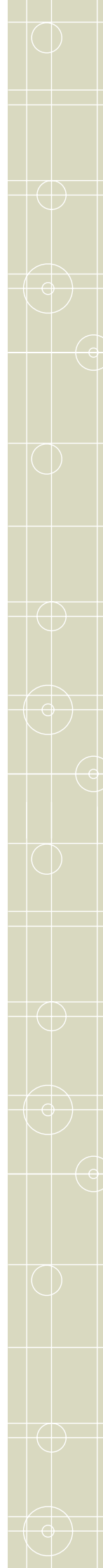


航空宇宙

Aerospace Engineering





教授
河合 宗司

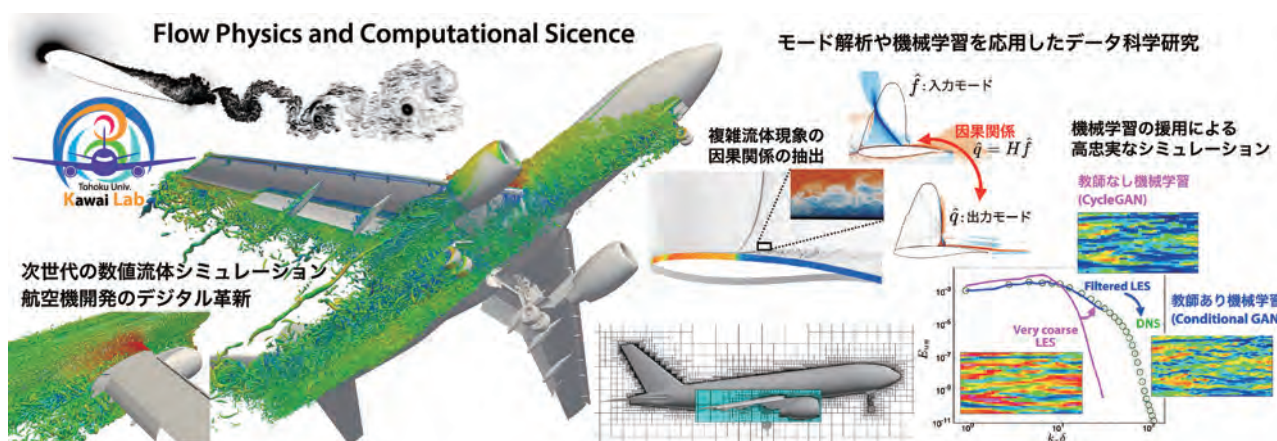


助教
浅田 啓幸

河合・浅田 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

一高忠実な数値流体シミュレーション研究一

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

一高レイノルズ数流れの乱流モデリング研究一

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

一モード解析や機械学習を応用したデータ科学研究一

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ナ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

一航空機全機周り的高忠実シミュレーション研究一

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。

岡部・龍園・三島 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>



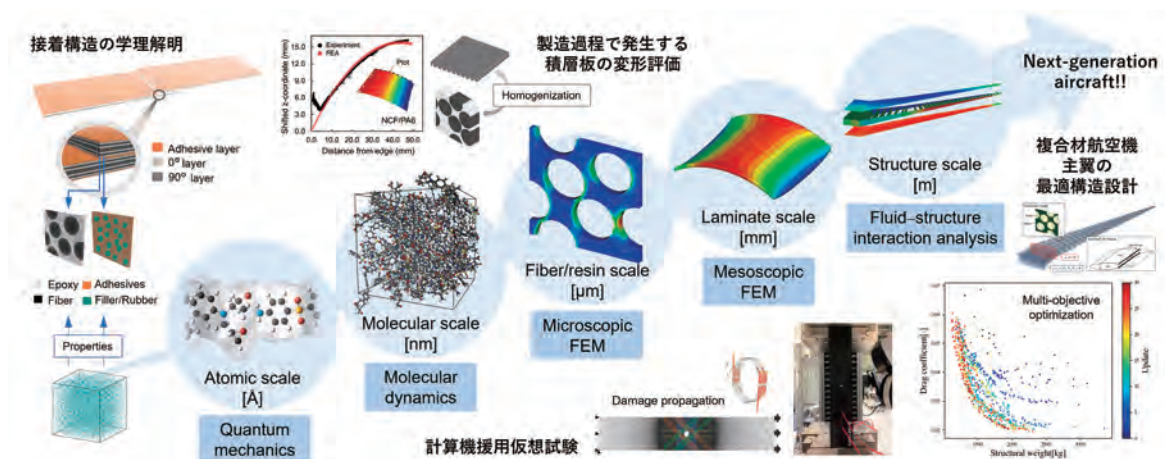
教授
岡部 朋永



助教
龍園 一樹



助教
三島 翔子



先進複合材料を対象とした原子スケールから航空機スケールまでのマルチスケールモデリング

先進複合材料を対象とした実験および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。したがって、航空機や自動車等の輸送機器の構造部材として用いられ、燃費改善やCO₂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、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、解決すべき問題が多く存在しています。本研究室では実験および数値シミュレーションにより、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っています。具体的な取り組みとしては、分子シミュレーションによる樹脂特性解析、FEMによる損傷解析、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。

原子から航空機までのマルチスケール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の航空機への適用が進んでいます。しかし、航空機に適切な材料を選択するには多大な開発コストが必要になります。そこで、原子・分子スケールのシミュレーション、繊維／樹脂や積層板スケールの有限要素解析、航空機スケールの流体構造連成解析を繋げたマルチスケール解析により、複数の材料で航空機のパフォーマンス評価を行い、航空機の最適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製造過程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、熱機械的異方性や樹脂の化学収縮によってひずみが発生するため、構造材料として用いるためには、製造過程における積層板の変形量を正確に予測する必要があります。そこで本研究室では、微視解析により樹脂の熱・化学収縮に起因する収縮量を予測し、巨視解析により積層板に現れる残留変形を正確に予測するマルチスケール解析の構築を目指しています。

複合材料製航空機の計算機援用仮想試験へ向けた数値解析手法開発とその実験的検証

近年、複合材料製航空機の開発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。本研究室では、型式証明試験における複合材料の損傷進展挙動やそのメカニズムを対象に、有限要素法による評価手法を開発し、さらに熱硬化性樹脂や熱可塑性樹脂を母材とする複合材料を用いた実験的検証を通じて、その高度化に取り組んでいます。

