



# Center for Aerial Intelligent Vehicles

インテリジェント飛行センター





## インテリジェント飛行センター（CAIV）について

CAIVは、日本初のドローンに特化した大学内研究所として、2019年10月に千葉大学に設立されました。ドローンの機能は近年劇的に進化し、飛行も安定しています。しかし、災害医療や救助の現場、点検が必要な狭い空間、物流・農業・林業などの現場で活躍するための様々な課題を克服する必要があります。

CAIVではこうした課題の克服に寄与するため、自然界の生物を手本に持続可能な技術を生み出す「生物規範工学」、これまでにない新しい「人工知能」、未来志向の「人材育成」を加えた3つの軸を基に、しなやかで強く、環境のことを考えた技術開発を進めています。

## 目次

### CAIVについて

#### RESEARCH HIGHLIGHTS

|       |    |
|-------|----|
| 鈴木 智  | 4  |
| 中田 敏是 | 5  |
| 加藤 顕  | 6  |
| 並木 明夫 | 7  |
| 荒井 幸代 | 8  |
| 大川 一也 | 9  |
| 桑折 道済 | 10 |
| 久保 光徳 | 11 |

#### NEWS

|                |    |
|----------------|----|
| 寄稿             | 14 |
| 寄附講座のご案内       | 15 |
| センター 長挨拶       | 16 |
| CAIV メンバー お問合せ | 17 |





鈴木 智

中田 敏是

加藤 顕

並木 明夫

荒井 幸代

大川 一也

桑折 道済

久保 光徳

## 「空の産業革命」の機運と挑戦

近年、様々な産業用途でのドローンの活用を目指して、「空の産業革命」という言葉が使われるようになってきました。

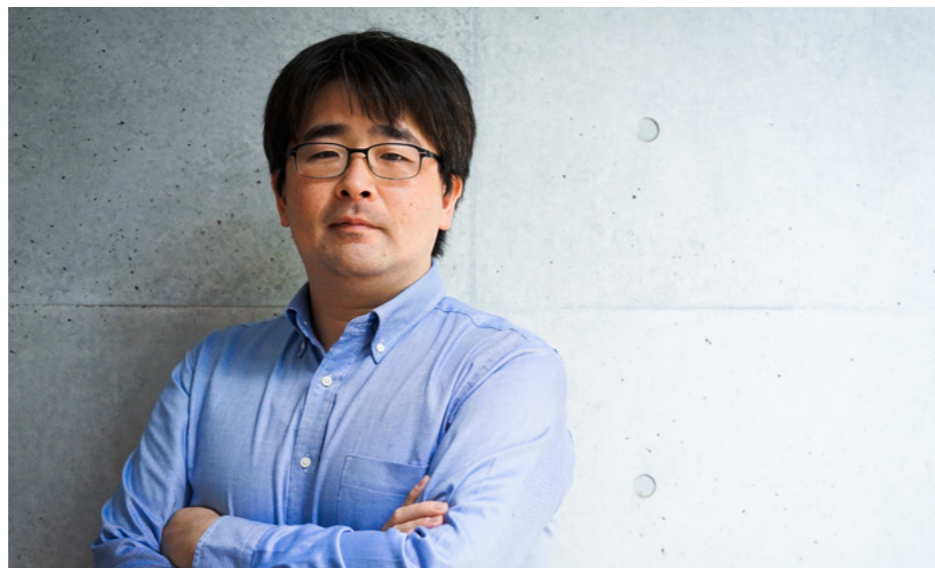
ドローンの種類では、現在産業用途として、観測・インフラ点検・測量・農業・物流・閉所作業などがあります。これらのドローンは、すでに成熟した自動車や航空機などの産業と比べて、技術的には、安全性や信頼性、耐久性や飛行性能に課題が多く、黎明期の段階にあると言っても過言ではありません。しかしながら、ドローンや空飛ぶ車などの未来社会の電動航空機エア・モビリティ基盤産業を目指す新産業創出の観点で、ドローン市場や技術開発は急速に世界的な高揚時期に入っています。

「空の移動革命」は、こうした拡大するドローン市場の中で、特に人や物の移動に関して、日本で新たな産業を育成できるよう官民協同で取り組まれている目標です。CAIVでは、次世代型ドローンの研究開発を通して、この目標の達成に向けて貢献しています。



## Satoshi Suzuki

2008年千葉大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。その後2009年より信州大学助教、2014年より同准教授。2019年4月より現職。小型無人航空機を中心として、制御工学、ロボティクスに関する研究を専門とする。

新しい制御システムで  
ドローンの運動能力を磨く

近年、ドローンは急速に社会に浸透し、空撮・農業・構造物点検・測量・防災といった様々な分野において利用が拡大しています。しかしながら、ドローンの利用範囲が拡大するにつれて、現状のドローンでは飛行困難な環境や、1機のドローンでは遂行が難しいタスクなど、その弱点も次々に明らかになっています。

当研究室では、ドローンの社会実装の妨げとなるこうした弱点の克服を目指し、制御工学・ロボティクスの観点から研究を行っています。

例えば、「6自由度独立制御可能な非平面型ドローン」の研究では、従来のドローンでは不可能な卓越した運動能力を実現するために、6発のロータそれぞれを傾けた非平面型ドローンを開発しました。この機体に対して適切な制御システムを適用することによって、並進運動と回転運動の独立制御が可能になるだけでなく、従来のドローンを大きく凌駕する高精度の飛行



図1：並進運動と回転運動の独立制御を実現した、非平面型ドローン。

を実現できます。この研究は企業との共同研究により実施しており、強い風外乱下で精密な飛行が求められる大規模構造物の点検業務等に利用される予定です。また、この研究を発展させることで、個々のミッションに適した卓越した運動性能を有するドローンの設計理論を構築することも可能となります。

