航空宇宙

Aerospace Engineering

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

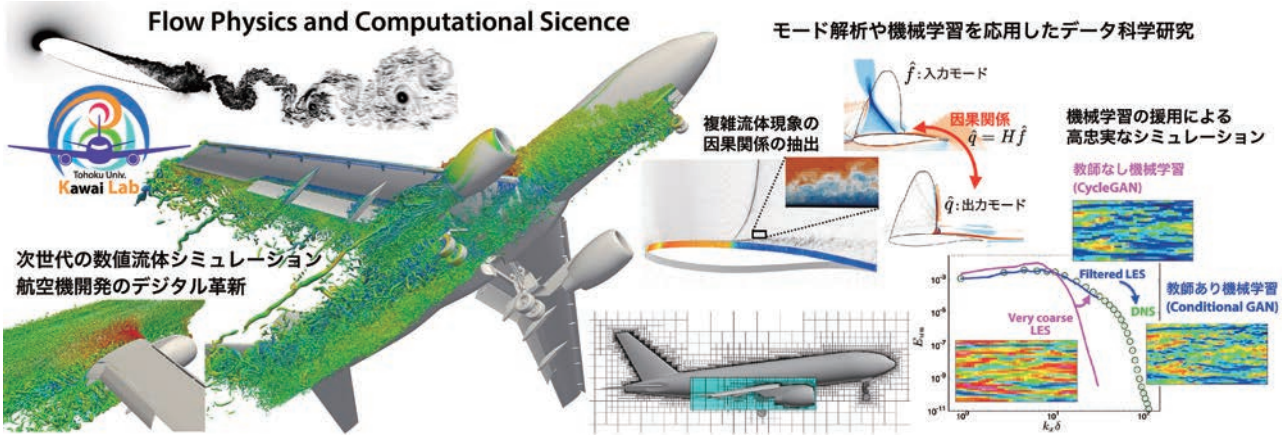
教　授
河合　宗司

助　教
淺田　啓幸

河合・淺田 研究室

航空システム講座
空力設計学分野

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



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

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

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

様々な流体力学現象の解明
ー高忠実な数値流体シミュレーション研究ー

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

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

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

計算科学の新しい展開
ーモード解析や機械学習を応用したデータ科学研究ー

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

航空機開発のデジタル革新
ー航空機全機周りの高忠実シミュレーション研究ー

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

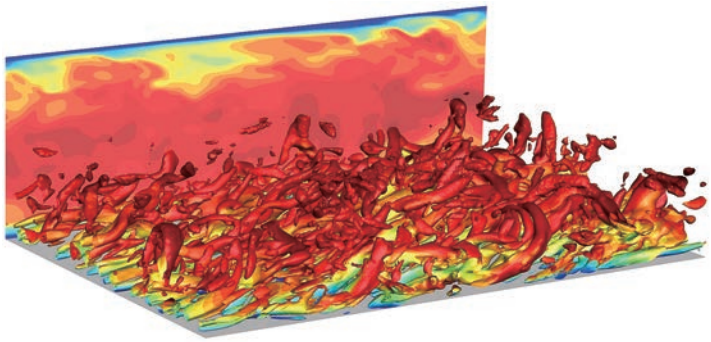
航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

久谷 研究室

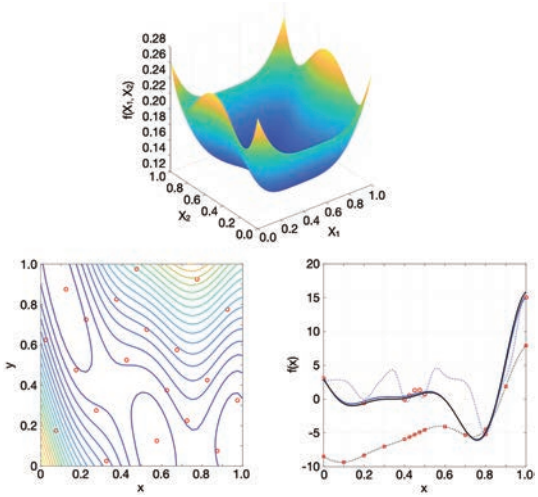
准教授
久谷　雄一

航空システム講座
空力設計学分野

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



チャネル乱流の高精度流体シミュレーション



代替モデリング（surrogate modeling）

流体システム設計のための数値流体シミュレーションと設計最適化手法

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

複雑形状周りの高精度流体シミュレーションを可能にする数値計算手法の構築

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

代替モデリングによる流体システム最適設計の高効率化

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

量子アニーリングコンピュータを用いた数値流体シミュレーション･形状最適化

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

レイノルズ平均（RANS）モデルの高精度化

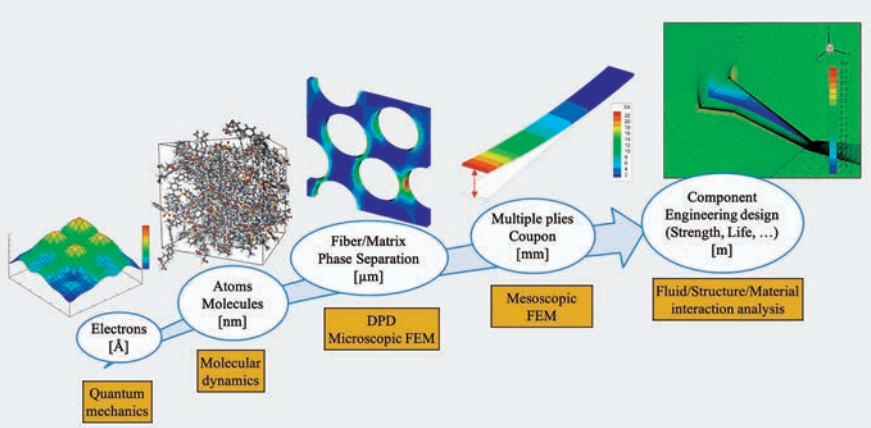
RANS モデルは予測精度と計算時間のバランスの観点から、産業界において流体システム設計に広く用いられている数値流体シミュレーション手法の一つです。一般的に産業界で用いられている RANS モデルは１方程式もしくは２方程式モデルですが、当研究室では非等方な乱流場のモデリングに適しかつ安定性にも優れた新たな７方程式モデルに関する研究を進めています。

