼ばれます。これらの極端環境流体やゆらぎ流体と、高エネルギー・高反応性のプラズマが相互作用することで、新たな物理現象を生み出すとともに、従来不可能であった革新的なものづくりプロセスが実現する可能性があります。私たちは、極端環境の流体の内部で (in)、界面で (on)、あるいはその流体状態を保持したまま (as)、放電やレーザーによりプラズマを生成・制御し、多様な光学的・電気的計測手法で計測しています。これによりプラズマ流体と周囲の流体・固体との相互作用の理解を深め、新しい材料創製や環境調和型プロセスの実現を目指しています。

高密度・ゆらぎ流体中プラズマの計測・可視化と非平衡現象の解明

気体を高圧にすると液体と気体の中間状態である超臨界流体となり、臨界点近傍では密度ゆらぎが大きくなります。この特異な流体にプラズマを導入すると、通常の気体や液体にはない非平衡な高エネルギー状態が現れます。私たちは光学・電気的手法を用いた可視化・計測によって、未解明のダイナミクスや流体構造を明らかにし、プラズマ流体科学の新領域の開拓に挑んでいます。

超臨界流体中プラズマ放電を活用した革新的材料プロセス創成

高密度かつ大きな密度ゆらぎをもつ超臨界流体中でのプラズマ放電は、高密度・高ゆらぎな流体に荷電粒子や活性種が加わることで特異な流体状態を形成し、従来にない反応場を生み出します。この特徴を活かし、ナノ材料合成や環境調和型プロセスなど新しいものづくりの可能性を探索しています。基礎現象の知見を応用につなげ、革新的プロセスの実現を目指しています。

高温溶融物とプラズマの反応場の計測・可視化と基礎理解

プラズマと高温溶融物の相互作用は、機械材料として重要な各種金属の製造や接合に広く利用されてきました。その制御は、高品質な材料プロセスや製造プロセスの高度化(特に脱炭素化)に不可欠です。私たちは1500℃を超える高温炉内でプラズマを生成・制御し、プラズマ・高温溶融物の両者を詳細に計測する独自の実験系を構築し、反応場の本質的理解に取り組んでいます。

脱炭素製鉄に向けたプラズマ・高温溶融物反応の応用

鉄鋼製造は世界のCO₂排出量の1割近くを占めており、脱炭素化が喫緊の課題です。その解決に向け、私たちはグリーン電力の活用が可能なプラズマエネルギーを用いた新しい製鉄プロセスを研究しています。反応場の精密制御、鉄鉱石還元、添加剤表面反応の制御、元素分析技術等の基礎研究・開発を総合的に進め、持続可能な材料生産を実現することを目指しています。

琵琶・楠戸 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/>



教授
琵琶 哲志



助教
楠戸 宏城



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

熱音響学は流体力学と熱力学を接続することで、仕事(音)と熱の相互変換を解明する学問です。特に、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。熱音響デバイス内を伝搬するエネルギー流やエントロピー流を実験的に観測することで、エネルギー変換機構の研究をしています。

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を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力オス、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。

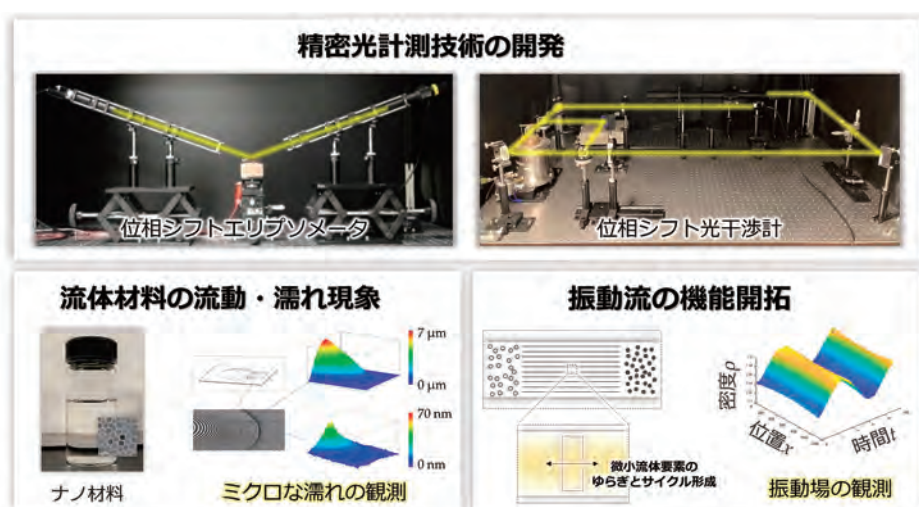


准教授
庄司 衛太

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/>


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、従来のエリブ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ブソメータ、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。