また、「小型ドローンの協調飛行制御」に関する研究では、重量200g以下の小型ドローンが複数協調して1つのミッションを遂行するシステムの実現を目指しています。近年、ドローンを高所だけでなく、床下や天井裏、配管内部といった狭隘部の点検に利用することが求められています。狭隘部の点検に用いるドローンは小型である必要がありますが、搭載重量や飛行時間が厳しく制限されるため、小型ドローンに対して点検に要するセンサ類を全て搭載して運用することは困難です。

そこで、可視光カメラ、赤外カメラ、超音波センサをはじめとした各種センサをそれぞれ搭載した複数のドローンが狭隘空間を協調的に飛行することで効率的な点検を実現できます。さらに、実時間最適制御の1種である「モデル予測制御」を適用することで、狭隘部での協調飛行の際に問題となる「衝突」を回避する飛行制御システムの実現に成功しました。

以上に示したような研究を通して、様々な環境やミッションに対してタフなドローンを実現し、ドローンの社会実装をさらに推し進めることを目指しています。最終的には、ドローンが人間社会に大きな利益をもたらすと同時に、有事の際には人を護り・助ける存在となりうるように日々研究を推進しています。

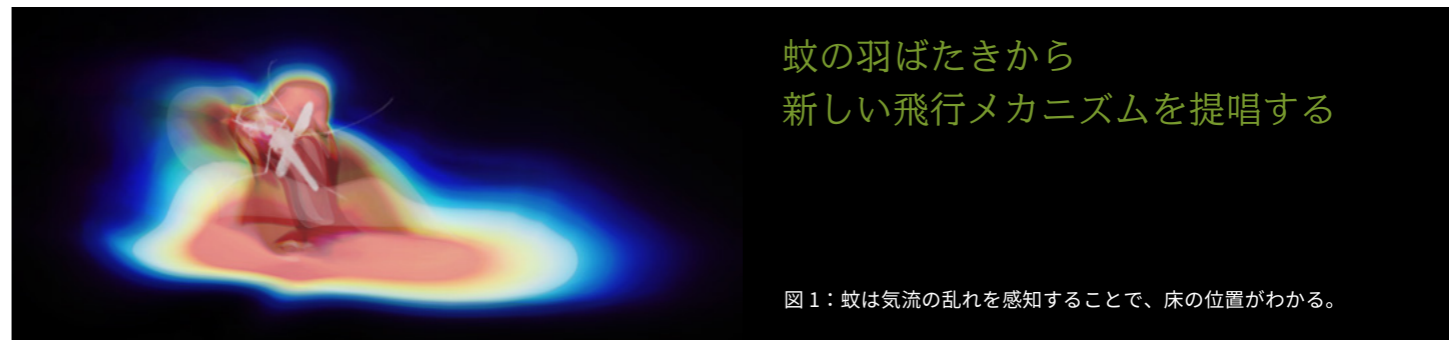
蚊の羽ばたきから  
新しい飛行メカニズムを提唱する

図1：蚊は気流の乱れを感知することで、床の位置がわかる。

生物の世界において、蚊は非常に特殊な飛び方をしています。しかし、その詳細な飛行メカニズムについては、最近までほとんど知られていませんでした。

科学的に見ると、蚊の羽ばたき運動は1秒間に約600～800回、翅の運動の振幅(翅のストロークの角度)は約40度と、極めて小さいです。他の昆虫や鳥と比べると、なぜこれで飛んでいるのか不思議なくらい特殊な運動です。しかしまさにこの運動によって、他の生物では見られない特異な気流を起こしながら蚊の飛行が実現していることがわかりました。これは、我々のチームが高速カメラによる3次元運動測定とシミュレーションによって蚊の飛行を分析した結果明らかになったことで、2017年に科学誌「Nature」に論文が掲載されました。

また、蚊の羽ばたきによって生み出された気流は、物にぶつかって跳ね返り、全体に伝播することで、空気の歪みを生じさせます。空気の歪みは、蚊の触角の根本についた「ジョンストン器官」という超高感度センサーで捉えられます。「自らの羽ばたきが生み出す気流の乱れを感知する」という一連のメカニズムによって、蚊は暗闇の中でも壁や床などの障害物の位置を検知し、ぶつからずに自由に飛ぶことができると考えられます。実際に、シミュレーションの結果によると、蚊は体長の10倍の3～4センチ先の気流の乱れを感じ取れることがわかりました。

一方で、ドローンや飛行機などの人工的な飛行体でも、地面に近づくことで空気力が増加する「地面効果」が知られていました。地面付近では空気が跳ね返って揚力が大きくなるため、静かな着陸が難しいのです。こうした地面効果は機体の翼の長さ程度の距離で見られるため、蚊の場合と比べると、いかに蚊のセンシング機能が優れているかがわかります。蚊が飛行機だと

考えると、無限に遠くの距離の障害物を感知できるようにも思えます。

イギリスの共同研究チームは、私が調べた蚊の飛行能力についてのシミュレーション結果を元に、ドローンに圧力センサを搭載し、プロペラが起こす気流の変動検知の機能を評価しました。このドローンは、特殊な超音波センサー等がなくても、シンプルな機構で床や壁の存在を検知できることが実証されたのです。本研究成果は、2020年に科学誌「Science」に掲載されました。

蚊は身近な生き物であるだけに、一般の方の関心も高いのですが、工学的手法を使ったその飛行メカニズムの解明は、まだ始まったばかりの新しい分野です。蚊の飛行に潜む秘密を一つ一つ解き明かすことで、蚊の飛行メカニズムの全貌を掴み、これを逆手に取って、蚊を寄せ付けない新しい手法の開発につなげたいと考えています。

