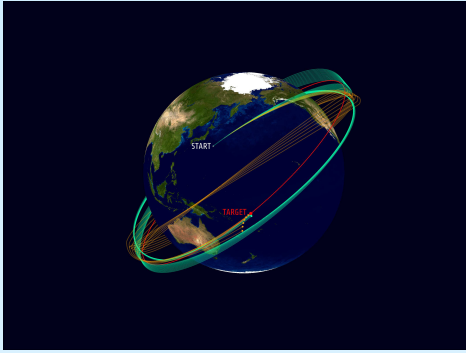


# 宇宙基礎工学コース



航空宇宙工学の基礎をなす6つの研究分野で構成

- 航空宇宙力学分野
- 流体力学分野
- 流体数理学分野
- 推進工学分野
- 制御工学分野
- 機能構造力学分野

## 航空宇宙力学分野

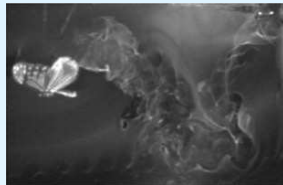
力学的理解と運動知能に基づく航空宇宙システムの  
知能化制御とシステム設計



人間の技能の解明に  
基づく宇宙ロボットの  
自律的制御

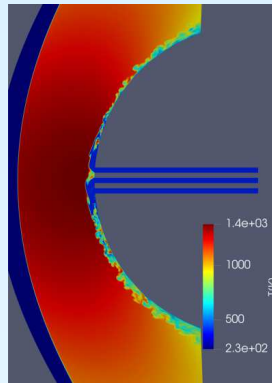


昆虫の運動知能に基づく脚型宇宙探査  
ロボットの制御(上)と蝶の飛翔原理の解  
明(下)

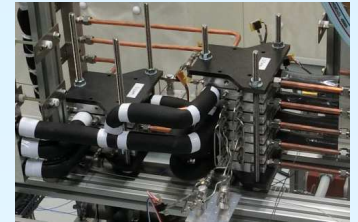


## 流体力学分野

高速複雑流体の解明

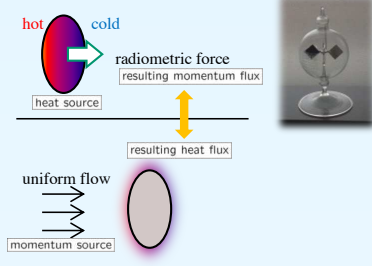
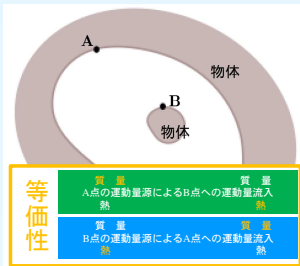