小川・齋藤 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.ogawa.rift.mech.tohoku.ac.jp/>

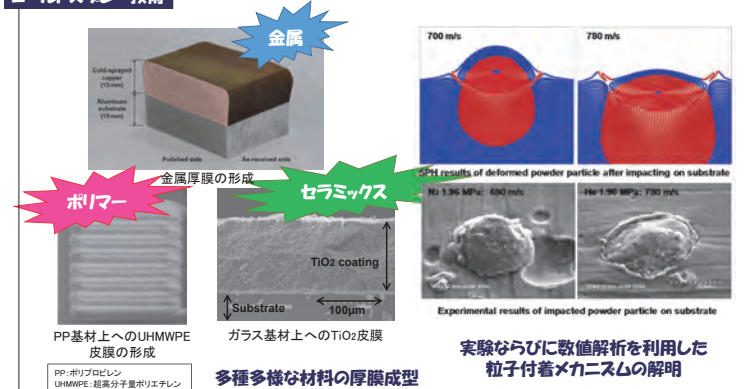


教授
小川 和洋



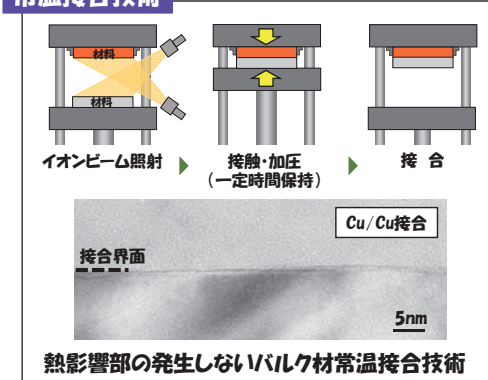
助教
齋藤 宏輝

コールドスプレー技術



コールドスプレー技術

常温接合技術



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に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。

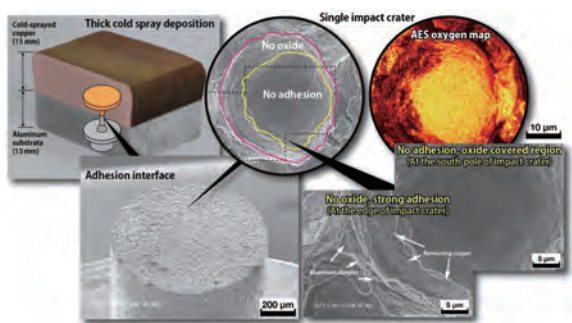


准教授
市川 裕士

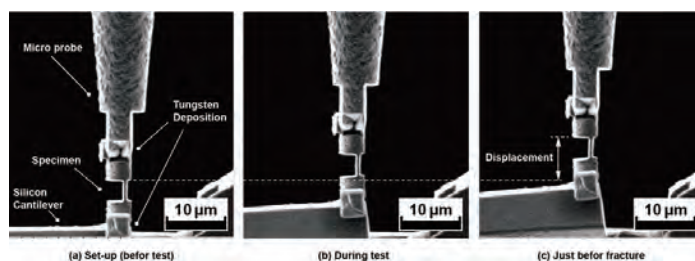
市川 研究室

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え換えられます。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られます。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

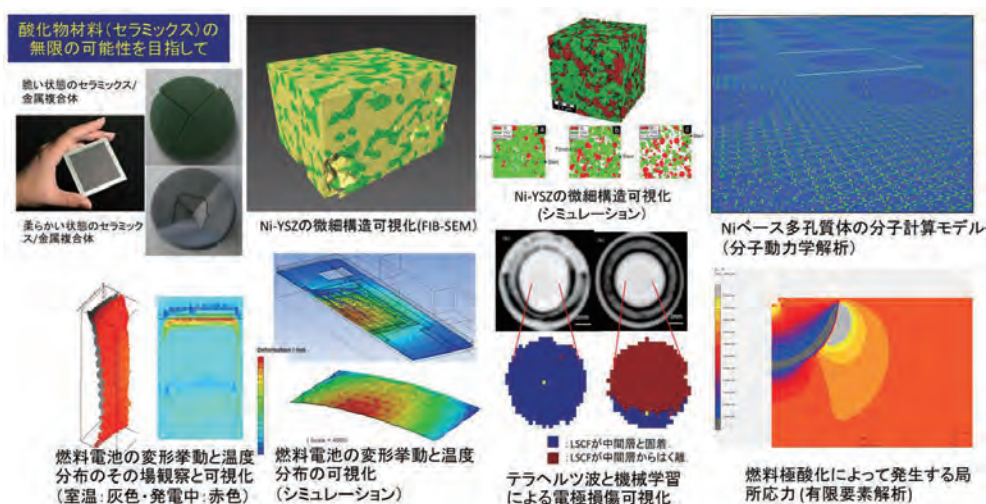
新しい固相接合技術で作られた材料の強度、特にその界面強度を知ることがその信頼性を担保するためにも非常に重要です。そして、固相接合現象の理解にも繋がる重要なテーマでもあります。そこで、本研究室ではその破壊現象の素過程を理解するために集束イオンビーム加工観察装置(FIB)を援用した数μmサイズの超小型試験片を採取し微視的界面強度評価技術を開発しています。また、実際の構造物の界面強度を簡便評価するためにレーザー衝撃波を用いた巨視的な界面強度評価技術の開発も進めています。