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

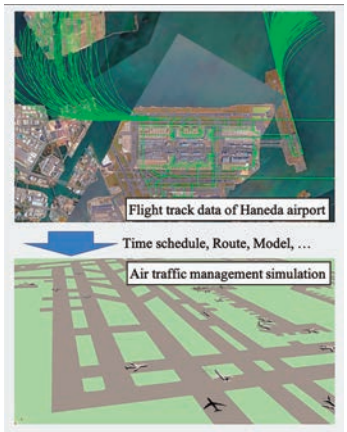
教 授 岡部 朋永
助 教 川越 吉晃
助 教 南雲 佳子
助 教 龍薗 一樹

岡部·川越·南雲·龍薗 研究室

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



先進複合材料航空機のマルチスケールモデリング



羽田空港の航空交通流シミュレーション

先進複合材料を対象とした数値シミュレーション

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

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

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

炭素繊維強化プラスチック積層板の初期損傷におけるマルチスケールモデリング

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

複合材料製航空機部材の計算機援用仮想試験へ向けた数値解析手法開発

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

羽田空港の空港面航空交通流シミュレータの開発と航空機運用の最適化

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

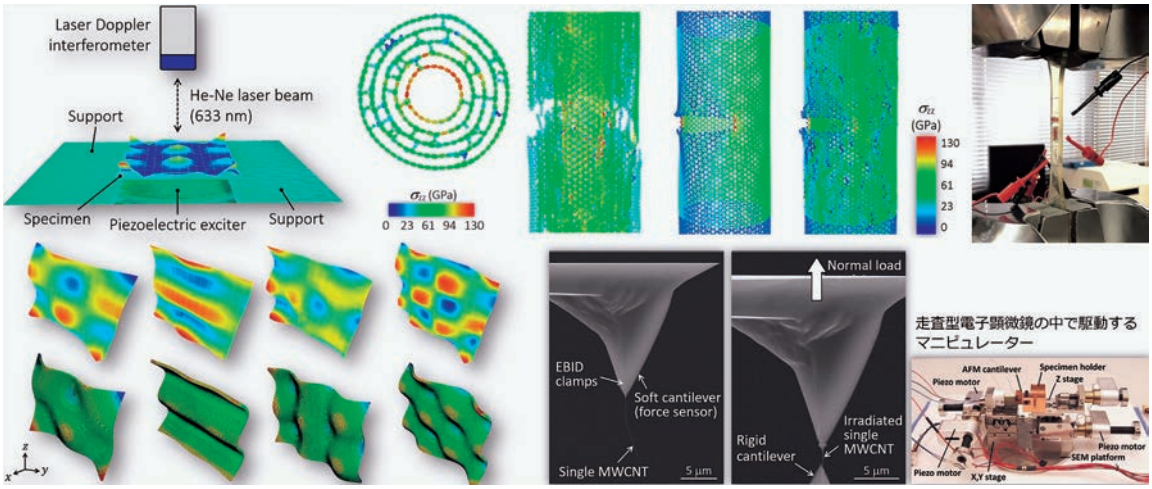
航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