次期単通路機に向けた軽量な航空機構造を実現する複合材料の接着技術に関する学理構築

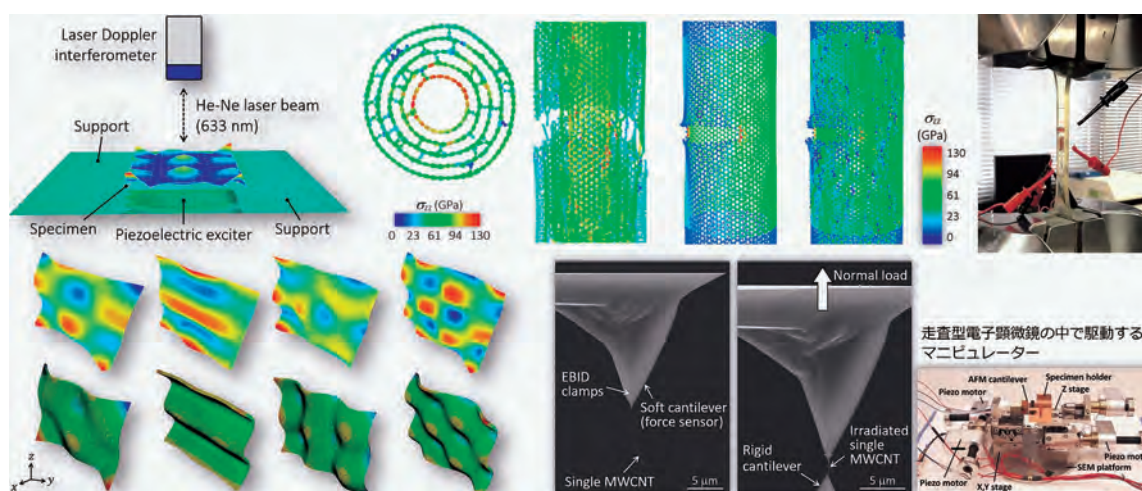
次期単通路機の需要が高まる中、機体軽量化による燃費改善を目的として、複合材料の接着構造に注目が集まっています。しかし、現時点では接着現象・メカニズムの包括的な理解が不十分であることが実用化の問題になっています。本研究室では、複合材料の接着結合・破壊現象を分子レベルからメカニズム解明し、マルチスケール解析による予測を通じた接着接合構造の最適化を目指しています。



准教授
山本 剛

山本 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.yamamolab.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、CO₂ 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傷挙動を解明・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を行っています。

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を行っています。

大西・佐藤(慎) 研究室

宇宙システム講座
推進工学分野

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



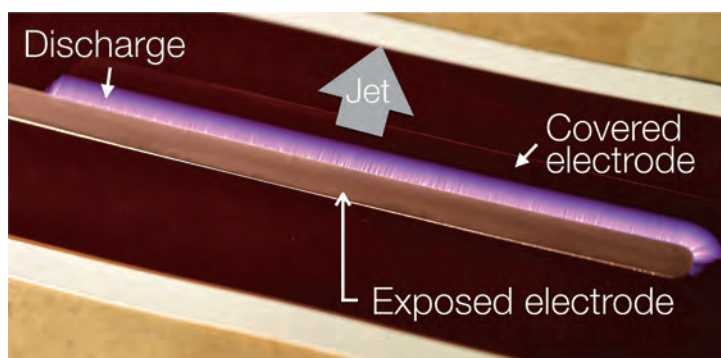
教授
大西 直文



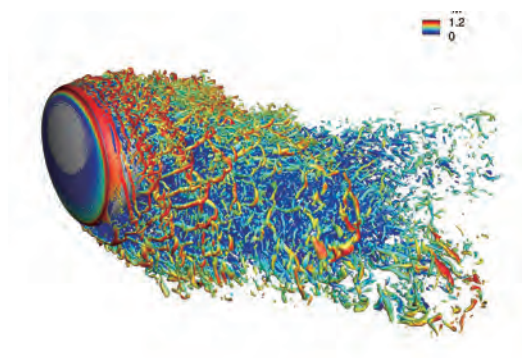
准教授
Fedorynenko, Dmytro



助教
佐藤 慎太郎



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、実験との比較を通じ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、超高压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。