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。

佐藤（一）研究室



准教授
佐藤 一永



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。

機能性酸化物の高靱性化へ向けた研究

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。



教授
中田 俊彦

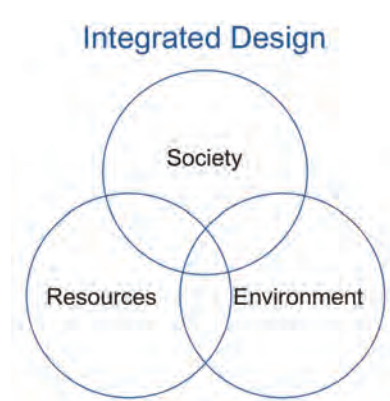


助教
Delage Remi

中田・ドラージュ 研究室

先端社会工学講座
エネルギーサステナビリティ分野

<http://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、CO₂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値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。

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/>



教授
川田 達也



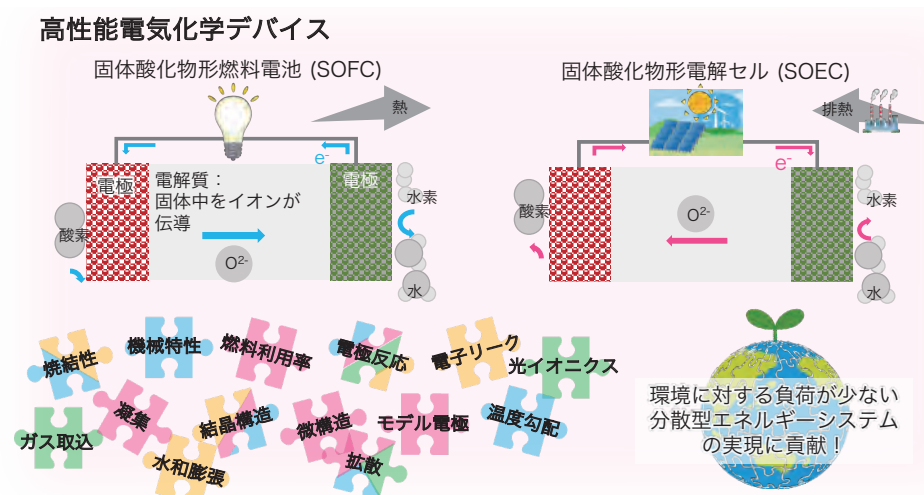
准教授(環境科学研究科)
八代 圭司



助教(環境科学研究科)
Budiman Riyan
Achmad



助教
山口 実奈



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 (SOFC) は、他のタイプの燃料電池よりもエネルギー変換効率が高く、排熱を利用しやすいため、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 SOFC は実用化されています。SOFC には、固体内をイオンが伝導する“固体イオニクス材料”が用いられます。SOFC と同様な材料を用いる電気化学デバイスとして、近年は、固体電解セル (SOEC) も注目されています。SOEC は、水蒸気電解による水素製造や、水蒸気と二酸化炭素を一緒に電解することでメタンなどのエネルギーキャリア原料である合成ガスの製造が期待されています。当研究室では、SOFC・SOEC、固体イオニクス材料の基盤研究を推進し、より高性能で信頼性に優れた電気化学デバイスの実現を目指しています。

SOFC・SOEC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「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業」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。自作装置での実験と有限要素法によるシミュレーションを相補的に用いて、SOFC の信頼性の評価法の開発および安全に使用できる条件の探索を推進しています。

SOECの長時間作動時の劣化機構解明

SOEC の実用化で課題となるのが、長時間作動時の性能低下です。これは、電極材料の劣化によるものと考えられています。一般に、電極は金属と固体イオニクス材料の複合体であり複雑な構造をしているため、劣化の原因の追究が困難です。当研究室では、薄膜モデル電極での電気化学測定や operando 顕微鏡観察を行い、SOEC の劣化機構の解明を推進しています。