- 高速気体力学の数理解析・シミュレーション
- 衝撃波捕獲スキーム
- 希薄気流の数値解析
- 分子気体効果の工学的応用



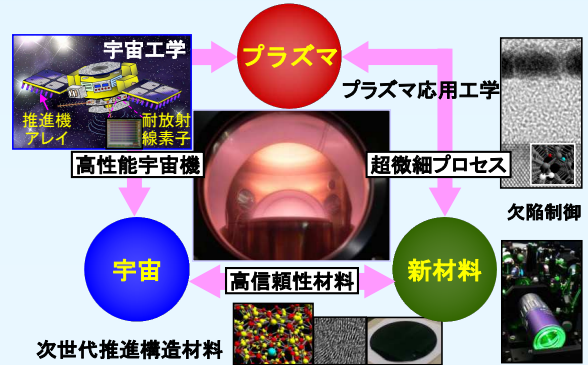
## 流体数理学分野

強い非平衡状態にある流体中で起こる現象の研究  
希薄気体に対する相反定理の 応用例：ラジオメータ効果の研究  
確立とその応用



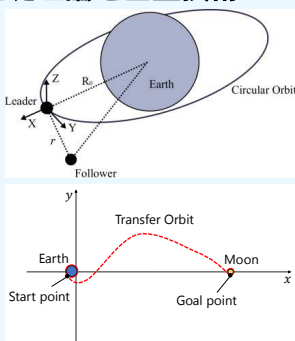
## 推進工学分野

プラズマと固体との相互作用の理解・制御を通して、次世代の  
新材料・推進システムの高性能化・高信頼性化の研究

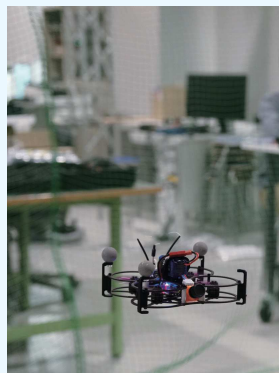


## 制御工学分野

航空宇宙における制御工学・統計的学習の  
基礎理論と基盤技術



宇宙機の軌道計画と姿勢制御



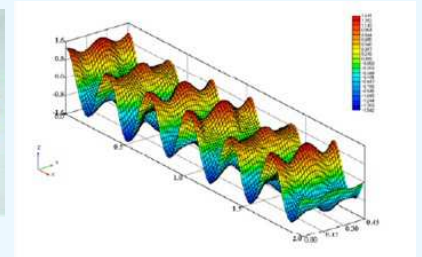
ドローンの自律飛行実験

## 機能構造力学分野

航空宇宙工学分野で用いられる  
材料・構造の動的挙動解析と高機能化



展開構造



複合材料における弾性波伝播挙動

# 航空宇宙力学講座

教授 泉田 啓

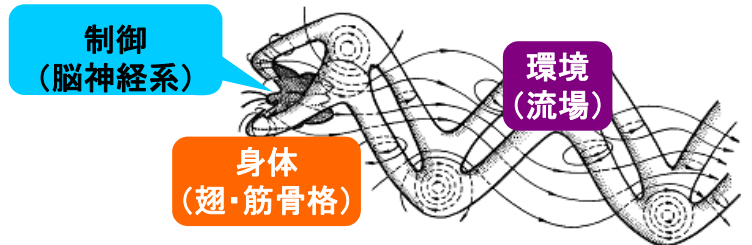
<http://space.kuaero.kyoto-u.ac.jp>

## 研究目標

対象のことを力学的に理解する。また、動物が巧妙に運動を生成する知能(運動知能)を解明する。この**力学的理解**と**運動知能**に基づき航空宇宙システムの知能化制御とシステム設計を行う。

## 研究内容

- 蝶の羽ばたき飛翔(右図)は
- (1) 制御(脳神経系) 【制御・情報】
  - (2) 身体(翅・筋骨格) 【力学】
  - (3) 環境(流場) 【流体】
- の相互作用の結果として実現される！



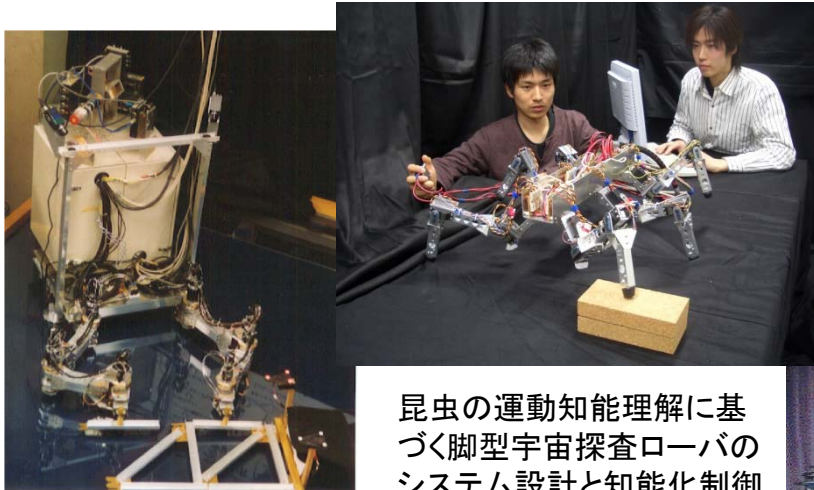
**身体(翅・筋骨格)理解**  
 生物学的理解  
 生体の運動計測  
 ⇒蝶の身体モデル化

制御(脳神経系)  
 身体(翅・筋骨格)  
 環境(流場)  
 環境と身体  
 の相互作用

**制御の解明**  
 感覚器(センサ)  
 中枢神経系の情報処理  
 ⇒飛行制御系の設計

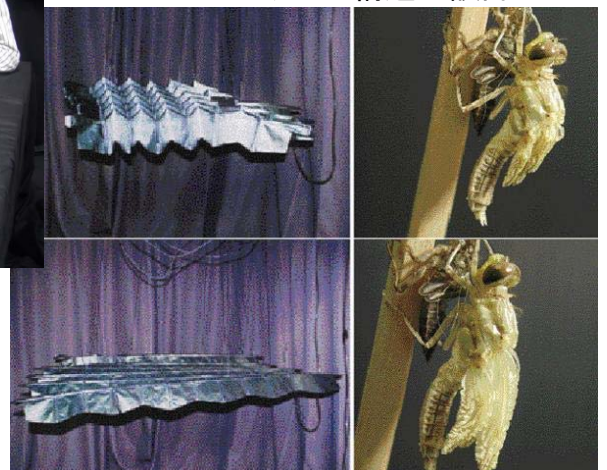
**環境(流場)の理解**  
 流場の実験計測  
 数値シミュレーション  
 ⇒環境(流場)のモデル化