山本 研究室

准教授
山本　剛

航空システム講座
材料・構造スマートシステム学分野

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



先端複合材料の実験･計算マイクロメカニクス

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

共鳴振動現象を利用した異方性弾性定数の測定

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

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

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

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の引張強度予測

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

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

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

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

准教授
野々村　拓

特任助教
永田　貴之

特任助教
佐々木　康雄

野々村･永田･佐々木 研究室

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

風洞実験とデータ駆動科学を利用した流体現象の計測･モデリング･制御

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

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

先進計測を利用した流体場の低次元化と観測器の構築

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

超音速流れの時空間超解像計測

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

プラズマアクチュエータを用いた次世代流体制御

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

ユニークな気流条件での流体力学

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

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

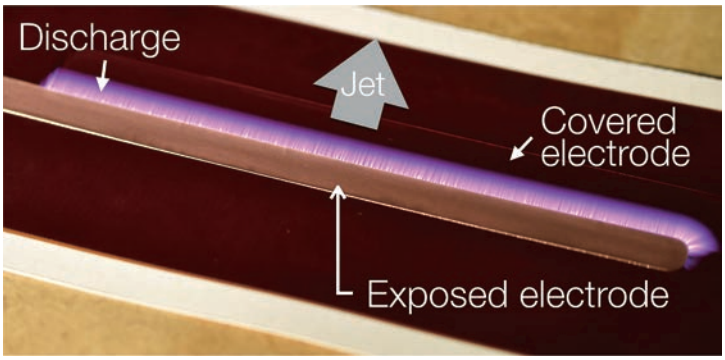
大西・佐藤（慎）研究室

教　授
大西　直文

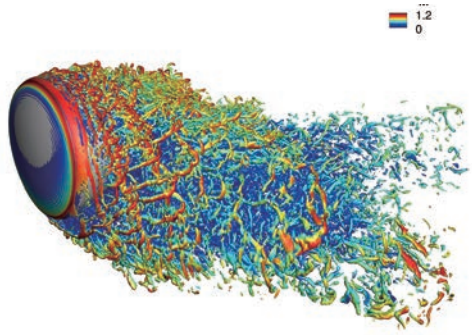
准教授
Fedorynenko, Dmytro

助　教
佐藤　慎太郎

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



プラズマアクチュエータの放電実験



大気圏再突入カプセルの数値シミュレーション

高温気体力学の物理と応用

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

プラズマによる流れ場の制御

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

極超音速飛行体周りの高温衝撃層の予測

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

超音速流れ場の基礎的物理解明

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

輻射流体力学の解析手法の開発と応用

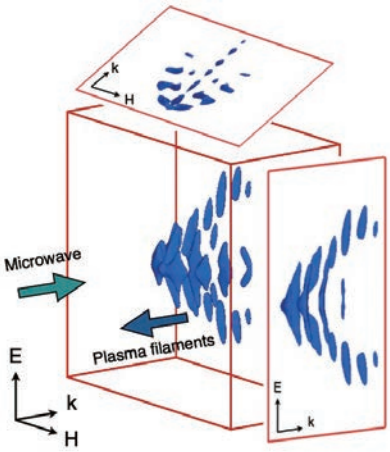
高温気体やプラズマを伴う流れ場においては、原子・分子の状態遷移過程に伴う輻射の放出・吸収や、高温流体中の輻射輸送過程が流れ場を左右する、いわゆる輻射流体力学的挙動を示す。このような流れ場の精緻な解析のために、現実的なモデルを取り入れた新しい解析手法を開発している。また、開発した手法を用いて、プラズマを利用した短波長光源等の応用技術についての研究も行っている。

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

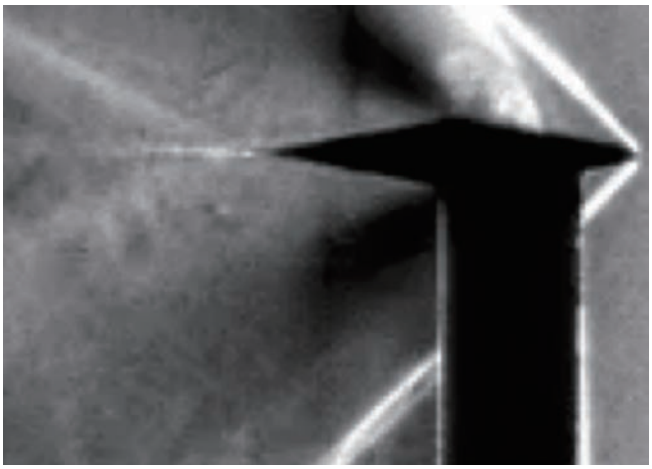
准教授
高橋　聖幸

高橋 研究室

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



マイクロ波放電における電離構造



超音速翼周りのシュリーレン写真

電離高速流を用いた航空宇宙技術の創成

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

マイクロ波ロケットによる打ち上げ

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

無電極進行磁場推進

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

磁気セイルによる宇宙航行システム

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

繰り返しレーザーパルスによる超音速流制御

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

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

吉田・レネ 研究室

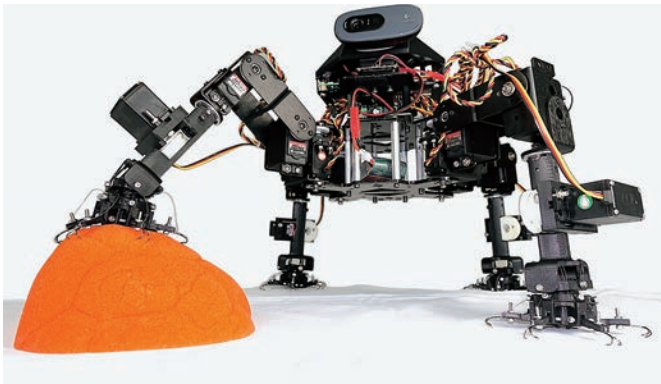
教 授
吉田 和哉

助 教
Laine, Mickael

宇宙システム講座
宇宙探査工学分野

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

月面探査ローバー「Moonraker-PFM」



崖登り探査のための脚型ロボットモデル

宇宙ロボット・惑星探査ロボット・小型衛星の研究開発

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

民間による初の月面探査ローバーの開発を進めています!

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

私たちが開発した小型科学観測衛星「雷神2」が、地球周回軌道を飛んでいます!

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

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

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

月・惑星・小天体上での未踏峰探査を実現する移動探査技術を研究しています!

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

航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

准教授
桒原　聡文

桒原 研究室

宇宙システム講座
宇宙探査工学分野

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

超小型衛星「DIWATA-1」の
国際宇宙ステーションからの放出の様子

超小型人工衛星開発評価環境

超小型人工衛星のシステム及び先端要素技術の研究開発

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

超小型人工衛星技術の宇宙実証を行っています!

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

総合的なシミュレーション技術で超小型人工衛星のダイナミクスを解明します!