プロトン伝導セラミックスを電解質に用いる燃料電池の研究

実用化されている SOFC には酸化物イオンが伝導する材料が用いられますが、より低温で作動するプロトン伝導セラミックス燃料電池 (PCFC) が、近年注目されています。PCFC の電極反応機構の解明や、PCFC 材料の機械的評価など、プロトン伝導セラミックスにおける基礎的な研究を推進しています。

固体イオニクスと光電気化学にまたがる学際的研究

近年、固体イオニクス材料へ紫外線を当てた際に光電圧が生じるという現象が報告されました。私たちはこのような光の照射と固体イオニクス材料におけるイオンの伝導やガスとの反応に注目しています。太陽エネルギーで電解に必要なエネルギーを賄うようなデバイスを夢見て、固体イオニクス材料における光電圧発生機構の解明や大きな光電圧を得るための設計指針探索に取り組んでいます。



教授
高奈 秀匡

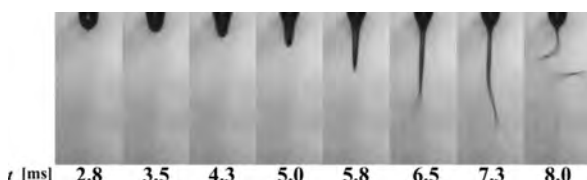
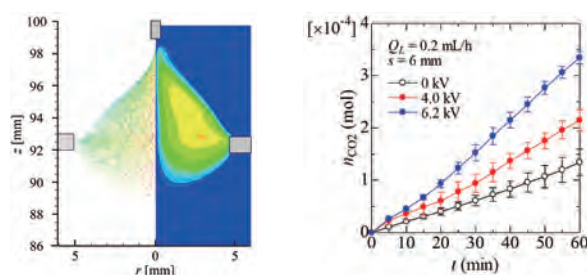


助教
金子 泰

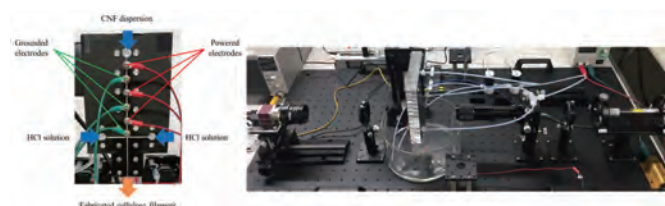
高奈・金子 研究室

協力講座
電磁機能流動研究分野

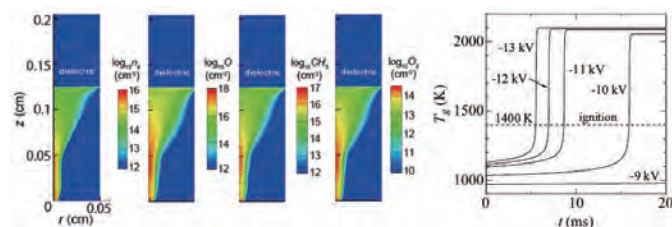
<https://www.ifs.tohoku.ac.jp/takana/japanese.html>



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-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。

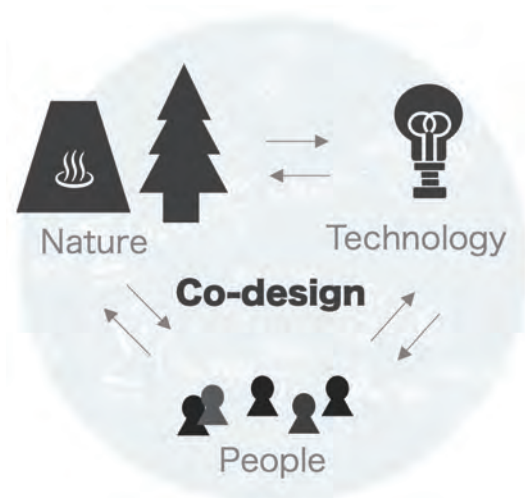
鈴木（杏）研究室



准教授
鈴木 杏奈

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のどのような社会にするべきなのか、社会の中的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。