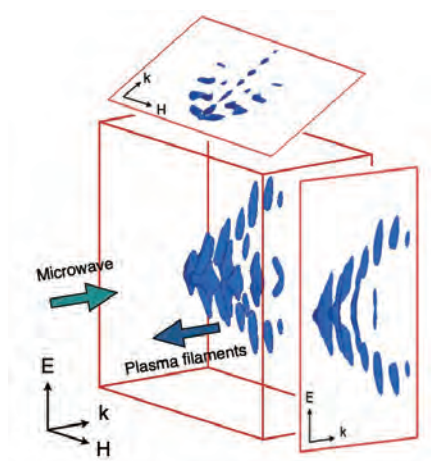


准教授
高橋 聖幸

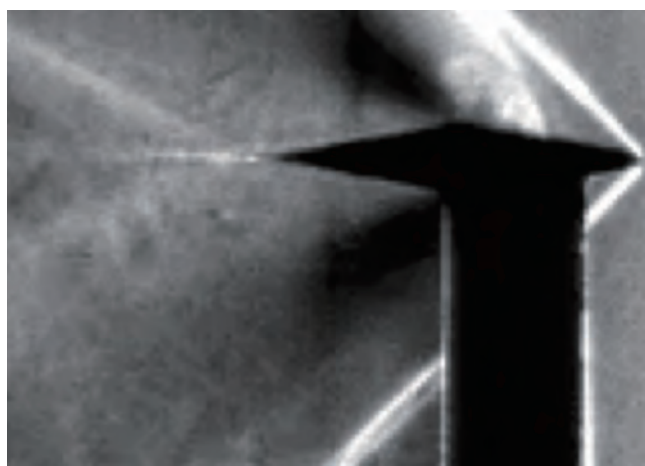
高橋 研究室

宇宙システム講座
推進工学分野

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



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。

吉田・宇野 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/>



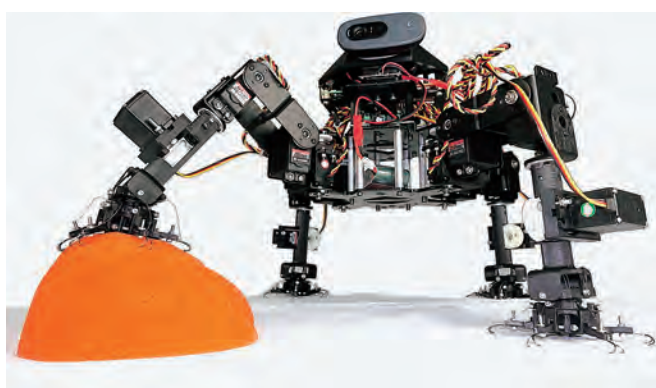
教授
吉田 和哉



助教
宇野 健太郎



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。



教授
榎原 幹十郎

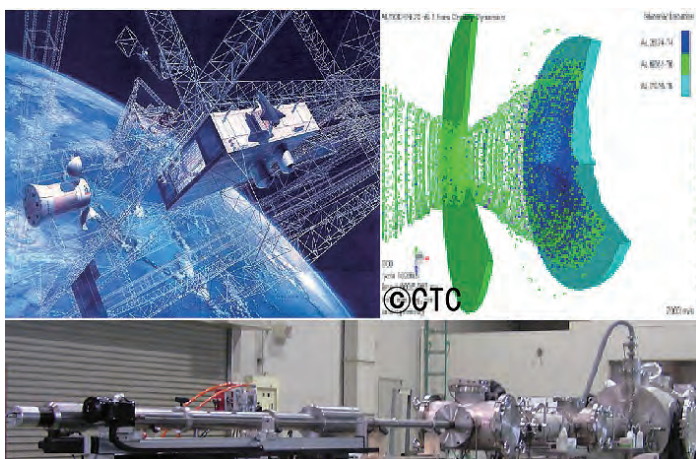


助教
原 勇心

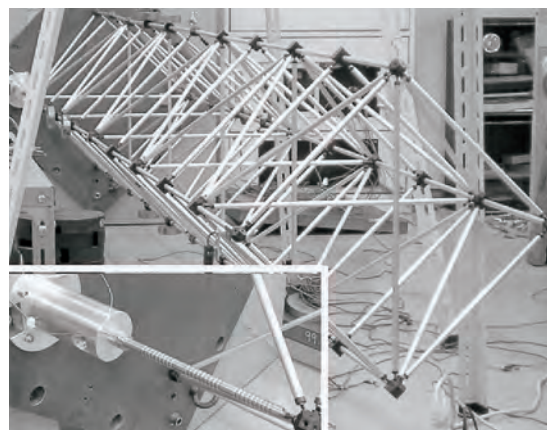
榎原・原 研究室

宇宙システム講座
宇宙構造物工学分野

<https://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)

宇宙機の振動特性の軌道上同定

宇宙機の振動特性を知る (同定する) ことで、宇宙での作業や制御のプレを抑制し精度を向上できます。実際に運用される宇宙で振動特性を知ることが必要ですが、宇宙では十分な電源の確保や沢山のセンサ設置が困難です。そこで、様々な制約の下で、精度よく振動特性を知る技術開発を目指しています。この技術は作業員がアクセス困難な場所にある地上機械、航空機への活用が期待されます。

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)

航空宇宙構造物の損傷検知

長期間運用される航空宇宙機は損傷劣化を伴います。運用中の航空宇宙機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し、その時間変化を確認します。さらに、動的特性から構造物の物理パラメータを推定し、「どこ」が「どの程度」損傷を受けたかを検知する高度な損傷検出を行っています。

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。

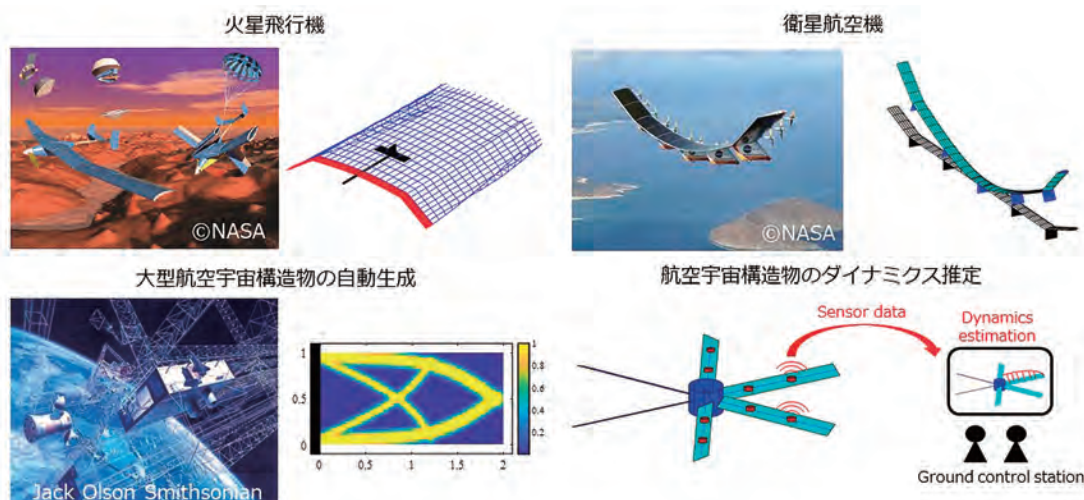
大塚 研究室

宇宙構造物工学分野

<https://web.tohoku.ac.jp/makihara/www-j/index-j.htm>



准教授
大塚 啓介



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物にも応用可能です。

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物や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。



教授
山本 悟



助教
宮澤 弘法

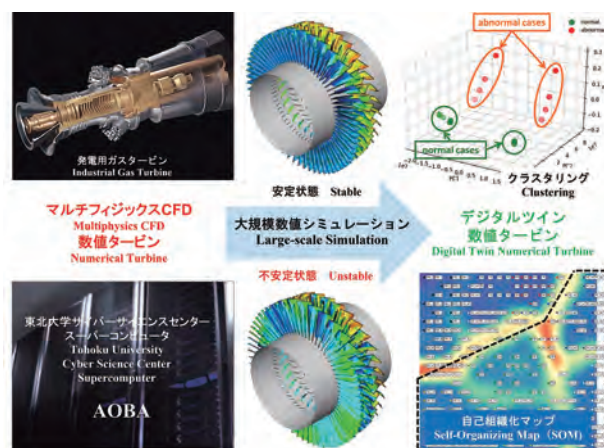
山本(悟)・宮澤 研究室

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 技術に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チフィジックス 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。

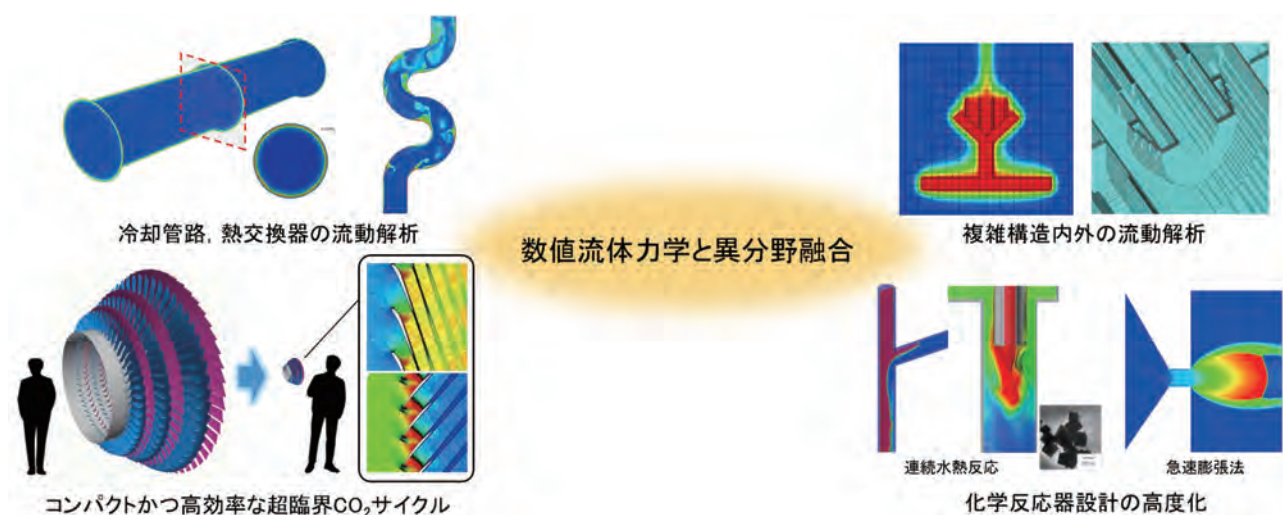
古澤 研究室

情報応用数理講座
計算数理科学分野

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



准教授
古澤 卓



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値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値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値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値モデルの再構築を行っています。