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

超小型宇宙システムの実利用化のための先端要素技術の研究開発

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

超小型人工衛星が切り拓く明るい未来の社会

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

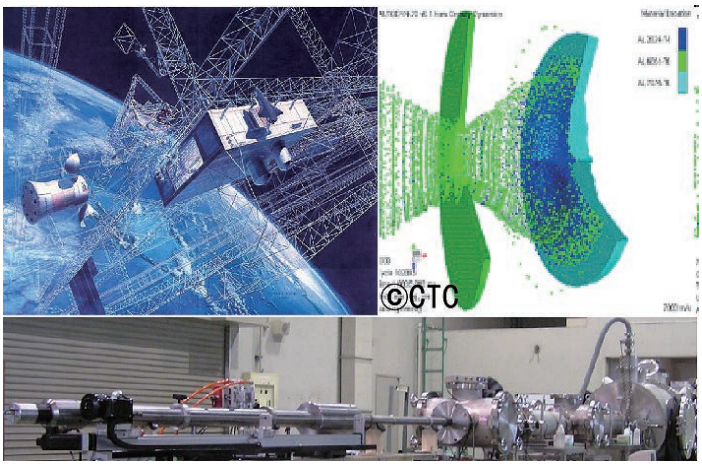
航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

槙原 研究室

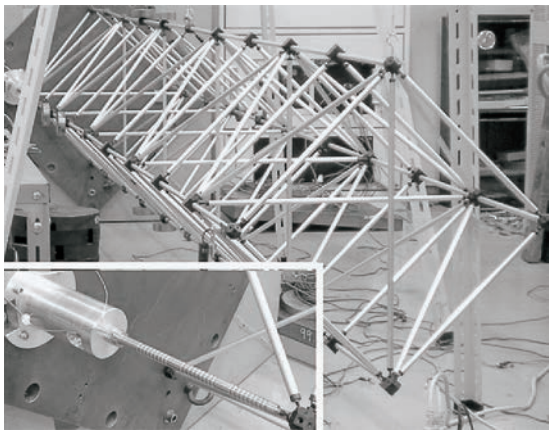
教 授
槙原　幹十朗

宇宙システム講座
宇宙構造物工学分野

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



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



宇宙ステーションの一部を模擬したトラス構造物実験（スマート部材組込み）

宇宙構造物の振動･音響･衝撃制御、およびその高度実現化に関する研究

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

スマート構造を用いたエネルギー回収機構

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

スペースデブリの宇宙構造物への衝突対策

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

宇宙構造の損傷検知を実現するシステム同定

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

火星月面基地テンセグリティ構造

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

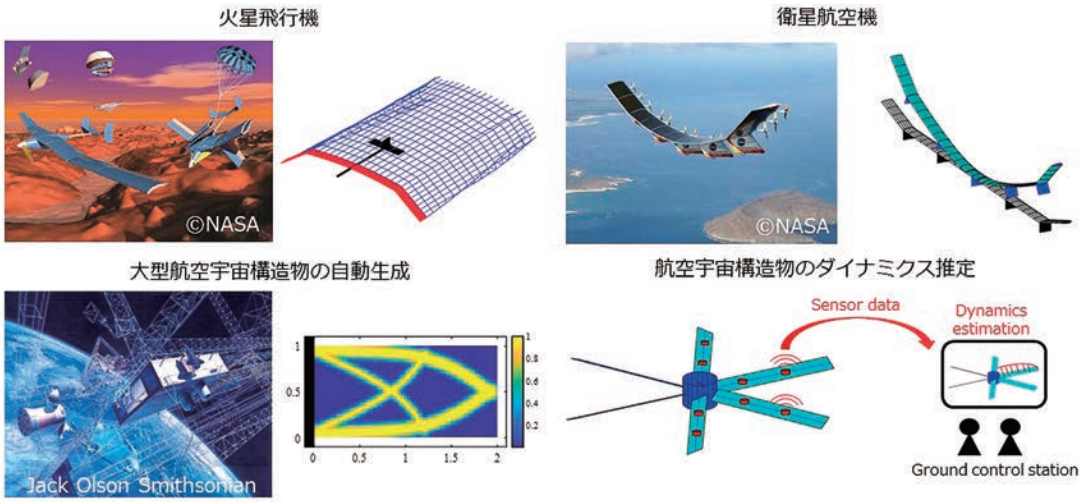
航空宇宙コース
航空宇宙工学専攻

准教授
大塚　啓介

大塚 研究室

宇宙構造物工学分野

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



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

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

火星飛行機のダイナミクス解明
―マルチボディダイナミクス―

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

衛星航空機のダイナミクスシミュレーション
―空力弾性―

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

大型航空宇宙構造物の自動生成
―トポロジー最適化―

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

航空宇宙構造物のダイナミクス推定
―構造ヘルスモニタリング―

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

航空宇宙コース
情報科学研究科情報基礎科学専攻

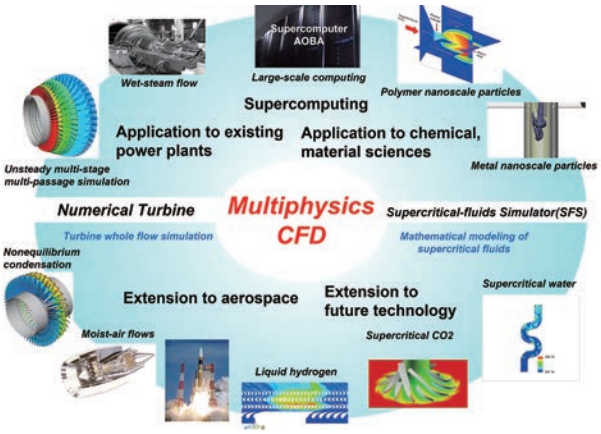
山本（悟）・宮澤 研究室

教　授
山本　悟

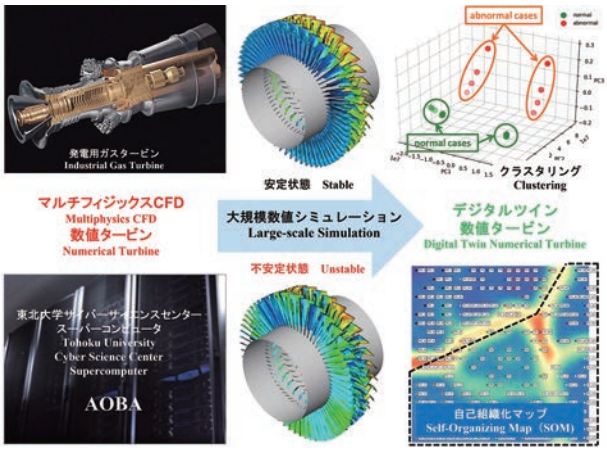
助　教
宮澤　弘法

情報応用数理講座
計算数理科学分野

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



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