教授
小宮 敦樹

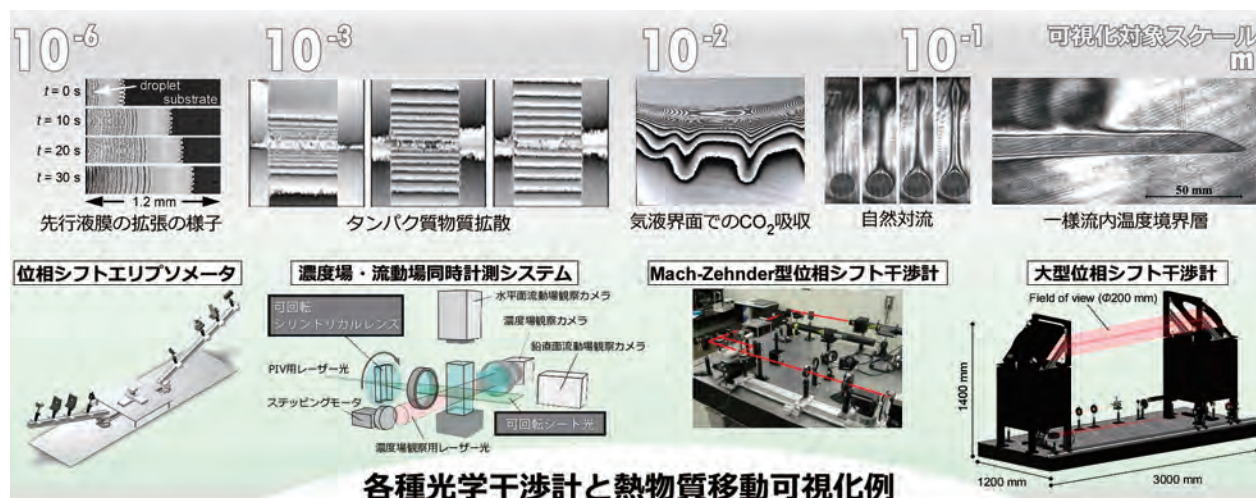


助教
神田 雄貴

小宮・神田 研究室

協力講座
伝熱制御研究分野

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



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。

アミン・イオン液体への二酸化炭素吸収現象の計測

アミン溶液やイオン液体への二酸化炭素吸収促進に向けた研究を行っています。とくにイオン液体は従来のアミン溶液に比較して、揮発性が低く、環境負荷が小さいことから、次世代の吸収液として注目を集めています。本研究では、光干渉計や数値シミュレーションを用いて二酸化炭素と吸収液との気液界面近傍における非定常熱物質輸送現象を可視化し、吸収における物質輸送特性や対流不安定性現象の評価を行っています。

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。

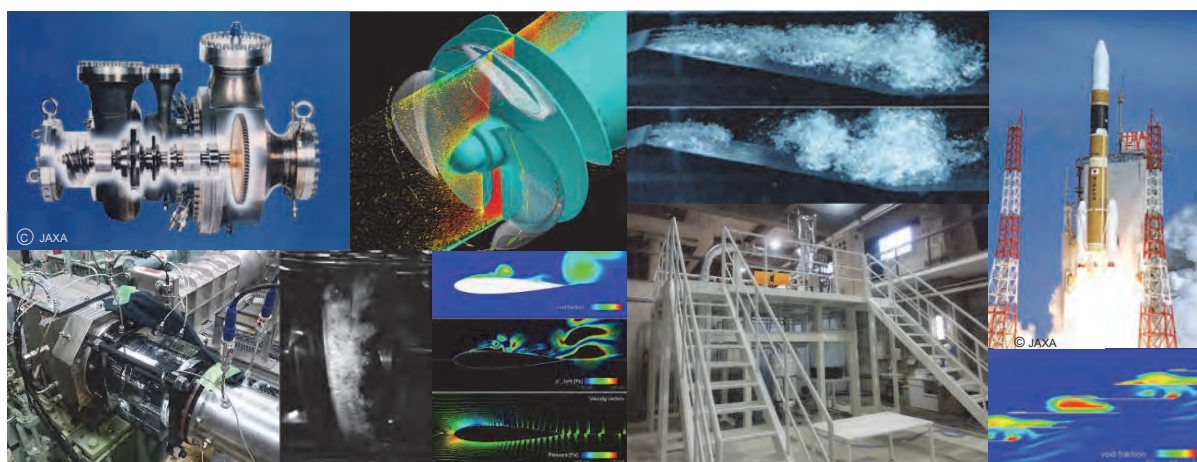
伊賀 研究室



教授
伊賀 由佳

協力講座
先進流体機械システム研究分野

<https://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性を解明するため、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んでいます。

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きました。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。