同アプローチによるその他の研究



人間の技能の解明に基づく  
宇宙ロボットの自律的制御

昆虫の羽化の理解に基づく  
インフレータブル構造の設計



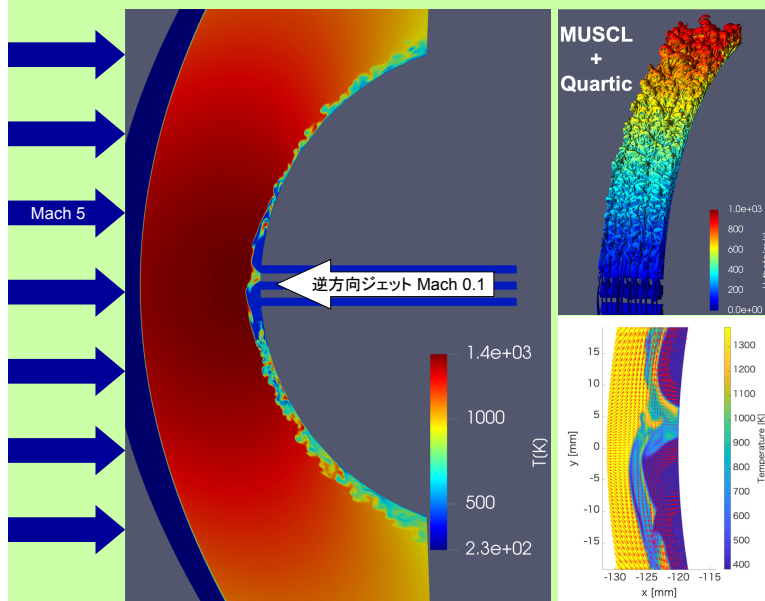
昆虫の運動知能理解に基づく  
脚型宇宙探査ローバの  
システム設計と知能化制御



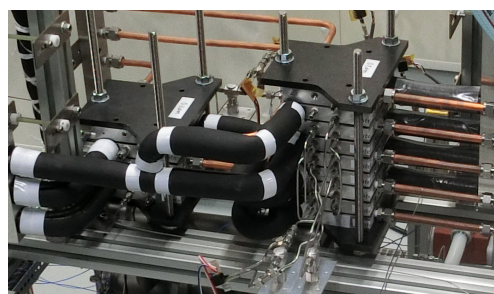
超音速で航行するジェット機の周りには衝撃波が形成されます。衝撃波は非常に薄い層で、そこで大気は圧縮され、運動エネルギーは熱エネルギーに変換されますが、その変化はほとんど不連続的です。また機体の表面近くでは境界層の剥離や乱流への遷移等の様々な不安定現象が生じ、流れは非常に複雑になります。本研究室では高速複雑流体の簡便で信頼性の高い数値解法の開発を行い、その過程で生まれた計算法を航空宇宙流体解析に応用する研究を行っています。

### 逆方向ジェットを利用した極超音速空力加熱に対する熱防御

極超音速宇宙機ノーズのアクティブな冷却法として、亜音速逆方向ジェットによるフィルム冷却の研究を行なっています。2次元の解析では翼前縁付近の熱流は90パーセント近く減少しましたが、3次元解析では種々の不安定現象、乱流遷移により50~60パーセントにまで低下します。少量の冷媒で高い冷却を行える可能性を探っています。



当研究室のもう一つの研究テーマは、希薄気流やマイクロ・ナノオーダーの気流の実験的研究です。このような気体では分子運動論的効果が顕著になり、例えば止まっている壁でも流れが生じたりします。現在、分子運動論的効果を利用した混合気体の成分分離などを行う様々な新規デバイスの開発に取り組んでいます。

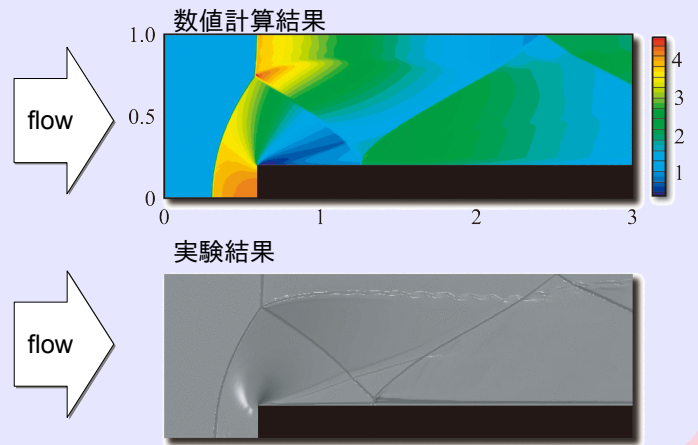


### 無電力気体分離

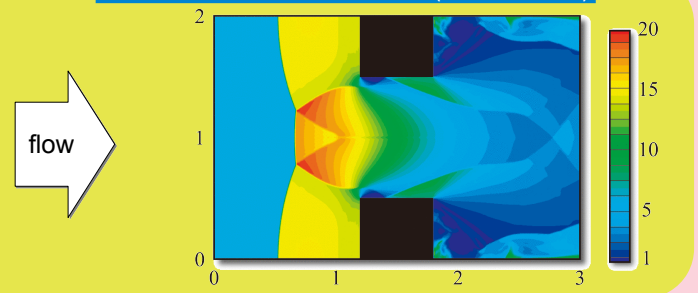
数十度の温度差で混合気体の濃度を変更する実験。マイクロ流路を用い大気圧で動作します。質量が異なれば同位体でも動きます。