教授
小林 広明



特任助教
熊谷 政仁

小林・熊谷 研究室

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ー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。

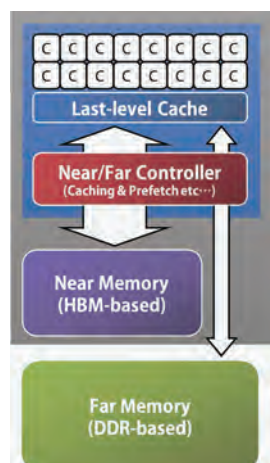
佐藤 研究室

ソフトウェア科学講座
アーキテクチャ分野

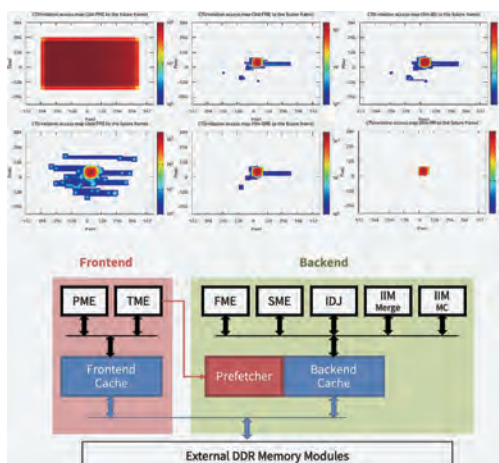
<https://www.ca.is.tohoku.ac.jp/>



准教授
佐藤 雅之



複合型メインメモリスステムの概念図



動画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、メモリス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、メモリス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、階層型メモリス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スシステム

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。

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。

動画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ー等のコスト増加が問題となります。本研究では、動画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スシステム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スシステムに必要なとされる要件を洗い出すことを目指しています。



教授
滝沢 寛之

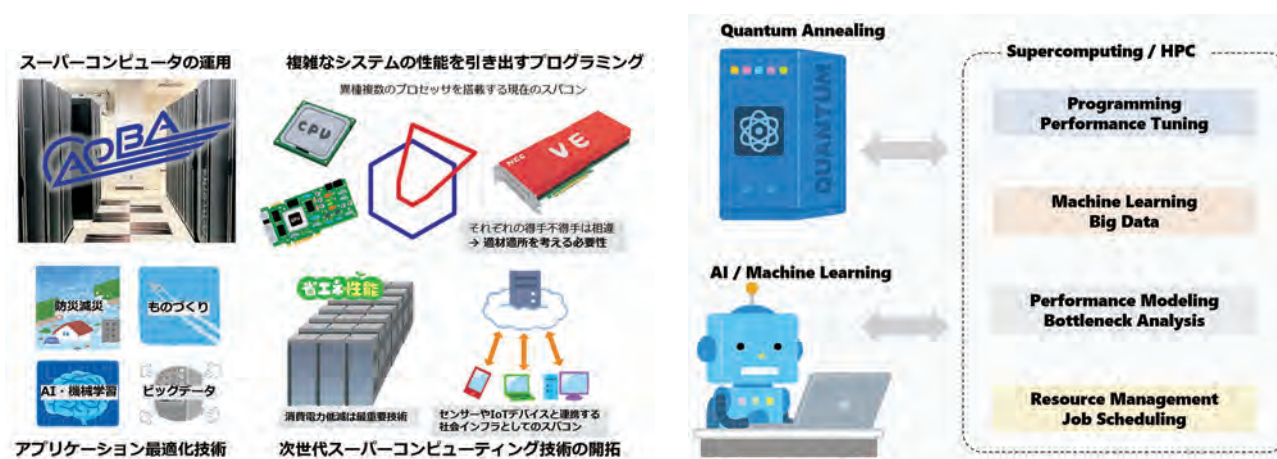


助 教
河合 直聡

滝沢・河合 研究室

高性能計算論講座

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



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きます。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。

スパコンの効率最大化に挑む

スパコンやアプリケーションの特性を考慮し、効率的に活用するためのソフトウェアの研究開発に取り組んでいます。計算性能を高める数理的・プログラミング的なアプローチに加え、最適なハードウェアリソースの割り当てによる消費電力削減にも挑み、性能と省エネの両立によるスパコンの効率最大化を追求しています。