## Reference

- [1] Richard J. Bomphrey, Toshiyuki Nakata, Nathan Phillips & Simon M. Walker, Smart wing rotation and trailing-edge vortices enable high frequency mosquito flight, Nature, 2017; 544: 92-95. DOI: [10.5061/dryad.tc29h](https://doi.org/10.5061/dryad.tc29h)
- [2] Toshiyuki Nakata, Nathan Phillips, Patrício Simões, Ian J Russell, Jorn A Cheney, Simon M Walker, Richard J Bomphrey, Aerodynamic imaging by mosquitoes inspires a surface detector for autonomous flying vehicles, Science, 2020; 368, 6491, 634-637. DOI: [10.1126/science.aaz9634](https://doi.org/10.1126/science.aaz9634)



## Toshiyuki NAKATA

2012年千葉大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。その後オックスフォード大学(英国)、王立獣医学大学(英国)でポスドク研究員、2016年1月より千葉大学で特任助教(プロジェクト付き)。2017年3月より同テニユアトラック助教。バイオメカニクス、流体力学、構造力学、流体構造連成を専門とする。





## 加藤 顕

Akira Kato

園芸学研究所 ランドスケープ学コース  
准教授  
Associate Professor  
Green Space Environmental Studies,  
Resource Sciences

ワシントン大学大学院森林資源学部より2008年に博士号取得後、2009年より千葉大学園芸学研究所に就く。高解像3次元レーザーを用いて詳細に植物構造を把握することが専門である。最近では自然災害（森林火災等）での3次元データ利用に関する研究を行っており、自然が災害を受け入れる生態的プロセスの研究にも携わっている。

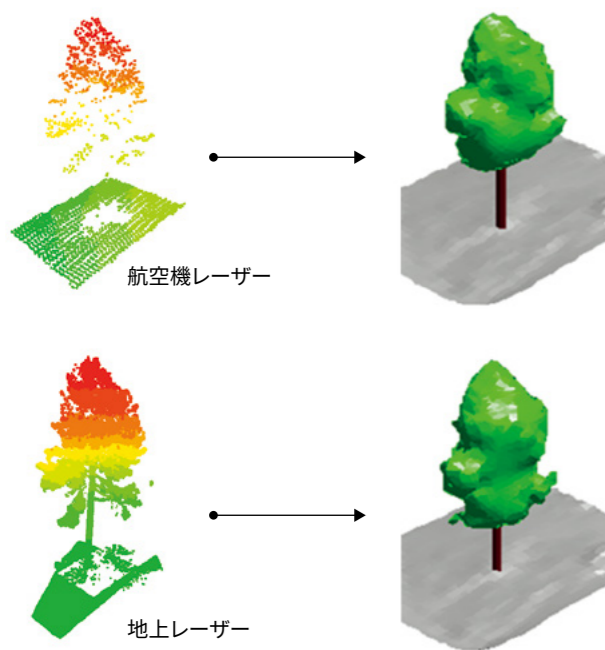


図1：樹冠構造把握のためのラッピング法

## 3次元計測機能付きドローンで 森林を解析する

国土の69%が森林に覆われている日本では、戦後に人工林が各地に造林されました。現在その約半数が樹齢50年を超え、伐採・利用期を迎えています。一方で、林業従事者は林業の重労働や過疎化・少子高齢化の進行に伴って深刻な担い手不足に直面し、平均年齢は70歳。林業の持続可能性は危機的状況にあります。このため、近年、IoTやICT技術を導入することで、業務の効率化を図る技術革新「スマート林業」が推進されています。

伐採時期を迎えた林材を伐採して流通させるには、伐採のための作業量や材の販売量を推定するため、木の本数・高さ・太さなどの対象林の資源量を事前に把握する作業が欠かせません。しかし、人手による計測では費用と正確性に課題が残ります。そのため、安価で簡便に、広範囲の森林資源量を正確かつ効率的に計測する手法が必要になります。ドローンの導入による林業のスマート化は、8割以上の省力化と、売り上げの倍増が期待され、林業の持続可能性に大きく寄与できます。スマート林業にとって、ドローンによる計測技術開発は重要なテーマなのです。

我々の研究チームでは長年、レーザーを用いた樹木の3次元構造の把握に関する技術開発に取り組んできました。近年、レーザーから得られる3次元データを独自のアルゴリズムで解析することで、樹木の計測誤差5%以内で解析できる技術を世界で初めて確立しました。この技術では、ニューラルネットワークの手法を応用することによって、誤差5%以内での計測を可能にしました。また、多時期で取得される3次元データを自動で解析する手法も確立しており、この手法を使って、今後高頻度で取得できるようになる3次元データの自動時系列解析にも取り組んでいます。さらに、UAVレーザーを開発する企業とも国際共同研究を進めており、これからのドローンの役割を広げるため、ソフト面での研究開発を進めています。

例えば、開発した計測誤差が低いデータ解析技術を用いて、成長が遅い樹木の成長量を詳細に把握し、早期の林業支援の実現を目指しています。

ドローンの機能は近年劇的に改善され、飛行も安定していますが、農林業現場でできることはまだまだ多くはありません。当研究室では、ドローンを製作できる研究者と緊密に連携しながら、森林調査に必要な解析技術の開発に取り組むとともに、自由な発想で30年後の未来に向けた研究開発を進めています。