### 初学者でも解る！衝撃波捕獲高解像度スキーム

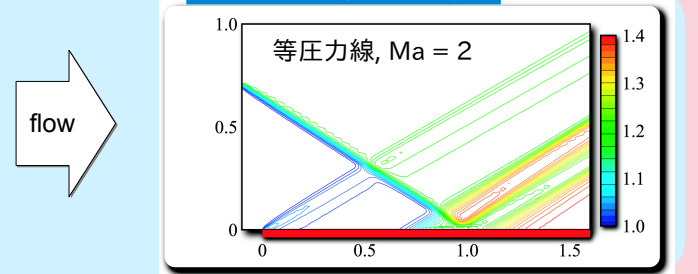
#### 板を通過する超音速流 (Mach数=3)



#### オリフィスと衝撃波の干渉 (Mach数=10)



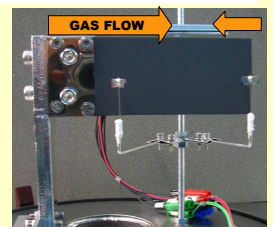
#### 衝撃波と境界層の干渉



### 温度場で駆動される低圧気体の流れ

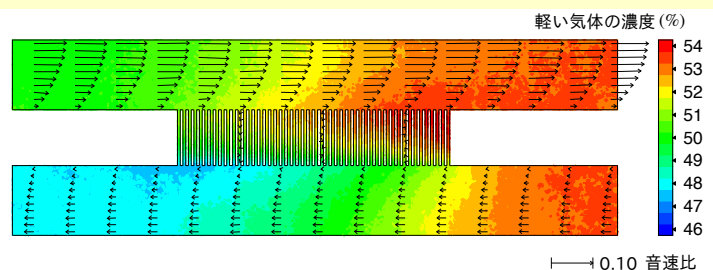
#### ▶ 低圧気体の流れのデモ装置

光を当てると低温部分から高温部分へ気体の流れ、羽根車が回ります。



#### ▼ 混合気体分離装置の解析

上側の高温高压流路・下側の低温低压流路の間のマイクロチャンネルで分子が交換され、混合気体の組成が変化します。



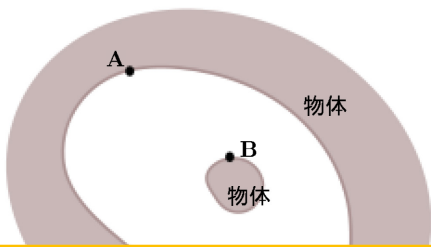
# 航空宇宙工学専攻 流体数理学分野

(高田 滋 教授・初鳥 匡成 助教)

おもに局所平衡から大きくずれた状態にある流体の理論的研究を行っています。運動論方程式に基づくメソスコピックな立場から流体中に起こる様々な現象を深く理解し、従来の概念だけでは手が届かなかった流体力学、気体力学の新しい適用の場を開拓することを目指しています。

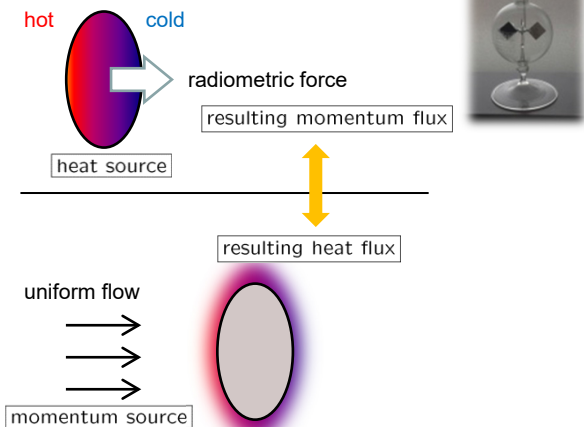
最近の研究から...

## 希薄気体に対する相反定理の 確立とその応用

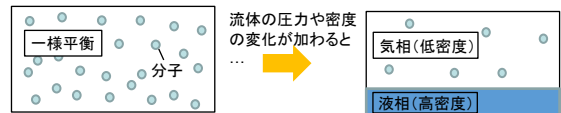


等価性	質量	質量
	A点の運動量源によるB点への運動量流入熱	B点の運動量源によるA点への運動量流入熱
	質量	質量
	B点の運動量源によるA点への運動量流入熱	A点の運動量源によるB点への運動量流入熱