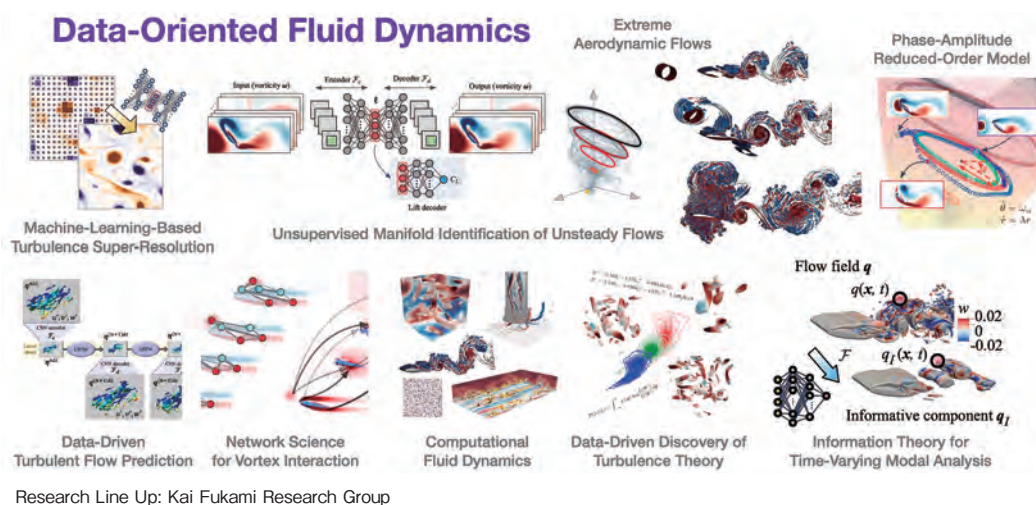
深見 研究室



准教授
深見 開

先進航空宇宙工学講座
先進航空宇宙工学分野

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



データ指向型流体力学の創成: 次世代データ科学アプローチで非定常複雑流動現象に挑む

私たちは 2025 年 1 月に発足した、東北大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻 に所属する Data Oriented Fluid Dynamics グループです。我々は、データ科学、非線形機械学習、複雑ネットワーク理論、情報理論、また数値流体力学シミュレーションを用いた非定常流体現象の解析を行っています。流体力学におけるチャレンジングな問題を幅広く研究対象とし、データ指向型なアプローチで小型航空機、旅客機、乗用車、また産業流体機械にユビキタスに現れる非定常流体現象のリアルタイムな理解・制御をサポートする学術・技術基盤構築を目指しています。高自由度・強非線形な複雑流動現象特有の流体物理を加味したデータ科学モデリング・解析手法の提案を通して、流体力学に留まらない幅広い非線形物理学分野にも適用可能な異分野横断型アプローチの構築を行っています。

一般化乱流超解像解析を用いたスパースセンサからの時空間流動場再構築

超解像解析とは、低解像なシグナルから対応する高解像シグナルを再構築する概念です。本研究室はこの概念を乱流場における疎な情報からの高解像度時空間流動場の再構成に一般化し、非線形機械学習を用いた手法の提案を行っています。我々の提案は、センサ再構築に留まらず乱流モデリング・予測、またノイズ除去など様々な分野に応用されており、本研究室が世界を先導する分野の1つです。

低次元多様体同定を通した非定常流体現象の理解とモデリング

高自由度空間における一見複雑な非定常流体現象は、そのダイナミクスの本質を捉える低ランクな「多様体」の上で数学的に記述できることが知られています。一方でそのようなコンパクト表現を得ることは非常にチャレンジングです。本研究室では、流れの物理特性の理解を促進し、低コスト・効率的な流体制御戦略を開発するために、多様体同定のための様々なデータ科学手法を提案しています。

複雑ネットワーク理論・情報理論による渦相互作用・因果関係解析

本研究室では、情報理論やネットワーク理論を非線形機械学習技術に組み込むことで、流体データや変数間の時間経過に伴う因果関係をモデリングし、複雑な非定常渦相互作用を数学的に表現することで、理論的裏付けに基づく流体モデリング・制御に取り組んでいます。手法の数学的相似性に着目し、様々な応用数学手法と非線形機械学習を紐付け、航空工学で使える革新的手法構築を目指します。

流体モデリングのための数値・実験・理論データフュージョン

現在では数値シミュレーション、実験技術、また理論的手法の発展から、様々な忠実度の複雑流動データを入手することが可能です。本研究室では、複数のソースから収集した複雑流動データセットを統一的に活用し、スパース再構築と低次元モデリングのためのデータ融合手法を開発しています。それぞれのデータ源の長所・短所を補い、より汎化可能性の高い非線形手法の構築を目指します。

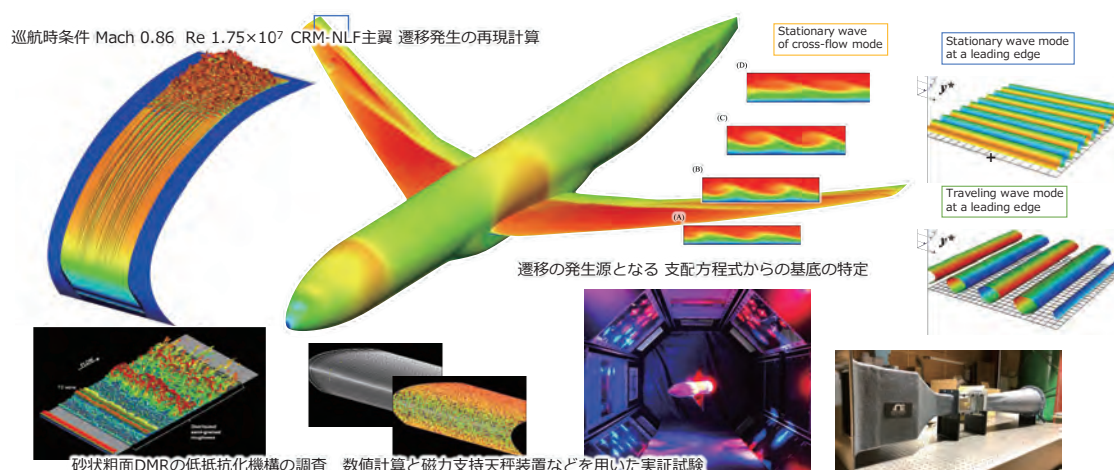


准教授
焼野 藍子

焼野 研究室

協力講座
航空宇宙流体工学研究分野

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



「流れ」 高速飛翔体やジェットエンジンの性能をつかさどる 最古かつ重要な工学課題

「流れ」に対して支配方程式が発見されており、これによって、船舶や旅客機など輸送機の性能、データの少ない大気圏突入する再使用ロケットの性能、他の惑星での輸送機性能や銀河の形成さえも説明できるはずですが、しかし、流れの非線形、散逸、偶然性の性質である「乱流」や「遷移」を説明するのは、いまだに容易ではありません。歴史的に、私たちはこの複雑現象の理解に多大なる努力を注ぎ、利用しようとしてきました。現在、実際に航空機の開発現場では、例えば乱流モデルは汎用的に使用されています。新たな知見を生かせば、開発品の生産性・信頼性のさらなる向上が期待でき、知見は他の複雑現象にも応用できます。このように私たちは、複雑現象の典型例でもある決定論的支配方程式に基づく「流れ」の精緻な理解と、さらにそれによる革新的で実現性の高い工学技術の提案を目指しています。

高速飛翔体やジェットエンジンの性能を革新する 流れの機構の解明と制御

流体機器表面付近では、流れが渦を作り、その空力性能を大きく左右しています。大型旅客機の抵抗のうち約半分は空気粘性による抵抗ですが、例えば工夫により層流から乱流への遷移を遅延することで、抵抗低減を試みることができます。このように私たちは、大規模流体計算や理論を駆使し（場合によって数学者や物理学者とも協力して）、流れ現象の解明と技術の実用化を目指しています。

データ同化など 統計モデルと力学モデルの融合による 流れ予測の高速化・高性能化に関する研究

データ同化は、実験値を再現するように、モデル計算の初期条件や境界条件を決める手法です。これにより、実験と計算の両者の不確かさを補いあい、計算コストを抑えつつ予測精度を向上させることができます。特に実際の開発現場で役立つと考えられ大きな注目を集めています。データ同化は、台風の進路予想やエンジンの着火遅れなど、モデルに不確実性の高い現象の予測と制御に有用です。