デジタルツインプラットフォーム「デジタルツイン数値タービン」の概要

マルチフィジックスCFDで脱炭素デジタル社会に貢献

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

数値タービンのスーパーコンピューティング

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

超臨界流体シミュレータ（SFS）

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

航空機エンジン湿り空気流れの大規模シミュレーション

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

デジタルツイン数値タービン

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

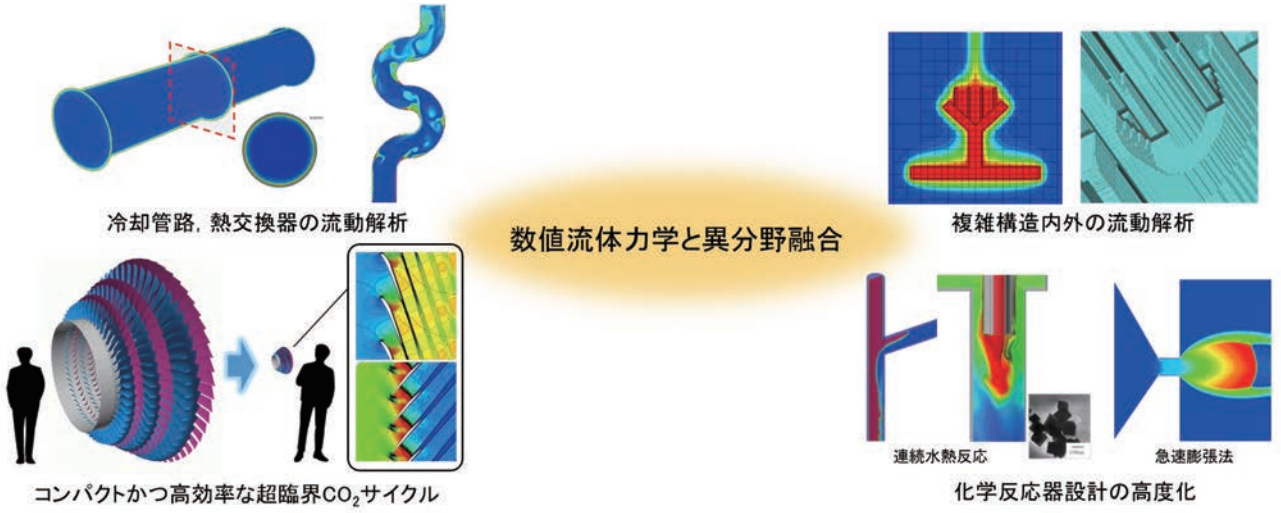
航空宇宙コース
情報科学研究科情報基礎科学専攻

准教授
古澤　卓

古澤 研究室

情報応用数理講座
計算数理科学分野

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



数値流体力学（CFD）と異分野融合による特異条件下の流動現象解明

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

航空宇宙機エンジン用冷却管路内のマルチフィジックス流動

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

次世代高効率発電サイクルに向けた超臨界流動の解明

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

化学工学との融合による流路設計の高度化

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

超臨界条件下における数理モデルの構築と実用化

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

航空宇宙コース
情報科学研究科情報基礎科学専攻

小林・小松 研究室

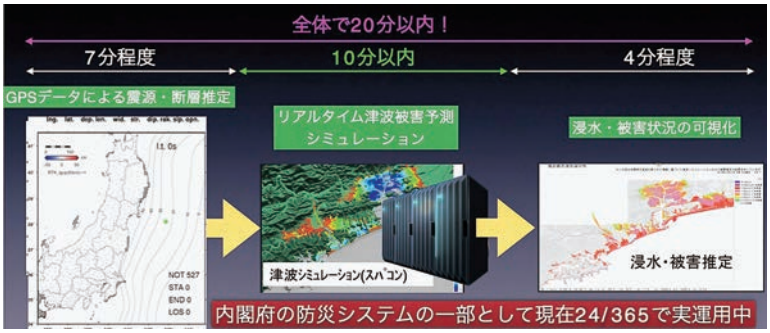
教　授
小林　広明

特任准教授
小松　一彦

ソフトウェア科学講座
アーキテクチャ学分野

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

量子アニーリングアシスト型次世代スーパコンピューティング基盤の研究開発



リアルタイム津波浸水被害推定システムの研究開発

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

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

量子アニーリングアシスト型コンピューティングシステム

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

機械学習による高性能計算の高度化

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

プロセッサの性能を最大限に引き出すコード最適化・チューニング

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

高性能・低消費電力なコンピュータアーキテクチャ

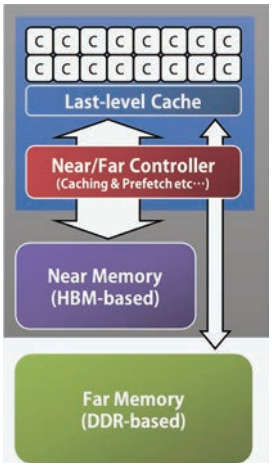
コンピュータではプロセッサとメモリが協調し、大規模データを高い効率で処理することが求められています。一方で、データ供給の要であるメモリの性能向上が頭打ちになり、プロセッサの性能を活用しきれないメモリウォール問題が顕在化しています。本研究では、電力あたりの性能を最大限にするために、ベクトル処理技術や階層型メモリシステム向け再構成技術の研究に取り組んでいます。