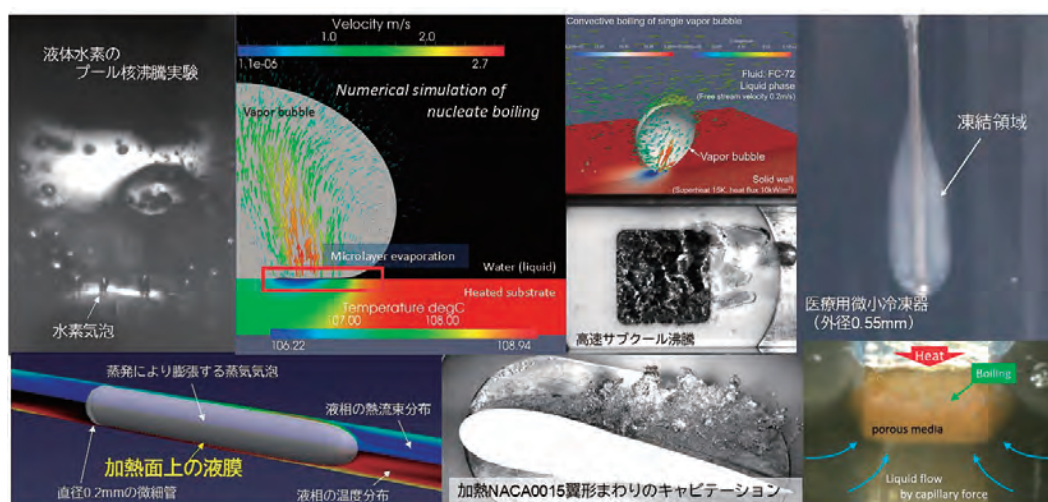


准教授
岡島 淳之介

岡島 研究室

協力講座
先進流体機械システム研究分野

<https://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・凝縮やキャピ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。

液体水素沸騰現象の可視化と熱伝達計測

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では、貯蔵・輸送・利用の各段階での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、二相流発生のかきかけとなる水素の核沸騰の可視化は実験例がほとんどありませんでした。当研究室はJAXAと共同で液体水素核沸騰現象の撮影および沸騰伝熱の基礎特性の取得に成功しました。今後、伝熱機構の解明を進めていきます。

高速流動場における相変化流れの熱流体特性の研究

流体内で相変化が生じる際、駆動力の違いで沸騰とキャピテーションが分類されますが、加熱を伴う流れ場では両者の区別は困難です。そこで、加熱物体まわりのキャピテーションおよび高速サブクール沸騰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、液体水素を作動流体とする流体機械での熱力学的効果活用のため、液体水素キャピテーションの内部温度計測に挑戦しております。

相変化熱輸送現象による高熱流束冷却システム

沸騰やキャピテーションを活用した冷却システムの開発を行っています。これまでに、減圧沸騰を活用した直径0.5mmの医療用微小冷凍器、微細管内沸騰伝熱モデルによる車載用電力制御システム用ヒートシンクなどを研究してきました。さらに熱流体デバイスを高性能化するために、液体の濡れ・蒸発特性を高めるための伝熱面構造の研究も進めております。

丸田・森井 研究室

協力講座
エネルギー動態研究分野

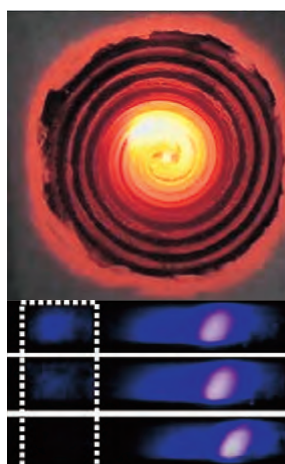
<https://www.ifs.tohoku.ac.jp/enerdyn/>



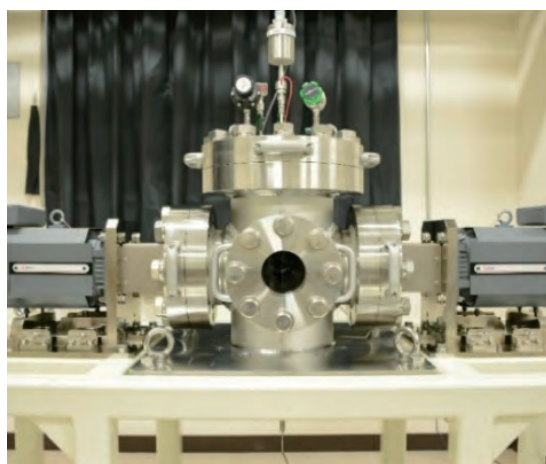
教授
丸田 薫



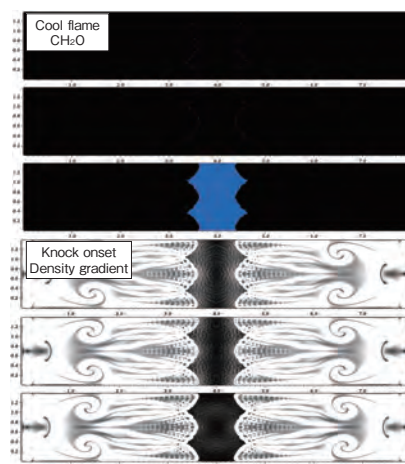
助教
森井 雄飛



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 —マイクロコンバスタからマイクロフローリアクタへ—

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倍を超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2026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下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ため、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