磁力支持天秤装置や弾道飛行装置による 機械支持のない空気力測定

飛翔体の空力特性の測定では、一般に、模型の機械支持による影響を避けられません。一方、磁力支持天秤装置 (MSBS) は、電磁力によって模型を宙に浮かせることで、より正確な測定を可能にしています。これまでに、超音速飛行のため速応性の高いシステムの構築もしてきています。現在は、流線型模型形状の抵抗値を測定することで、低抵抗化デバイスの実証にも取り組んでいます。

物体表面の超層的流体科学による次世代輸送機革新

次世代輸送機の空力性能を向上する、流れ制御法の提案と実用化を試みています。私たちは摩擦抵抗低減する砂状粗面 DMR (Distributed Micro Roughness) (特許出願中) を提案しています。滑面よりも砂状粗面の方が流線型形状の空気抵抗が下がる場合があることを示す画期的な提案で、よく知られる鯊肌リブレットよりも施工性が高い利点があります。このほかにも、実機への適用を目指した多機能表面を提案したいと考えています。

早川 研究室

協力講座
高速反応流研究分野

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



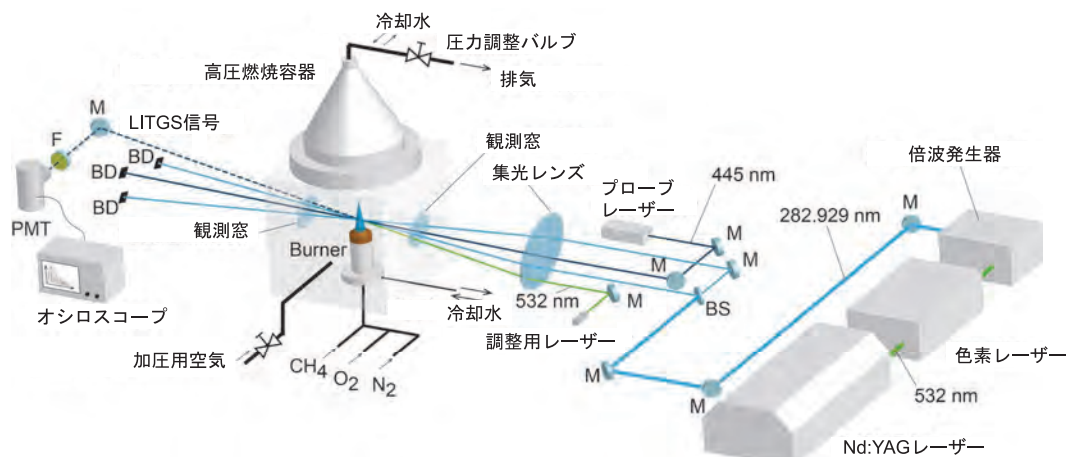
准教授
早川 晃弘



特任助教
Yu Xia



特任助教
Yi-Rong Chen



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。脱炭素に向け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。



教授
永井 大樹

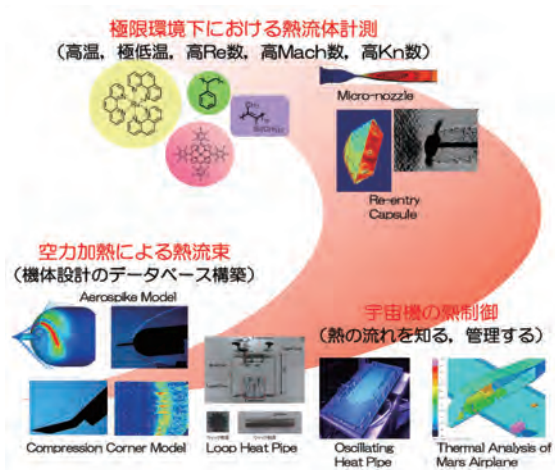


助教
伊神 翼

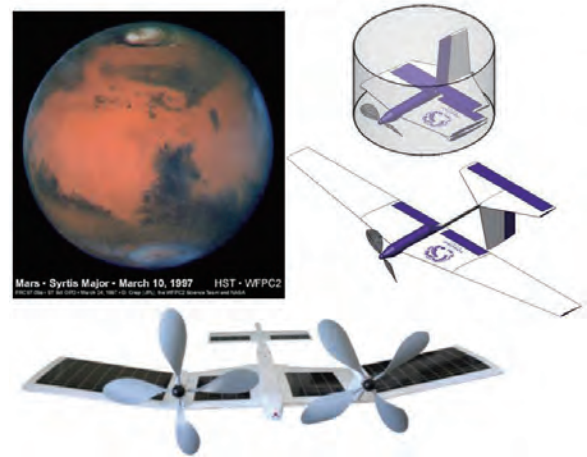
永井・伊神 研究室

協力講座
宇宙熱流体システム研究分野

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



次世代宇宙機に関わる熱流体现象の解明とその制御技術



火星飛行機概念図とモックアップ

次世代宇宙機に関わる熱流体现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亘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プレ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を有する高度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。

石本・大島 研究室

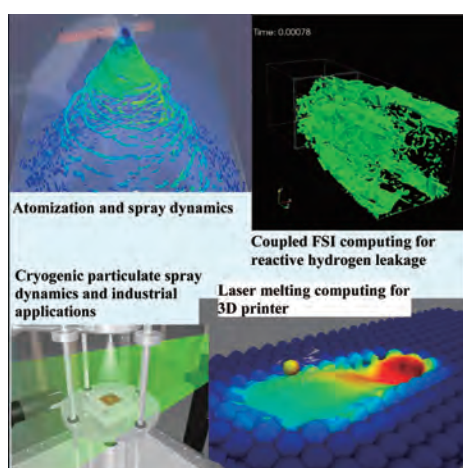
未到エネルギー研究センター
協力講座 混相流動エネルギー研究分野
<https://mfelifestohoku.org/>



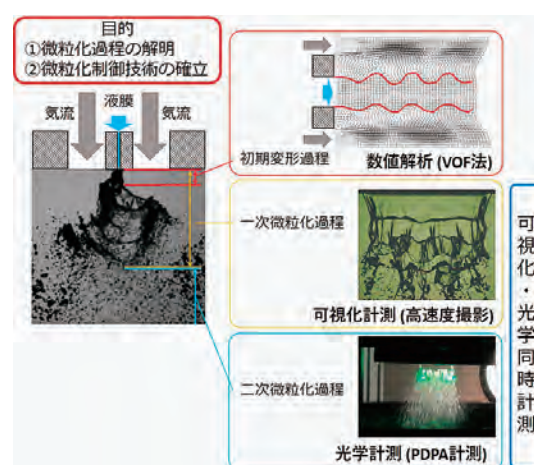
教授
石本 淳



助教
大島 逸平



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子バルブ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。