航空宇宙コース
情報科学研究科情報基礎科学専攻

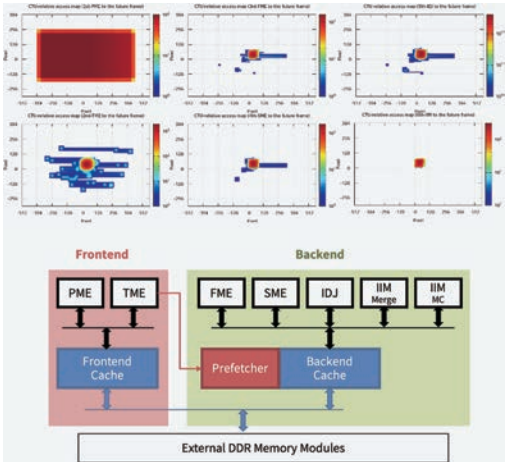
准教授
佐藤　雅之

佐藤 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/



複合型メインメモリシステムの概念図



動画像圧縮処理のメモリアクセス解析と圧縮処理プロセッサアーキテクチャ

次世代マイクロプロセッサのための賢いメモリアーキテクチャへの挑戦

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

次世代マイクロプロセッサのための複合型メインメモリシステム

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

動画像圧縮処理プロセッサ向けメモリアーキテクチャ

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

異種メモリ素子混載型キャッシュメモリ

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

最新プロセッサのメモリアーキテクチャ評価

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

航空宇宙コース
情報科学研究科情報基礎科学専攻

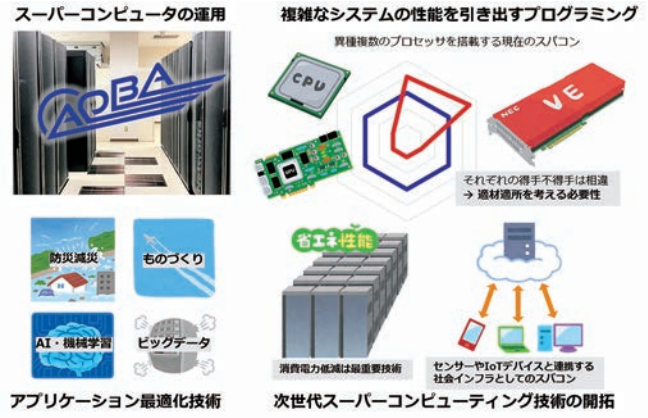
滝沢・髙橋（慧）研究室

高性能計算論講座

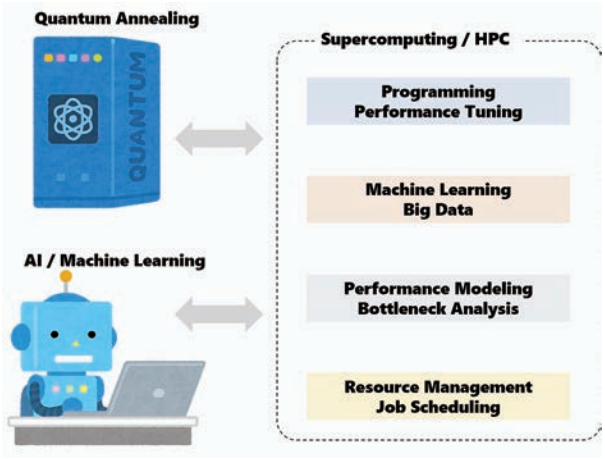
https://www.hpc.is.tohoku.ac.jp/

教　授
滝沢　寛之

助　教
髙橋　慧智



次世代スーパーコンピューティング技術の研究開発



量子コンピュータや機械学習とスーパーコンピューティング技術の相互連携

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

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

スパコンを中核とするサイバーフィジカルシステムの実現に向けて

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

機械学習技術によるソフトウェア開発支援の可能性を探る

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

多様なプロセッサの適材適所での利用を可能にするプログラミング環境の実現

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

スパコンを実際にとことん使いこなしてその限界に挑む

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

航空宇宙コース
流体科学研究所

大林・焼野 研究室

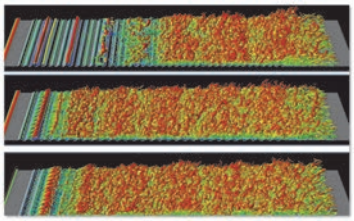
教 授
大林 茂

助 教
焼野 藍子

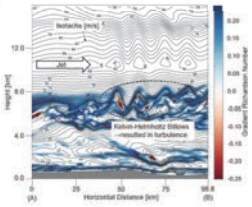
協力講座
航空宇宙流体工学分野

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

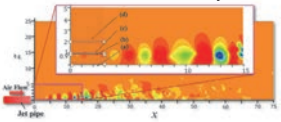
後退翼層流化を目指した前縁部受容性と粗さに関する研究
Attachment-line receptivity analysis and roughness effect for wing laminarization



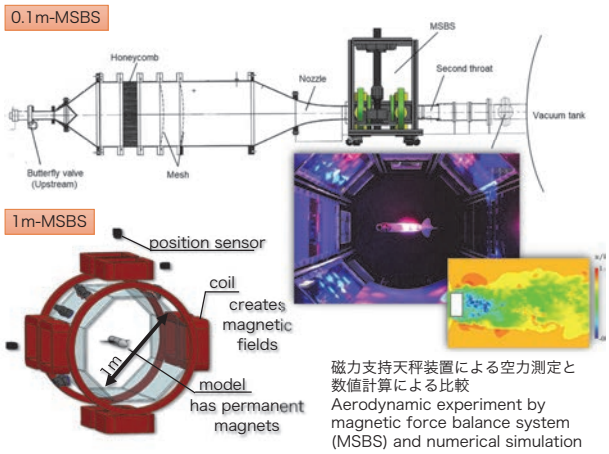
晴天乱気流による航空機揺動を高速かつ高精度に予測する技術の開発
Technology development to predict aircraft shaking due to 'clear-air turbulence' fast and with high accuracy