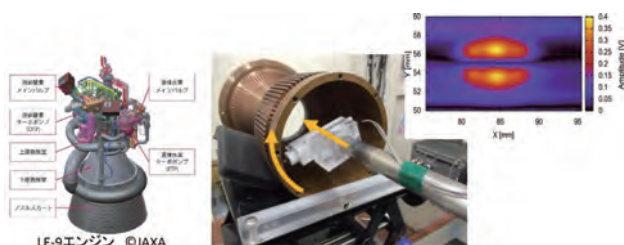
工業炉のための革新燃焼技術として世界的に普及しつつある高温空気燃焼は、排熱回収により空気を予熱(800℃以上)する燃焼技術で、2000年代に技術が確立されました。工業炉において従来燃焼法に比べ約3割の省エネ、低NO_x化、静音化を同時達成しています。本研究室ではこれをさらに改良するため、排熱回収に加えて空気の代わりに純酸素と再循環燃焼ガスを用いる「高温酸素燃焼技術」の研究開発を実施、さらに効率2割上昇の可能性、NO_x排出10ppm以下、CO₂回収との高い親和性を実現しました。現在、実用化に向けた産学連携研究により用途探索やFSを行っています。



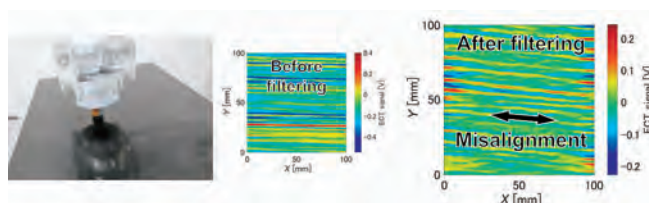
教授
内一 哲哉

内一 研究室

協力講座
流動・材料システム評価研究分野
<https://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 におけるミスマイメント層の抽出

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。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み、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、繊維ミスマイメントや繊維断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。

雨澤・川合 研究室

協力講座

固体イオニクス・デバイス研究分野

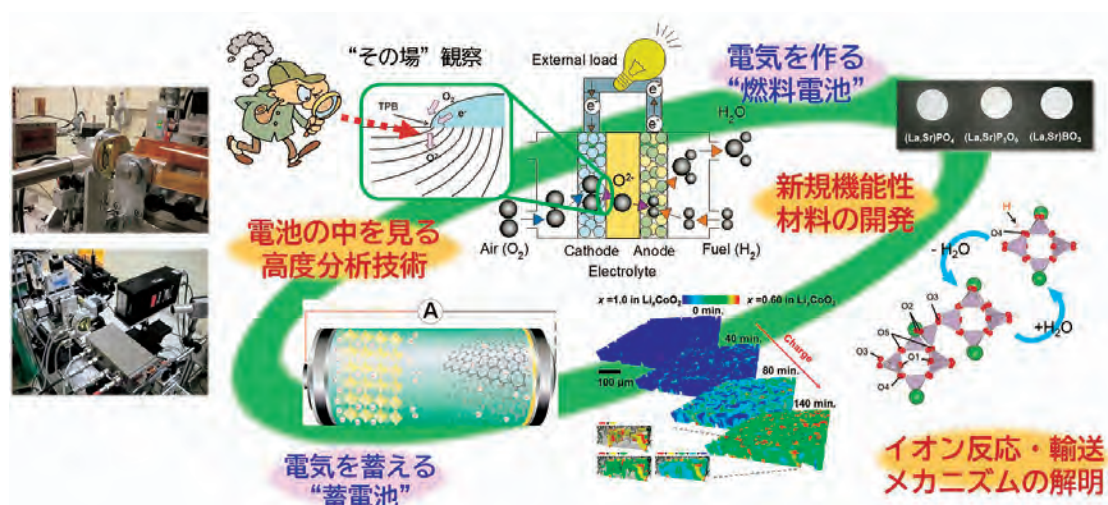
<https://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/amezawa/html/index-j.html>



教授
雨澤 浩史



助教
川合 航右



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究すると共に、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。