応用例: ラジオメータ効果の研究



## Van der Waals流体の相分離現象の 分子運動論的解析

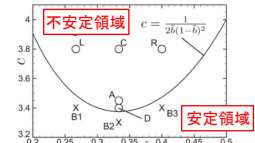


運動論モデルから回復・導出 線形安定性に関する中立曲線

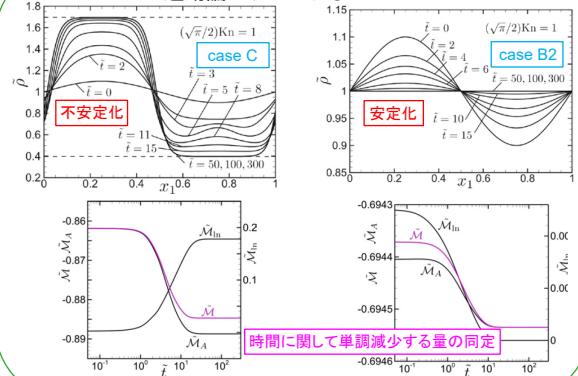
Van der Waalsの状態方程式

$$p = \frac{\rho RT}{1 - b\rho} - \rho^2 a$$

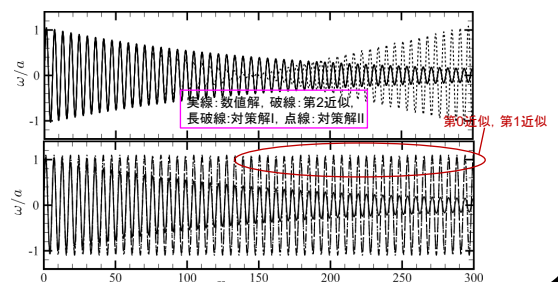
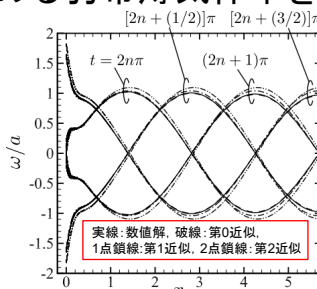
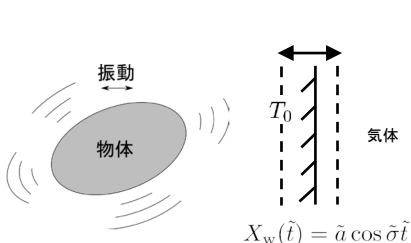
$a, b$ : それぞれ短距離分子間引力効果, 体積排除効果を表す正のパラメータ



運動論モデルによるシミュレーション



## 滑らかな剛体のまわりを占める弱希薄気体中を伝わる音波



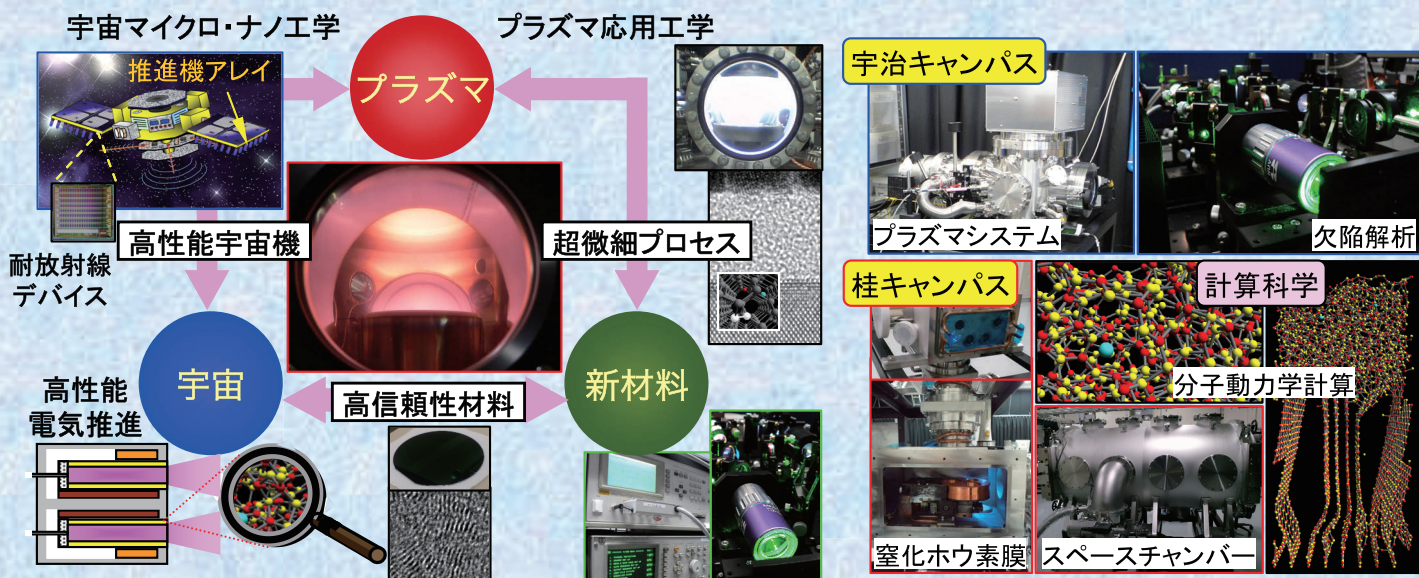
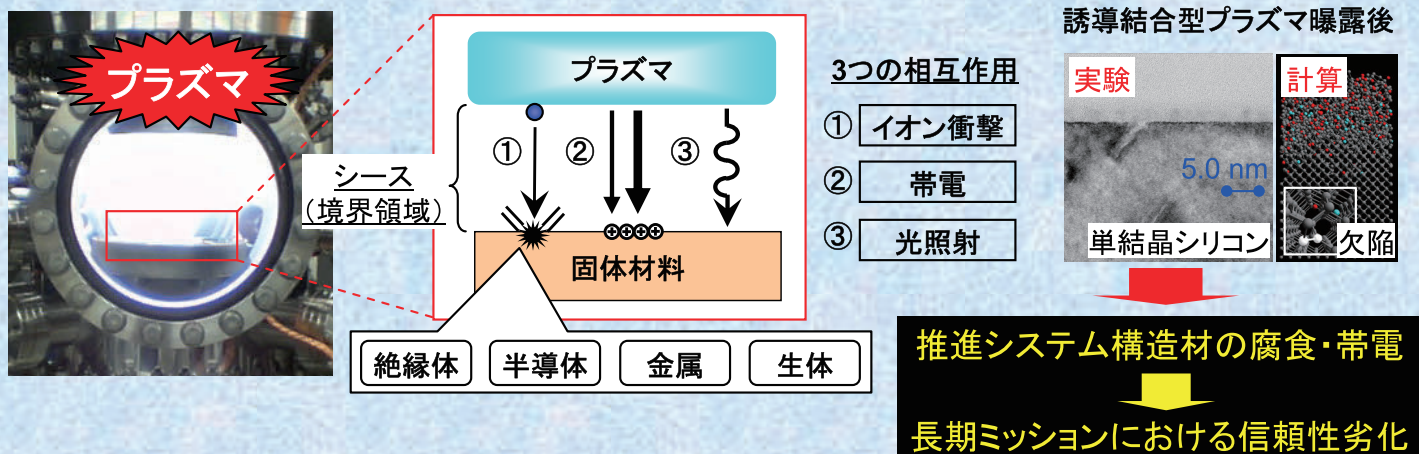
# 理工工学部・宇宙基礎工学コース / 工学研究科・航空宇宙工学専攻 推進工学分野 (Propulsion Engineering Lab.)