### Reference

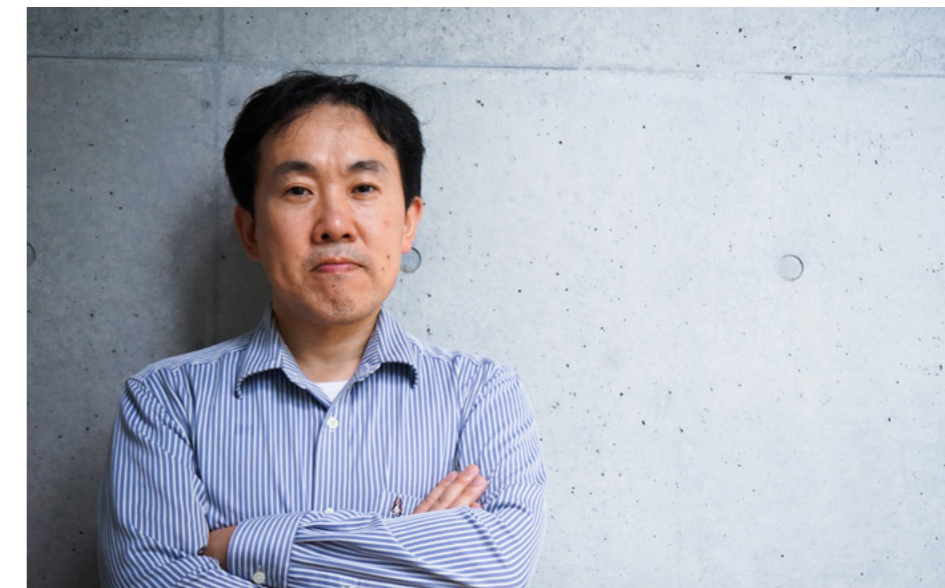
- [1] Capturing Tree Crown Formation through Implicit Surface Reconstruction using Airborne Lidar Data, Kato, A., Moskal, L.M., Schiess, P., Swanson, M.E., Calhoun, D., and Stuetzle, W., Remote Sensing of Environment 113, pp. 1148-1162, 2009 DOI: [10.1016/j.rse.2009.02.010](https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.02.010)

## 並木 明夫

Akio NAMIKI

1999年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士（工学）、2004年東京大学大学院情報理工学系研究科講師、2008年より千葉大学准教授。ロボティクスを専門とする。

工学研究院 機械工学コース  
教授  
Professor  
Mechanical Engineering,  
Robot Engineering



## ロボットの視力と制御を 高速ビジョンで高める

ロボットが求められている産業界で、視覚情報にロボットが素早く反応できるようになるには、多くの課題が残されています。こうした課題の解決に利用できる一つの技術として、「高速ビジョン」があります。高速ビジョンとは、画像センサによる画像取得から画像処理、画像認識までを高速度で行うことができる統合システムを指します。記録用高速度カメラとは異なり、リアルタイムかつオンラインで画像処理結果を出力することができます。

この高速ビジョンをロボットの眼として導入することで、ロボットの性能を飛躍的に向上させることができます。具体的には、次のような利点があります。

- 人間の眼には見えないような高速動作でもロボットが計測できる。
- ロボットの視覚刺激に対する反応速度を高めることができる。
- フレーム間の画像の変化が微小になるため、画像処理自体を簡略化できる。

現在、我々の研究室では、様々なロボットへの高速ビジョンの適用を進めています。「高速ターゲットトラッキング」の研究では、単眼高速ビジョンによる3次元位置姿勢推定アルゴリズムを開発しました。対象の輪郭情報とテクスチャ情報に基づく評価関数をリアルタイムで最適化することにより、対象の位置や姿勢を推定します。このアルゴリズムを用いることで、高速に移動する3次元対象の追跡が可能になりました [1]。

また、高速ビジョンを用いた「ロボットマニピュレーション」の研究では、ステレオ高速ビジョンと2台の高速ハンドアームを用いてボールジャグリングを実現しました。効率的な投げ上げ軌道生成と高速視覚フィードバックによる高精度キャッチングにより、3つのボールを双腕でジャグリングできるようになりました (図1) [2]。

さらに、「高速視覚サーボによるドローンの飛行制御」の研究では、鳥のように俊敏な自律飛行ができる飛行ロボットを目指して、ドローンに高速ビジョンを搭載しました。視覚サーボとは、視覚の情報処理と機体の制御系を結合する理論的枠組みの

ことで、安定した制御を行う要になります。高速単眼カメラと画像処理用並列プロセッシングユニットを用いて、約350 Hzの視覚フィードバック制御を行い、移動ターゲットの追跡飛行を実現しました [3]。

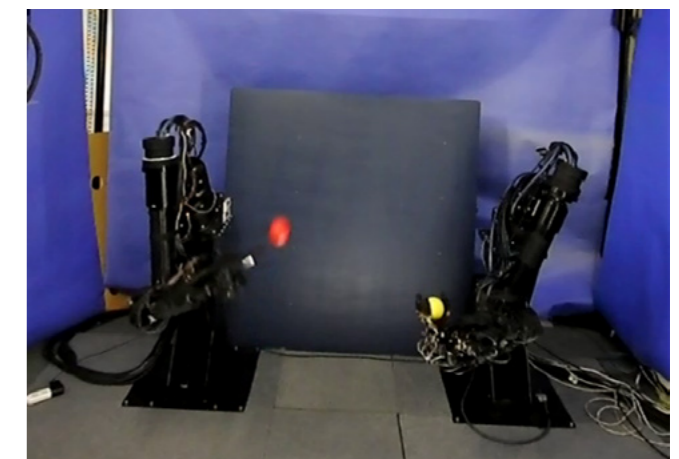


図1：ボールジャグリングをするロボット。ステレオ高速ビジョンと高速ハンドアームで3つのボールをジャグリングできる。

このように、高速ビジョンによって、これまでのロボットには難しかった対象の追跡が可能になり、ロボットの制御自体も簡略なシステムで実現できるようになりつつあります。今後は、ドローンのための高速視覚処理技術の開発を進め、より応用範囲の広い飛行制御システムの創生を目指していきます。

### Reference

- [1] Yang Liu, Pansiyu Sun, and Akio Namiki, Target Tracking of Moving and Rotating Object by High-Speed Monocular Active Vision, IEEE Sensors Journal, 20(12), pp.6727-6744, 2020, DOI: [10.1109/JSEN.2020.2976202](https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2976202)
- [2] 並木明夫. ジャグリングロボットとエアホッケーロボット. 日本ロボット学会誌. 38(4), pp.307-12, 2020, DOI: [10.7210/jrsj.38.307](https://doi.org/10.7210/jrsj.38.307)
- [3] Hsiu-Min Chuang, Dongqing He, and Akio Namiki, Autonomous Target Tracking of UAV Using High-Speed Visual Feedback, Applied Sciences, 9(21), 4552, 2019, DOI: [10.3390/app9214552](https://doi.org/10.3390/app9214552)