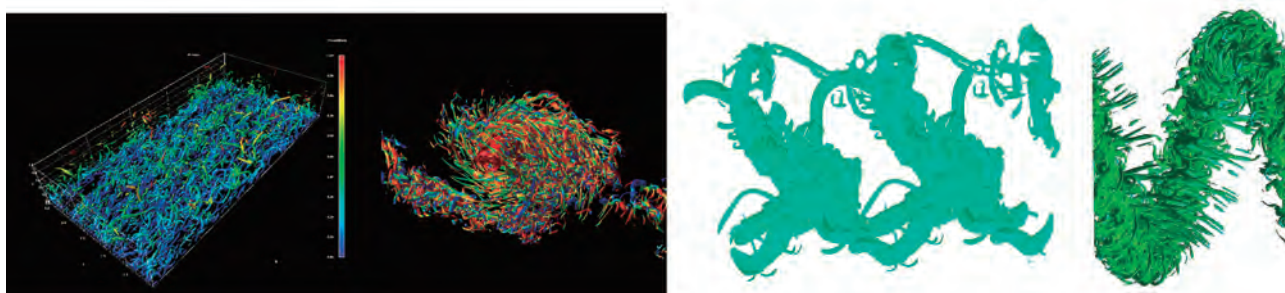


教授
服部 裕司

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つである 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

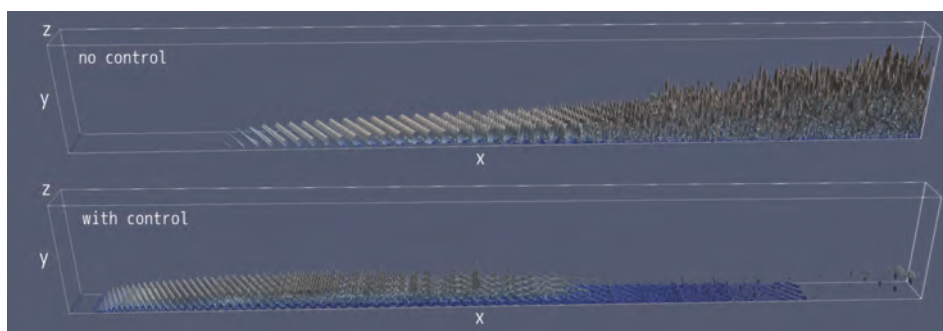
鉄道や流体機械の高速化のためには空力騒音の低減が求められる場合が多い。そのための基礎技術を数値シミュレーションにより研究している。これまでに多孔質材貼り付けによる空力音低減について、連続体モデルが有効であることを示し、数値解析による多孔質材最適化への道を切り拓いた。現在は、空力騒音低減のためのアジョイント法による物体形状最適化法を開発している。

廣田 研究室

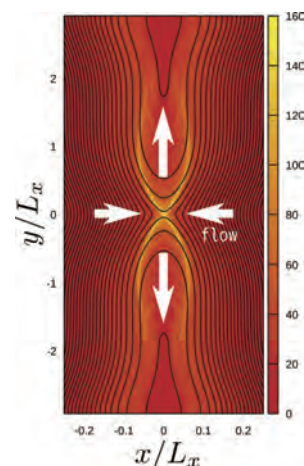


准教授
廣田 真

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な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（磁力線のつながり換え）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いますが、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います。



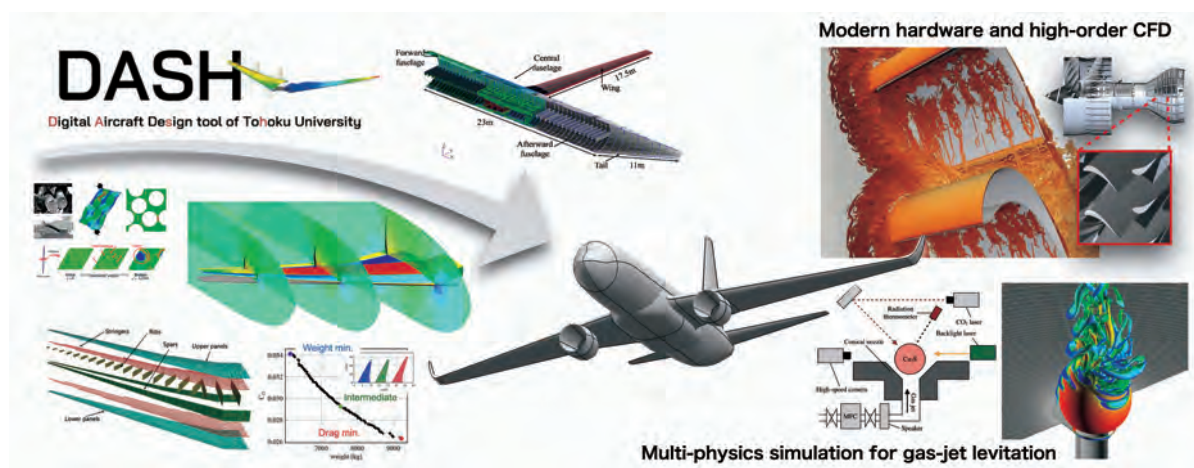
准教授
阿部 圭晃

阿部 研究室

協力講座

マルチフィジックスデザイン研究分野

<https://www.ifs.tohoku.ac.jp/mulphd/jap/>



航空物理学に関する複雑な連成現象の先進シミュレーションと工学設計

航空物理学に関する複雑な連成現象の先進シミュレーションと工学設計

航空機の設計開発では、流体力学・構造力学などで記述される異なる物理現象が作用し合う複雑な連成現象を考慮する必要があります。当研究室では、このような現象を扱う学問を航空物理学と称し、先進的な数値シミュレーションにより現象の解明・活用を進めるため研究を進めています。具体的には、圧縮性流体・乱流を扱う高忠実シミュレーション技術とGPUに代表されるmodern hardwareの活用や、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に代表される複合材料を対象とした構造・破壊力学と最適設計を軸とし、これらを繋ぐ新しい連成数値モデルの研究を展開しています。先進シミュレーションにより複雑連成現象を解明するだけでなく、現実的な工学設計へと繋げて「活用」することが重要と考え、航空に留まらない関連分野への応用も目指します。

Modern hardwareと高次精度解法による 圧縮性流体解析

大型航空機周りの流れはレイノルズ数の高い遷音速流れであり、乱流遷移・剥離といった現象を捉えるため高精度の圧縮性流体解析が必要です。その中でも特に、主翼のように非定常変形する複雑形状を扱う手法や、GPUなどのmodern hardwareを活用した計算高速化法は十分に確立されていません。本研究ではこれらの解決に取り組み、機体設計技術への展開を目指しています。