教授 江利口 浩二 助教 占部 継一郎

## 明日を創るプラズマ科学

宇宙工学、エネルギー工学から、マイクロ・ナノテクノロジーまで  
～「プラズマ工学」「極限環境物理学」「信頼性物理学」の基礎的研究～

本研究室では、宇宙・超微細プロセス・材料創製など様々な産業分野で重要な役割を担う電離気体「プラズマ」に関する基礎研究および宇宙工学をはじめとする最先端技術への応用研究を行っています。それらの力学的性質と共に、構成要素である原子分子やイオンと固体表面との相互作用に関する研究ならびに極限環境・長期ミッションに耐えうる新しい材料・システムの研究を行っています。



- 研究テーマ**
1. プラズマと固体との相互作用に関する研究 (例: 欠陥形成による材料劣化)
  2. 新材料創製による高性能推進システムに関する研究 (例: 耐酸化・耐腐食材)
  3. 宇宙マイクロ・ナノ工学に関する研究 (例: 長期ミッションにおける高信頼性技術)

プラズマと固体との相互作用を科学的に理解・制御することで、極限環境下で利用される次世代の新材料・推進システムの高性能化・高信頼性化を実現する

# 制御工学分野

教授 藤本 健治, 准教授 丸田 一郎

## 制御工学・システム工学の基礎理論と基盤技術

### 🔗 システム制御

システムとは入出力を持つ対象を数理的に表現したものであり、特にダイナミクスを有するシステムの解析設計手法がシステム制御である。この分野は数学・物理・工学・経済学など、多様な領域にまたがる横断的な研究分野であり、様々な対象を統一的な理論で扱うことができる。当分野では航空宇宙に限らず機械・電気・物理・化学・情報・社会など、様々なシステムを扱うためのシステム制御理論の構築を行っている。扱う主なテーマは線形制御論、最適制御、非線形制御、確率システム制御、航空宇宙システム、ロボット工学、統計的学習、モデル低次元化、力学的制御などである。

これらの理論の構築には、多くの分野の知識を総動員する必要があり、特に線形代数、微分幾何、関数解析、解析力学、航空宇宙力学、確率統計、統計的学習、メカトロニクス、計算機等の知識を融合して行う。近年は、解析力学に基づく力学的な非線形制御、統計的学習理論を用いたシステムの推定とばらつき抑制のための確率最適制御、力学理論に基づく最適軌道計画、非線形特異値解析とモデル低次元化等のテーマを重点的に開発している。