## Sachiyo ARAI

ソニー株式会社を経て、東京工業大学大学院総合理工学研究科にて博士(工学)を取得。カルフォルニア大学バークレー校、カーネギー・メロン大学、京都大学、スタンフォード大学、国立情報学研究所を経て、現在、千葉大学大学院工学研究院 教授。自律分散システム、マルチエージェント系の機械学習を専門とする。

## 機械学習で 安全で協調できる知能を創る

2017年、DeepMind社のアルファ碁が世界のトップ棋士に60連勝したことで人工知能(AI)に何度目かの注目が集まりました。アルファ碁には「深層強化学習」という手法が用いられていました。深層学習は、Googleによる「猫の識別」で話題になった方法、強化学習は、人間の成功体験の記憶に基づいて、ある状況で成功につながる行動を強化していく方法です。

ボードゲームは、膨大な探索空間であっても、思った通りに手を打てる環境です。これは例えば、自動運転の場面とは異なります。探索空間はさらに膨大となり、道路の摩擦や視界の閉塞などの要因で、思った通りに運転をコントロールできません。加えて、これまでの強化学習が扱っていた、状態と行動の組み合わせのテーブル表現を超えて、連続的なデータの複雑な関係を扱う必要もあります。

このように、人の社会にAIが入ってくる状況では、人の特性を考慮しながら、安全と効率を担保した技術でなければなりません。

当研究室では、強化学習を軸として、自動運転や防災、省エネ管理など、人の社会で使えるAIシステムの設計を行なっています。私自身の学術的関心は、様々な関心を持った主体が集団になった際、いわゆる「文殊の知恵」と呼ばれる集団知を基に、課題の最適解を見出して実行するプロセスにあります。

一般社会でも、「鶴の一声」のようなトップダウン型の指令ではなく、共同体の個々のメンバーが、お互いの利害関係の衝突を解消しながら、全体の最適解を探ることが理想であると言われることがあります。この理想は、人工知能において情報の統合を担うマルチエージェントシステムの理想型とも重なります。このため当研究室では、行動の主体となるエージェントが互いに協調しながら最適解を見出すプロセスを、強化学習・逆強化学習・模倣学習といった機械学習の手法を使って様々なシステム設計に活かそうとしています。

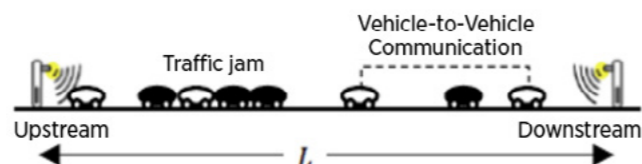


図1：強化学習による自動運転方策の提案の実験：路車間通信、車々間通信を通じて交通流を把握し、自動運転車と手動運転車が混在していても車両密度や行き先推定から、運転速度、加速を最適にしながら渋滞を回避 [2]。

特に、逆強化学習は、強化学習において難しい課題となる「報酬」の設計を機械的に推定することができ、運転の熟練者や、ハチなどの生物の行動履歴から行動原理を解明することに役立ちます。逆強化学習で明らかになった行動原理を元に、改めて強化学習の手法を用いることで、未知の環境下にあっても最適な方策を導く自律システム制御の設計につながります。

これまで、こうした機械学習の手法を使って、自動運転や自律型無人潜水機に関する企業と共同研究を行ってきました。今後は、こうした知見をドローンに活かす研究につなげていきます。水・陸・空の幅広い空間で、ロボットと人が共存し、共進化するためのプラットフォームの構築を目指します。

### Reference

- [1] 中田勇介, 荒井幸代: 複数環境におけるエキスパート軌跡を用いたベイジアン逆強化学習, 人工知能学会論文誌, Vol. 35, No.1, p. G-J73\_1-10 (2020.1.1), DOI: [10.1527/tjsai.G-J73](https://doi.org/10.1527/tjsai.G-J73)
- [2] 石川翔太, 荒井幸代: 渋滞低減に向けた路車間・車車間協調を実現する自動運転方策の学習法, 人工知能学会論文誌, Vol34, No.1, p.D-155\_1-9 (2019.1), DOI: [10.1527/tjsai.D-155](https://doi.org/10.1527/tjsai.D-155)
- [3] Daiko Kishikawa and Sachiyō Arai, Comfortable Driving by Using Deep Inverse Reinforcement Learning, The 4th IEEE International Conference on Agents (ICA 2019), 18-21, October 2019 at Jinan, China, (2019).

## 昆虫の方向感覚に倣ったナビシステムを構築する

近年、インターネットショッピングの普及などから、物流拠点から利用者にモノを届ける最後の区間である「ラストワンマイル」のサービス向上が注目されています。一方で、配送量や再配達増加に伴い、CO2排出量は増加し、ドライバーの不足や労働環境の悪化も懸念されています。こうした課題の解決のため、車道だけでなく歩行空間も走行できる移動ロボットやドローンへの期待が高まっています。

移動ロボットの技術的側面に目を向けると、走行時の重要な課題の一つに位置推定があります。GPSでは必ずしも正しい位置が出力されないことから、これまで様々な位置推定手法が提案されてきています [1]。また、走行経路から外れないようにするためには、正しい「位置」に加えて、正しい「向き」の情報を得ることが重要となります。向きの計測や推定には、主に地磁気センサやジャイロスコープなどが用いられます。しかし、地磁気センサは金属に反応して正確な方位がわからなくなったり、ジャイロスコープは角速度の算出の際に誤差が含まれてしまったりと、既存のセンサには欠点もあります。こうしたことから、新しいセンサの開発が求められています。