複合材料を用いた機体設計と空力構造最適化

CFRPに代表される複合材料は金属よりも軽く強い優れた性質を持つ一方で、破壊特性が複雑なことから、経験則に基づく従来の機体設計法では十分にその優位性を活かすことが出来ません。本研究では、これらを考慮に入れた非線形性の強い流体・構造連成解析と、多目的最適設計の双方を両立可能なシミュレーション技術の研究開発に取り組んでいます。

航空機製造における先進材料のマルチフィジックス解析

近年、3Dプリンターに代表される積層造形技術が航空宇宙機の製造過程でも活用されるようになってきました。本研究では短繊維入り強化プラスチックの積層造形に関する流動シミュレーション、また金属積層造形に活用される溶融金属の先進熱物性計測法(ガス浮遊法)に関する流動連成現象のデータ同化シミュレーション技術の研究開発などに取り組んでいます。

異なる物理を繋ぐ新しい連成数値モデルの研究

流体力学や固体力学といった既存の力学分野の数値解析技術は、各々の分野で飛躍的に発展を遂げてきましたが、複数の物理系を連成するシミュレーションにおいて、それらの最先端の解析手法を取り入れることは容易ではありません。本研究ではこの現状を打破すべく、異なる物理系を接続するインターフェース(境界面)において新たな動力学系を提唱する研究を行っています。

中村(寿) 研究室



教授
中村 寿

協力講座
反応性流動システム研究分野

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



燃焼科学に基づくエネルギーシステムのゼロエミッションとゼロ発火への挑戦

燃焼によるエネルギー変換は、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、様々なエネルギーシステムで利用されています。一方で、CO₂排出ゼロに向けて、化石燃料由来の燃料から再生可能エネルギー由来の新燃料に転換するという大変革が進行中です。当研究室では、反応管やバーナを用いた実験や反応素過程の数値計算により新燃料の化学反応や火災の特性を理解し、モデル化して、ゼロエミッション燃焼器の設計開発に必要な基盤を構築しています。また、新燃料が燃焼器壁や被加熱物の材料に及ぼす影響も調べています。さらに、再生可能エネルギーを電気として蓄えるバッテリーや、高効率な冷暖房を実現するヒートポンプを対象に、これらの発火事故を抑制するため、主要な可燃成分である電解液や冷媒及びこれらに添加可能な難燃剤の燃焼についても研究しています。

アンモニア燃焼—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、従来の燃焼器では適切に燃やせずNO_x生成が多いことから、基礎的知見に基づいた新しいアンモニア用燃焼器の設計開発が必要です。このために、アンモニアの火災の特性や反応素過程を調べ、モデル構築と検証を進めています。

バッテリー電解液と電解液に可溶な難燃剤の燃焼性評価

リチウムイオン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。多くの電解液には可燃性の有機溶媒が使用されているため、電解液および電解液に可溶な難燃剤の燃焼特性と、難燃剤による燃焼性の抑制効果を調べています。さらに、多様な電解液と難燃剤の組み合わせに対して燃焼性の予測を実現する燃焼反応モデルを構築しています。

機械学習支援による燃焼反応モデルの簡易化

詳細な燃焼反応モデルは数百から数千の化学種を含むため、これらの保存を全て解く燃焼数値シミュレーションは膨大な計算負荷を必要とします。計算負荷を現実的な規模とするために、モデルの予測性能を維持しつつ、モデルに含まれる化学種を減らした簡易反応モデル構築法を研究しています。特に、燃焼反応は極めて非線形性の強い現象であるため、機械学習の支援を取り入れた簡易化法を研究しています。

水素・アンモニア火災が材料に及ぼす影響評価

材料製造プロセスにおける燃焼加熱は主要なCO₂排出源であり、脱炭素に向けて水素やアンモニアを燃料とした燃焼加熱への転換が進んでいます。一方で、我が国が誇る高性能材料が水素燃焼による脆化／アンモニア燃焼による窒化により性能低下を生じることが許容できません。水素やアンモニアの火災により材料を加熱し、材料が火災により受ける影響を調べ、影響を生じない燃焼方法の提案につなげています。



教授
栗原 聡文

栗原 研究室

航空宇宙流体工学講座
次世代インフラ研究部門 宇宙インフラ工学分野
<https://www.space-infrastructure.gxt.ggi.tohoku.ac.jp/>



© JAXA/NASA



超小型人工衛星開発評価環境

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

小型宇宙システムによる宇宙開発・利用・探査、および先端宇宙インフラ基盤の構築

本研究室では小型宇宙システムのダイナミクスと制御、および先端要素技術とシステムインテグレーションに関する研究を行っています。地球観測や宇宙環境計測等の様々な用途に小型人工衛星を適用するために必要となる軌道や姿勢の決定制御技術、宇宙環境利用技術、宇宙空間におけるロボティクス技術、ローバー等を用いた月・惑星表面探査技術などに関する研究開発を行っています。特に、近年の人工衛星の爆発的な打ち上げ数増加に伴い、将来の持続可能な宇宙開発と経済成長を確保するための重要技術として需要が高まっている「軌道上サービス技術」の研究開発に力を入れて取り組んでいます。人工知能・AI技術なども積極的に取り入れながら、世界最先端の宇宙開発・利用・探査と、将来の高度な宇宙インフラ基盤の構築を実現していきます。

小型宇宙システム技術の宇宙実証を行っています！

本研究室は、これまでに「RISAT」「ALE」など20機に迫る小型人工衛星の研究開発と運用を通し、世界的にも有数な先端技術の宇宙実証の実績をあげています。これらの衛星の運用は独自の管制局を用いて、研究室のメンバで協力して実施しています。今後は複数の宇宙システム間の近接運用やマニピュレーションなどの宇宙ロボティクスに関する最先端の技術実証に取り組んでいきます。

総合的なシミュレーション技術で宇宙システムのダイナミクスを解明します！

宇宙システム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に取り組んでいます。ハードウェア・イン・ザ・ループ・シミュレーション環境での搭載電算装置の姿勢制御性能やロバスト性の評価や、モーションテーブルを用いたダイナミクスの検証実験を実施するとともに、近年発展が目覚ましい人工知能・AI技術の宇宙システムへの適用に関する研究に取り組んでいます。

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、宇宙ロボティクス技術、月・惑星探査技術などが挙げられ、数多くの宇宙実証を行ってきています。また、国内外の機関との協力体制による小型宇宙システム技術の研究開発、及び人材育成活動にも取り組んでいます。

小型高性能宇宙システムが切り拓く明るい未来の社会

小型宇宙システムは短期・低コスト開発が可能であり、幅広い分野への適用可能性を秘めています。特に、近年の宇宙活動の活発化に伴い需要が高まっている「軌道上サービス技術」領域においては、小型宇宙システムの活躍が期待されており、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となっています。社会に役立つ宇宙インフラ基盤を構築すること、それが本研究室の目標です。