### 📊 システム同定

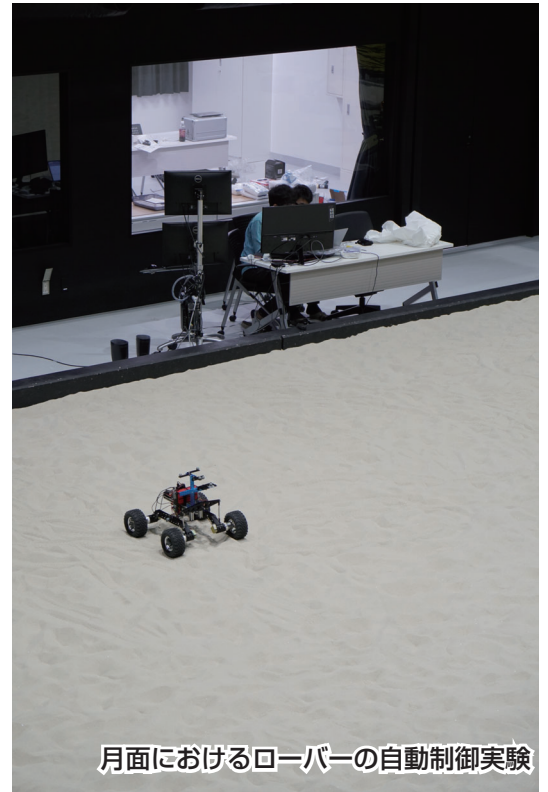
システム制御においては対象システムのダイナミクスを表す数理モデルが重要であり、設計された制御器の性能や安全性は、用いられたモデルの精度に強く依存する。しかし、複雑なダイナミクスを持つシステムのモデルを構築することは容易ではなく、大量のデータに基づいて系統的にモデル構築を行う方法、すなわちシステム同定法が必要とされる。

当分野では、強い非線形性を持つシステムのモデルを構築可能なシステム同定法と、得られたモデルを活用する制御理論の開発に取り組んでおり、航空宇宙に限らず機械系や化学系などへの応用についても研究を行っている。

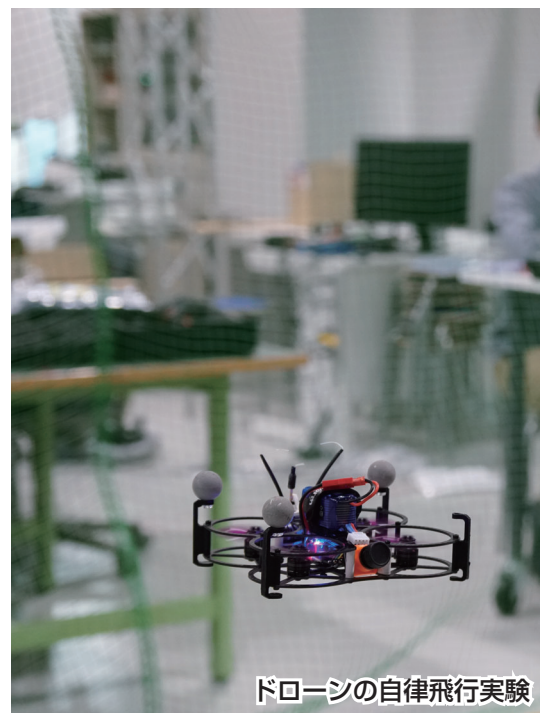
### 🚀 航空宇宙システム

航空宇宙分野のシステムは様々な特徴を有している。航空機分野では、空気との複雑な相互作用と流体力学のモデルが必要であり、機体の軽量化による振動の問題、また部品点数が数百万個にも及ぶ大規模複雑なシステム等を扱う必要があり、様々なシステム制御理論が必要となる。当分野では、気流との相互作用によって生じる不規則な外力を確率モデルとして取り扱い、統計的学習と確率システム制御を組み合わせることにより統計的なアプローチによる制御手法や大規模な航空宇宙システムを信頼性を保ったまま簡便に扱うためのモデル低次元化技術などを開発している。

宇宙工学における制御対象の多くは、機械系と電気系の融合したメカトロニクス系であり、当分野ではこれらの系に特化した制御理論を開発している。メカトロニクス系のダイナミクスは、エネルギー保存則等のシンプルな力学法則によって記述でき、解析力学のツールを用いることでこの系特有の性質を利用することができる。これらの対象をハミルトンの正準方程式で記述し、その保存則、対称性、可積分性などの性質を用いることで、より自然で信頼性の高い制御則を開発している。これらは宇宙機の姿勢制御、軌道計画、ランデブー制御など、航空宇宙における様々な問題に適用できる。



月面におけるローバーの自動制御実験



ドローンの自律飛行実験

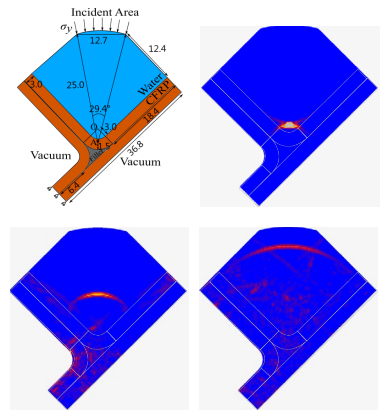
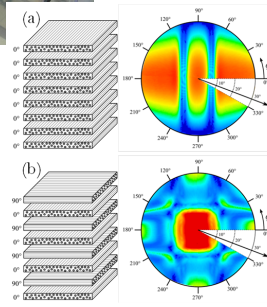
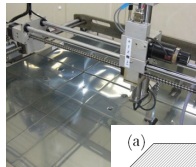
# 機能構造力学分野