この新しい方向検出センサのヒントを探る鍵が、生物にあります。生物は新たな食料などを求めて移動しますが、進む向きをランダムに変えてしまうと遠くへ移動することができません。動きに左右の偏りがあれば円弧を描き、いずれ元の位置付近に戻ってきってしまうのです。したがって、遠くへ移動できる生物には直線的に移動する能力があると考えられます。こうした生物は、向きを検知するための何らかの感覚器を持っている可能性があります。

当研究室で蜂などの昆虫について既存研究を調査したところ、多くの昆虫は天空の偏光を利用していることが分かりました。天空の偏光とは、太陽光が大気を通る際に起こるレイリー散乱によって、振動方向が一定となる光の性質のことです。昆虫は、この光の見え方を一定に保つように動きを調整することによって、(厳密には、太陽の動きに応じて少しずつ向きが変わりますが) おおむね直線的に移動することができるのです。

そこで私たちは、これらの昆虫の感覚器を模倣し、天空の偏光

を検出するロボット用センサの開発を行いました [2]。このセンサは、偏光フィルムを介して天空の光を紫外線センサで取り込み、その明るさから向きを推定します。偏光を利用したセンサの研究はすでにいくつか提案されていますが、私たちのセンサでは厳密な校正をしなくても高精度で計測できるような工夫を加えています。

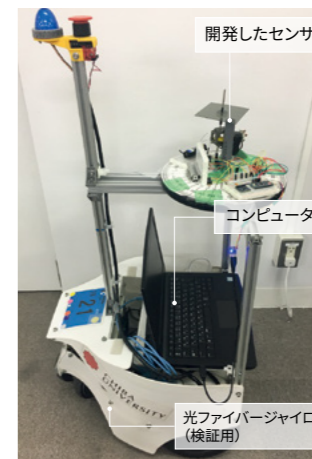


図1：天空の偏光を利用した方位センサを搭載した移動ロボット。上部の方位センサの結果をコンピュータで取り込むことで向きがわかる。出力値の検証を光ファイバージャイロで行う。製作したセンサを図1の移動ロボットに搭載し、晴れた日に実験走行をさせたところ、当研究室で所有している最も高精度な光ファイバージャイロから算出した向きと同等の性能を得ることができました。

この方位センサが正しく機能するには、「天空が見える晴天の環境」という制約がありますが、移動ロボットに広く用いられているジャイロや地磁気センサとは性質の異なるセンサであることから、これらのセンサ情報と統合させることで、より多様な環境で、より正確な向きの検出が実現できる可能性があります。将来的には、小型軽量化を図り、ドローンなどの小型無人航空機に搭載できるようにしたいと考えています。

### Reference

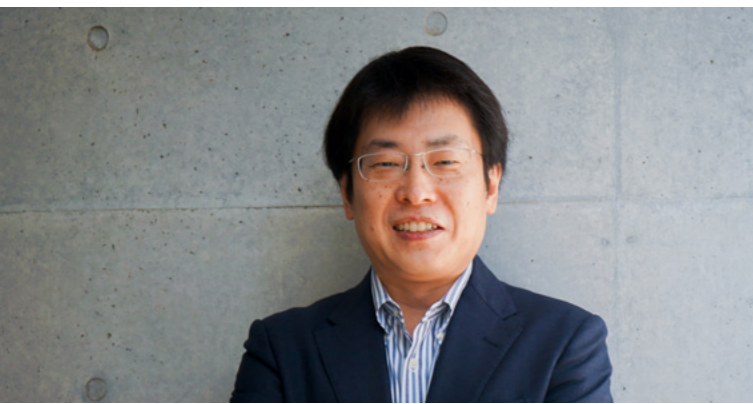
- [1] Kazuya Okawa: Self-Localization Estimation for Mobile Robot Based on Map-Matching Using Downhill Simplex Method, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31, No.2, pp.212-220 (2019), DOI: [10.20965/jrm.2019.p0212](https://doi.org/10.20965/jrm.2019.p0212)
- [2] 河西高志, 大川一也: 屋外自律移動ロボットのための天空の偏光を利用した方位センサの開発, 日本ロボット学会誌, Vol.38, No.8, pp.746-753 (2020), DOI: [10.7210/jrsj.38.746](https://doi.org/10.7210/jrsj.38.746)



## Kazuya OKAWA

1999年筑波大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。日本学術振興会特別研究員DC2、PDを経て、現在、千葉大学准教授。1999～2001年南カリフォルニア大学客員研究員。自律移動ロボットのための知能化技術などの研究を専門とする。





## 桑折道濟

Michinari KOHRI

工学研究院 共生応用化学コース  
准教授  
Associate Professor  
Polymer Chemistry, Surface Chemistry

2007年東北大学大学院工学研究科バイオ工学専攻にて博士(工学)を取得。千葉大学大学院工学研究院助教を経て、2015年より同准教授。専門は、高分子化学、界面化学、生体模倣化学。

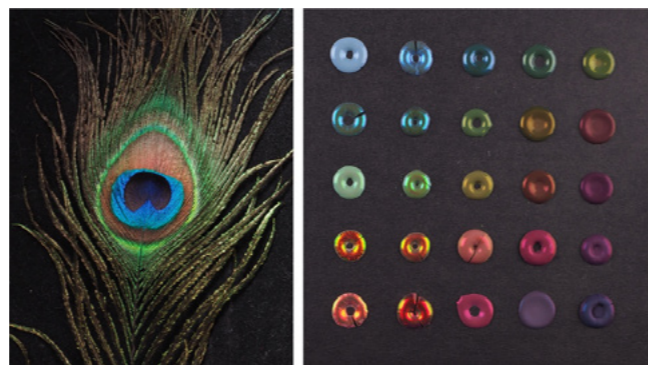


図1：孔雀の羽毛とそれを模倣した構造色材料。人工メラニン材料を用いて微細構造を再現し、見る角度で異なる色が見える玉虫色の発現に成功した。

また、貝類の接着機構に着目した研究も行っています [3]。ムール貝は、足糸と呼ばれる接着性タンパク質を介して、岩などに付着しています。このタンパク質を模倣して人工的に作製した高分子材料は、有機・無機・金属など、材料の素材を問わずに色々な表面に接着できます。これに水を弾きやすい材料を複合することで、撥水性の表面を作り出すこともできます。