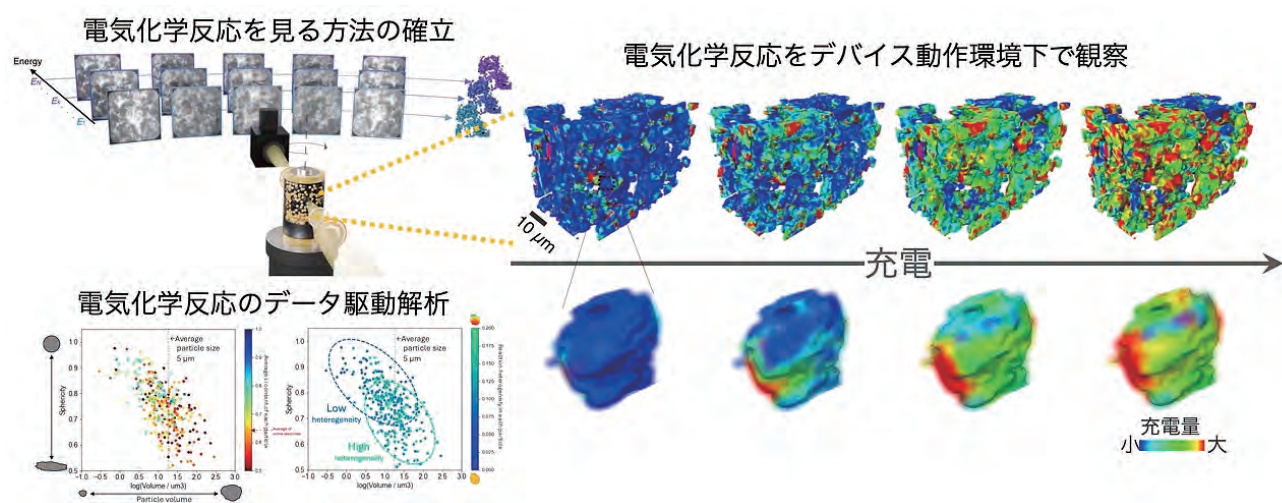


准教授
木村 勇太

木村 研究室

協力講座
固体イオニクス・デバイス研究分野

<https://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/amezawa/html/index-j.html>



“Seeing is believing” —電気化学反応を”見て”理解する—

リチウムイオン電池をはじめとする電気化学デバイスの高性能化は、持続可能な社会の実現と我が国の産業競争力強化の双方における重要課題です。これらデバイスの高性能化には、デバイス内で生じる電気化学反応への理解が欠かせません。当研究室では、電気化学デバイスが実際に動作している状況において、デバイス内のどこで、いつ、どのように反応が生じるかを可視化できる技術を開発しています。さらに、本技術により取得した反応の空間分布に関する情報や、電極の微細構造情報、およびそれらの時間変化を含む大規模多次元データに対してデータ駆動的解析手法を適用することで、デバイス内の複雑な電気化学反応をボトムアップで理解する新たな計測解析基盤を確立することを目指しています。

電気化学デバイス内で生じる反応の その場観察手法の開発

電気化学デバイスの電極の内部では、 10^{10} cm⁻³ほどの膨大な数の粒子が、3次元的に無秩序に入り乱れて、複雑な微細構造を形成しています。電気化学デバイスの反応は、このような複雑な構造の中で、空間的に極めて不均一に生じます。当研究室では、放射光を駆使して、電気化学デバイス内部で生じる不均一な電気化学反応を、その場観察できる新しい技術を開発しています。

電気化学デバイスで生じる反応の オペランド3次元観察

高レート充放電時、複数サイクル時などの様々な動作環境下（オペランド）において、電気化学デバイス内のどこで、いつ、どの程度反応が滞るか、どのように劣化していくかを、当研究室で開発した技術を用いて3次元的に観察し、デバイスの性能・寿命を制限する要因を直接的に明らかにすることに取り組んでいます。

電気化学反応のデータ駆動的解析

本技術を用いて得られる情報は、化学反応と微細構造の3次元情報、そしてそれらの経時変化の情報となります。このような極めて大規模かつ多次元的なデータから、電気化学反応を支配する本質的な因子を特定するのは至難の業です。そこで我々は、データ駆動的解析手法を駆使して、このような大規模多次元データから、電気化学反応を理解する上で本質的に重要な情報を抽出しています。

電気化学デバイスのオペランド・マルチモーダル計測

デバイス内で発生する超音波を検知するアコースティックエミッション法や、電極内の各粒子の結晶方位などの放射光では得難い情報が得られる電子顕微鏡、デバイス内の微細構造をより精細に捉えられる高エネルギーX線CT法などの様々な計測手法と、当研究室で開発した可視化技術を組み合わせることで、電気化学デバイス内で生じる反応や劣化の全容を理解することに取り組んでいます。