教授 琵琶 志朗 助教 石井 陽介

本研究室では、複雑な微視構造を有する材料や構造の動的かつ非線形な力学挙動および弾性波伝搬挙動を明らかにするとともに、航空宇宙工学をはじめとした幅広い分野における構造の高機能化・健全性評価の基礎学理を築くための理論的、数値的ならびに実験的研究を行っています。

## 複合材料構造における超音波伝搬挙動

近年、航空宇宙分野では軽量かつ高剛性・高強度という特性を有する炭素繊維強化複合材料の適用が広がっています。本研究室では、複雑な微視構造や巨視的異方性特性を持つ複合材料構造における超音波伝搬挙動を解明し、材料特性や微視欠陥の非破壊評価法の開発・高度化につなげるための基礎的研究を進めています。



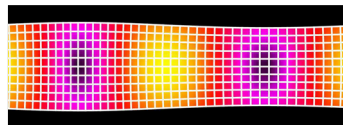
超音波ポーラスキャンによる異方性弾性特性の測定

複合材料積層構造コーナ部における超音波伝搬挙動の数値シミュレーション

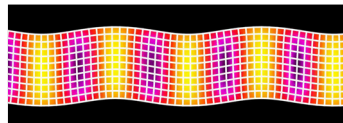
## 薄肉構造における弾性波伝搬挙動

軽量化のために薄肉化された構造では弾性波の伝搬挙動は極めて複雑になり、多モード性(同じ周波数をもつ多くの伝搬形態が存在すること)、分散性(伝搬速度が周波数に依存すること)、補強材による異方性・遮断効果などの特徴があらわれます。本研究室では各種の薄肉構造における弾性波伝搬挙動を明らかにし、超音波非破壊評価や構造健全性モニタリングへの応用を図っています。

最低次対称モード (主に伸縮)



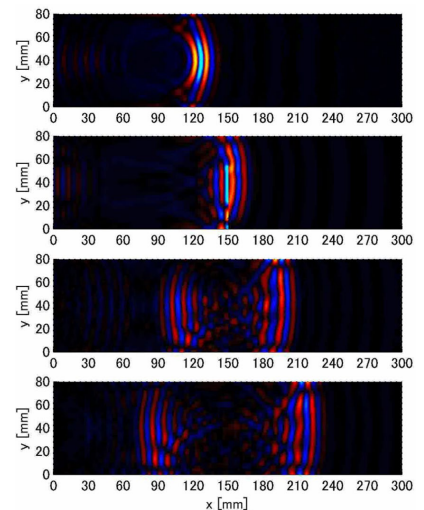
最低次反対称モード (主に屈曲)



平板を伝わる弾性波 (ラム波)



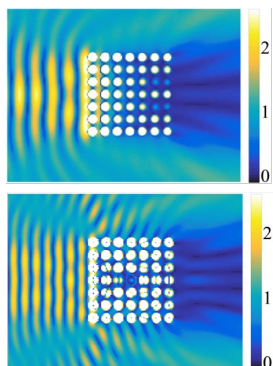
圧電探触子によるラム波計測



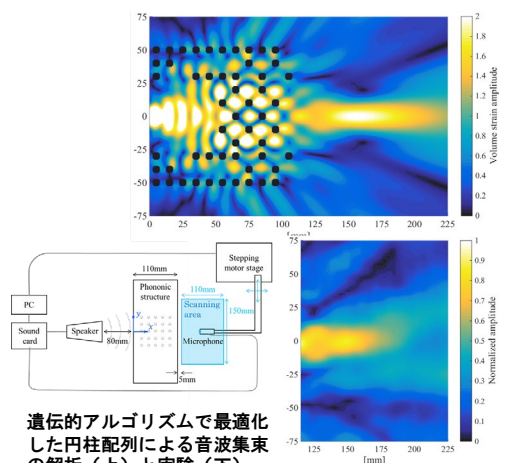
き裂によるラム波散乱の数値解析

## フォノン結晶・音響メタマテリアルによる弾性波機能構造

弾性波(音波)の波長スケールで特徴的な内部構造を付与した、従来にはない有用な弾性波伝搬特性を持つ人工的材料・構造(フォノン結晶、メタマテリアル)が盛んに研究されています。このような材料・構造における弾性波(音波)伝搬挙動を明らかにし、伝搬挙動を自由に操作(遮断、集束など)する可能性を研究しています。



円板形介在物の周期配列による曲げ波の遮断



遺伝的アルゴリズムで最適化した円柱配列による音波集束の解析(上)と実験(下)