自然界の鳥の羽を詳しく観察すると、その羽毛の表面は疎水性で、雨の中でも飛行できると言われています。一方、精密機械である市販ドローンは、雨の日は故障のリスクが高く、飛行が推奨されていません。ドローンの表面に高分子材料による撥水性を付与することで、雨の日でも安定して飛行させることができるかもしれません。

生物模倣の研究の過程では、生物の解析が必須です。このため、鳥や昆虫を専門とする生物学者の先生と一緒に研究を進めています。工学と生物学を融合することで、独自の観点から生物を理解し、生物を超える材料開発を目指しています。

### Reference

- [1] M. Kohri, Y. Nannichi, T. Taniguchi, and K. Kishikawa, Biomimetic non-iridescent structural color materials from polydopamine black particles that mimic melanin granules, Journal of Materials Chemistry C, 2015, 3, 720-724. DOI: [10.1039/C4TC02383H](https://doi.org/10.1039/C4TC02383H)
- [2] A. Kawamura, M. Kohri, G. Morimoto, Y. Nannichi, T. Taniguchi, and K. Kishikawa, Full-color biomimetic photonic materials with iridescent and non-iridescent structural colors, Scientific Reports, 2016, 6, 33984, DOI: [10.1038/srep33984](https://doi.org/10.1038/srep33984)
- [3] M. Kohri, H. Kohma, Y. Shinoda, M. Yamauchi, S. Yagai, T. Kojima, T. Taniguchi, and K. Kishikawa, A colorless functional polydopamine thin layer as a basis for polymer capsules, Polymer Chemistry, 2013, 4, 2696, DOI: [10.1039/C3PY00181D](https://doi.org/10.1039/C3PY00181D)

## 生物に学び、生物を超える材料を創る

自然界での生物の優れた機能から発想して活用する科学技術のことをバイオミメティクス(生物模倣)といいます。生物のマクロな構造を模倣した代表例としては、カワセミのくちばしの形状を模倣した新幹線500系や、ハコフグの姿を模倣した独メルセデス社のバイオニックカーが挙げられます。

材料開発の分野でも、バイオミメティクスによる設計が目立っています。その歴史は古く、1935年に発表された、米デュポン社によるナイロンまで遡ります。ナイロンは、木綿や絹などの天然繊維を模倣して創られた初めての合成繊維で、現在に至るまで広く使われています。

近年、生物のミクロな構造を模倣した新しい材料の開発が進んでいます。鮫肌の表面形状を模倣して作られた全身を覆う水着や、ハスの葉の撥水性を模倣した表面設計で、ヨーグルトが付きにくいフタや、着雪しにくい信号機などが実用化されています。

こうした生物模倣材料の設計には、産業界や学術界で様々な分野の研究者が従事していますが、当研究室では、高分子科学・界面科学の観点から研究に取り組んでいます。高分子科学の手法により、生物の体に元々存在する有機物を真似て材料を作ることができます。

さて、自然界に目を向けると、鮮やかな発色の鳥や昆虫が数多く存在し、これらの生物の発色の一部は、「構造色」として知られています。構造色は微細構造に光が当たって折り返されることで色として発現します。このため、人が見る方向によって色が変わったり、色褪せしにくかったりする特徴があります。孔雀の羽を顕微鏡で拡大して調べてみると、あの鮮やかな色は、顆粒状のメラニンが規則的に配列した微細構造から生み出された構造色であることがわかります。

メラニンとは、ヒトの髪の一成分でもある黒色物質ですが、当研究室では、人工メラニン材料を用いた微細構造の作製に取り組んでいます。2015年には、素材と構造の両面を工夫して、あの独特の光沢の孔雀の羽の発色を人工的に再現することに世界で初めて成功しました [1][2]。人工メラニン材料には、私たちの体の中にある成分とほぼ同じ材料を用いているので、直接肌に触れる化粧品の開発などへの応用も期待されます。

## 久保光徳

Mitsunori KUBO

工学研究院 デザインコース  
教授  
Professor  
Design, Design Morphology

1989年東京大学大学院工学系研究科航空学専攻にて工学博士を取得。その後、千葉大学工学部助手を経て同大学大学院工学研究院教授。造形力学・構造力学・振動工学を専門とし、人の手によって生み出された形に対する力学的考察を進めている。



## 民具の力学的合理性から造形の指針を示す

農業や林業、漁業などに従事する人々が使用する伝統的な道具は、「民具」としてその製作技術が継承されてきました。民具に関する研究は、「民具学」と呼ばれ、「日本民具学会」という学会が存在します。会員数は民俗学者を中心に約500名に上り、年次大会が開催され、「民具研究」という年次刊行物が刊行されています。

日本民具学会は記録による伝統技術の継承に重きが置かれ、最先端のドローンやロボティクスに関わる工学系の学会とは趣が異なる場ですが、民具は人の手の延長で進化してきた道具でもあり、その形や機能は民具研究者たちを惹きつけてきました。

民具の「形」に注目すると、デザインされた現代の工業製品には見られないような、有機的な曲線や曲面によって構成されていることがわかります。人の力が加わった際に、その力に呼応できる形になっています。この力学的合理性の例として、重心位置と支持位置の関係があります。民具の重心位置と人の手が持つ支持の位置が一致している場合、民具全体を容易に引き上げられますし、逆に重心位置と支持位置が離れていることで「てこの原理」を使った力を生み出すことができます。