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



様々な数値流体計算の例



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

磁力支持天秤装置（MSBS）での空力測定実験

航空宇宙流体の先進的数値計算工学に関する研究

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

航空旅客機後退翼での層流化技術開発

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

データ同化を用いた流体計算の高速化・高精度化に関する研究

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

微細表面粗さによる摩擦抵抗低減技術開発

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

磁力支持天秤装置による機械支持のない空力測定

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

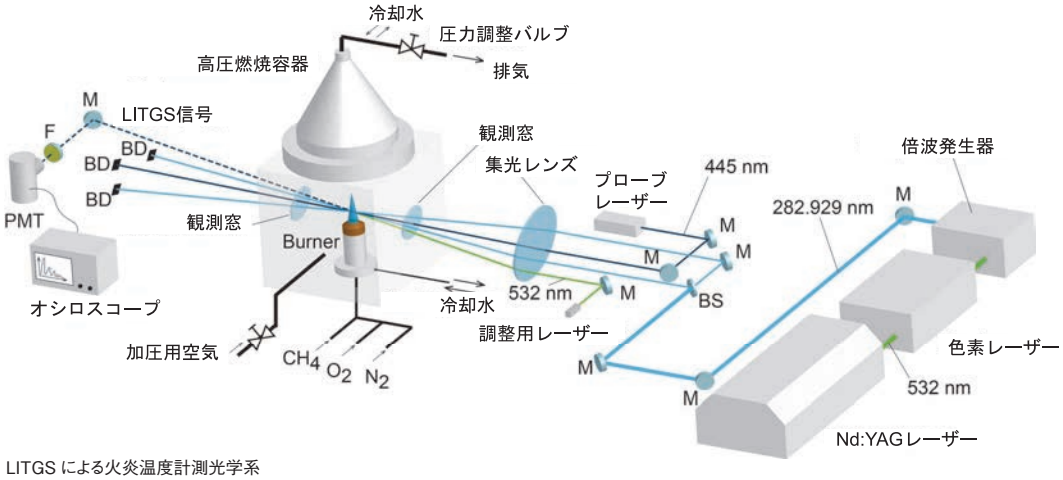
航空宇宙コース
流体科学研究所

早川 研究室

准教授
早川　晃弘

特任助教
Yu Xia

協力講座
高速反応流研究分野
http://www.ifs.tohoku.ac.jp/kobayashi/



LITGS による火炎温度計測光学系

高圧環境における反応性流体のダイナミクスと計測に関する研究

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

高温高圧燃焼場に対する非接触温度計測

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

カーボンニュートラルバイオ燃料の燃焼

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

高温･高圧環境下におけるアンモニア燃焼

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

アンモニア火炎からの燃焼生成ガス特性解明

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

航空宇宙コース
流体科学研究所

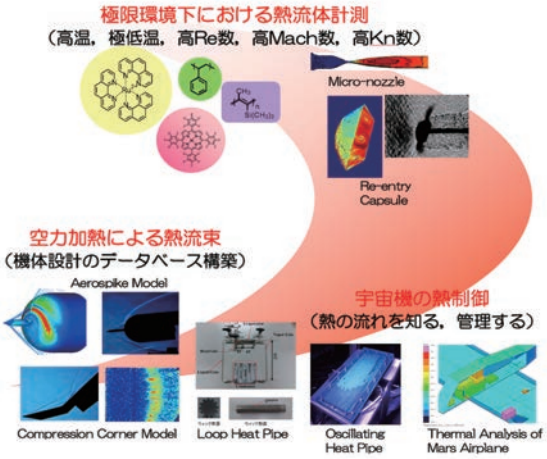
永井・伊神・常 研究室

教 授
永井 大樹

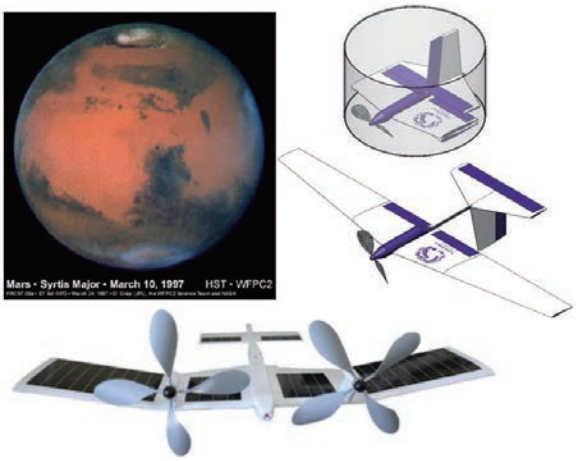
助 教
伊神 翼

特任助教
常 新雨

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



次世代宇宙機に関わる熱流体現象の解明とその制御技術



火星飛行機の概念図とモックアップ

次世代宇宙機に関わる熱流体現象の解明とその制御技術の開発

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

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

宇宙飛行体が惑星大気に突入する際の空力特性・空力加熱現象の解明

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

次世代宇宙機の熱制御デバイスの開発および革新的熱システムの開発

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

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

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

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

惑星探査航空機のための柔軟膜翼の研究・開発

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

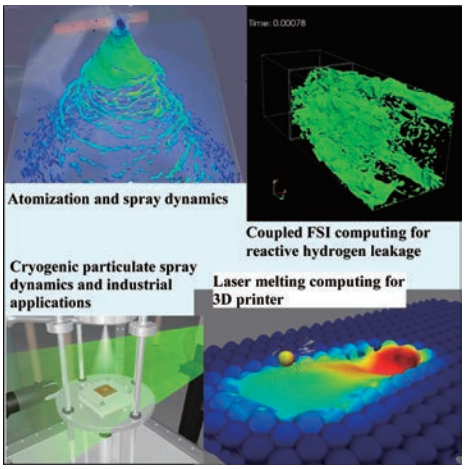
航空宇宙コース
流体科学研究所

石本･大島 研究室

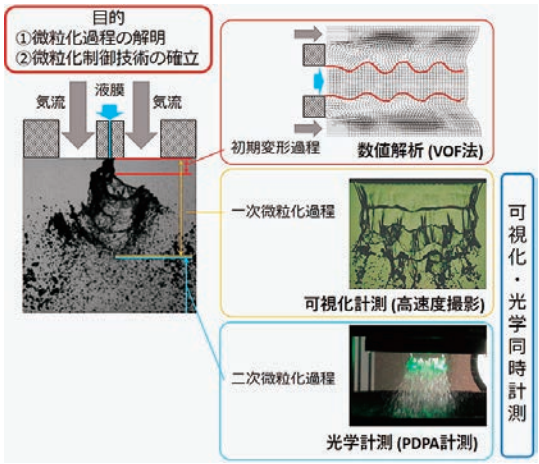
教 授
石本 淳

助 教
大島 逸平

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



マルチスケール先端混相流コンピューティング



平面液膜式燃料噴射弁による液膜微粒化過程

マルチスケール異分野融合型混相流動エネルギーシステムの創成

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

超高密度水素エネルギーキャリア開発における混相流体工学的アプローチ

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

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

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

極低温マイクロ･ナノ固体粒子を用いたNon- aqueous半導体洗浄

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

ガスタービンの革新的燃料噴射技術の開発

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

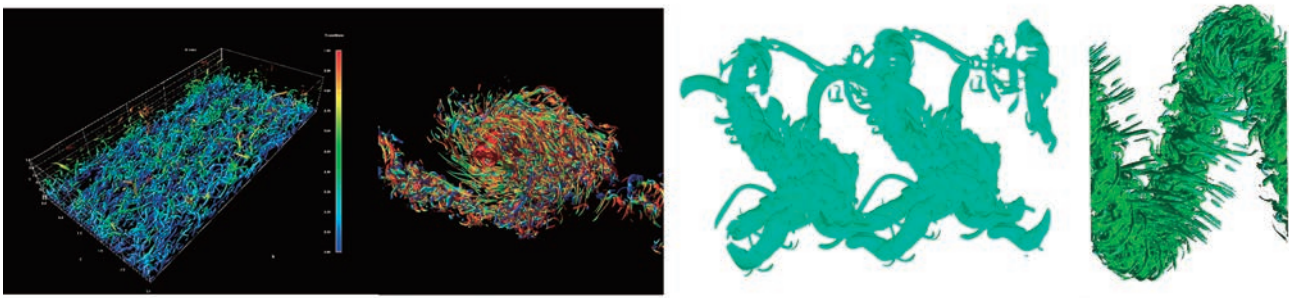
航空宇宙コース
流体科学研究所

教　授
服部　裕司

服部 研究室

協力講座
計算流体物理研究分野

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



チャネル乱流、不安定化した渦輪 / らせん渦に見られる渦構造

複雑流動現象の大規模数値シミュレーション研究

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

流れの安定性の理論解析および数値解析

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

渦動力学の研究

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

乱流の統計的性質の解明と新しい乱流モデルの開発

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

空力騒音低減のための基礎技術の研究

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

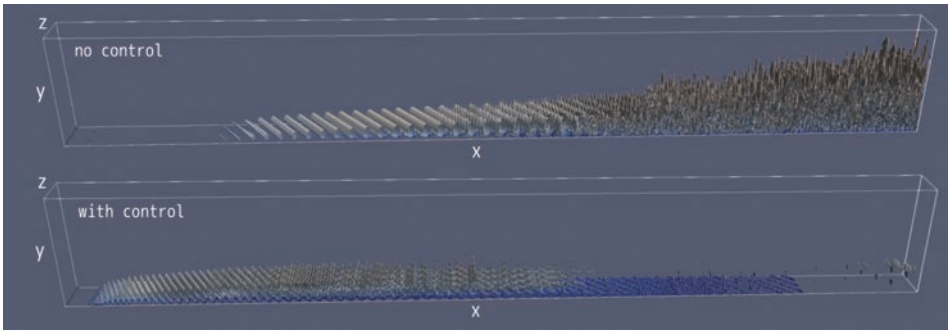
航空宇宙コース
流体科学研究所

廣田 研究室

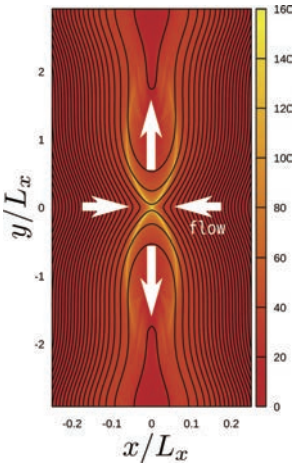
准教授
廣田　真

協力講座
計算流体物理研究分野

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



壁面粗度による三次元境界層遷移の抑制



爆発的な磁気リコネクション

流体安定性の数理に基づいた複雑流動現象の解明と制御

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

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

後退翼面上の三次元境界層遷移に対する壁面粗度を用いた制御

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

様々な平行シア流や回転流の安定性解析

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

無衝突プラズマにおける爆発的磁気リコネクションの非線形理論

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

拡張磁気流体力学の理論とシミュレーション

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