当研究室が注目するのは、民具の構造に潜む繊細な力のバランスです。穀物の脱穀の際に殻や塵を振り分ける目的で古くから製作されてきた、箕(み)という農具があります。千葉県匝瑳市の国指定無形文化財に指定されている「木積の藤箕(きづみのふじみ)」は、フジの薄皮と竹の割ヒゴで編み上げられており、軽さと弾力が特徴です。

藤箕の形状を数値流体力学(CFD)シミュレーションで解析すると、弾性材の自然な曲げが基本形となり、この基本形が大渦による下降気流を生成する機能を持っていることがわかります。つまり、藤箕の材料と形の組み合わせは、箕が振り下ろされた時に殻を効率的に吹き飛ばすことを可能にしていると思われるのです。

こうした民具の形状に潜む構造力学的な合理性の存在は、材料と形の組み合わせが道具として最適な構造になっていることを示しています。

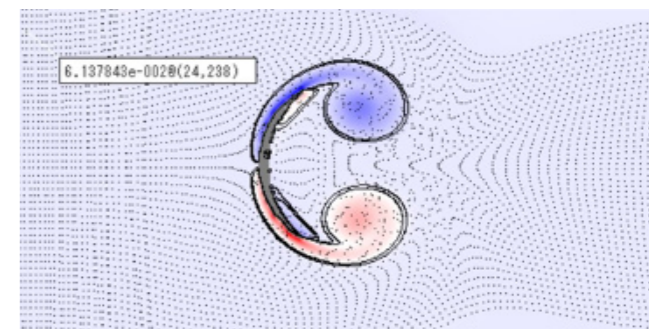


図1：箕の底面を模した曲面まわりの大渦の再現図。箕の中に米と籾殻を入れて端を持ってトンと押さえると、風が渦となって箕の両端から内側に入り込み、籾殻を前面に吹き飛ばすよう作用する。

構造力学や材料力学の観点からの解析で明らかになった民具の特徴は、様々な道具を設計する際の造形の指針を示すことに役立ちます。インテリジェント飛行センターでは、飛翔生物の力学構造に学び、ドローンの研究開発に活かすアプローチがとられています。民具研究の手法を取り入れることで、人の道具としてのドローンの機能を補強できるのではないかと考えています。

例えば、木の繊維の向きによって剛性は異なりますが、目利きの民具製作者たちは、そうした木の異方性という特性を生かして農作業用の道具を生み出してきました。軽量で剛性の高い機能はドローンにも求められるため、材料の見極めは民具研究から転用できます。また、鳥と民具の進化の過程を並列的に捉え、ドローンに活かせるならば、飛ぶという機能に必要な最適構造体の形も見えてくるかもしれません。

### Reference

- [1] 久保光徳, 北村有希子, 田内隆利: 民具の形に対する構造力学的考察の試み——民具形態の力学的合理性(力学性)について——, 『民具研究』153号, 日本民具学会, (2016.04).



寄稿

寄附講座のご案内

センター 長挨拶

CAIV メンバー お問い合わせ

## 低空を移動するドローンの課題

小型無人航空機（ドローンや空飛ぶ車）は、殆ど高度 1km 以下の空域を飛んでいます。機体が小さく、自然環境や人工的な建造物により生じた空気の乱れを受けて飛行が不安定で落ちやすいため、ロバスト性（落ちない性質）や知能性（ぶつからない性質）などを向上することが大きな課題です。これらのボトルネックな基盤技術には、まだ理論体系ができておらず、大きな機運と挑戦があります。

## 生物を規範とした次世代のドローン

何億年もの間、小型無人飛行機とほぼ同じ高度 1km 以下の低空域では、複雑な自然環境を巧みに飛んできた昆虫や鳥がいました。こうした生物の飛行には、風外乱に強い飛行性能のロバストネスや制御知能、群れ飛行の衝突回避知能など、無数の知恵が隠されています。CAIV では、これらの飛翔生物を規範とした次世代のドローンを開発し、環境負荷の低い電動型のアエロ・モビリティ産業につなげようとしています。





## インテリジェント飛行センター設立の経緯と今後への期待

一般財団法人 先端ロボティクス財団  
理事長  
野波 健蔵

私はこれまで千葉大学でドローンの研究を約 20 年近く行ってきて、ドローン関連で博士 13 名、修士 30 名を輩出しました。2001 年には日本で最初の小型無人ヘリの完全自律飛行にも成功しました。こうした研究成果をもとに、2013 年 11 月に大学発ベンチャーの株式会社自律制御システム研究所を創業しました。創業から 5 年後の 2018 年 12 月、東証マザーズ市場にドローン業界では最初に上場を果たしました。創業者の役得として得られた原資をもとに、知財やインキュベーション施設など有形・無形にお世話になった千葉大学に恩返しをしたいと思っておりました。

ドローン産業は目下、激しい国際競争の真っただ中にあります。日本がドローン産業で世界のトップレベルを維持するためには人材育成が不可欠で、日本の拠点として千葉大学に先進的なドローン研究センター的なものがないかと思案しておりました。

会社経営を通じて痛切に感じたことは「モノづくり」は「人づくり」であるということで、優秀な人材が集まればはじめて世界と競争ができます。あるいは、千葉大から起業する若手人材の育成もできればと思います。ドローン研究は、専門分野としてはロボット工学、機械工学、電気電子工学、情報通信工学、航空工学などを背景として、ドローンの自律飛行制御などのコア技術、センサ、駆動系、バッテリーなどハードウェアや、コンピュータソフトウェア技術、画像処理、人工知能、ビッグデータ、IoT、クラウド、高速通信など総合工学の研究領域です。

とくに、現在のドローンは平衡感覚と運動神経に優れた小脳型ドローンですが、近未来型ドローンは学習・知能・判断機能を有する大脳型ドローンが求められています。2019 年 3 月で終了した、内閣府プロジェクト ImPACT のタフ・ロボティクス・チャレンジ（飛行ロボット分科会座長：野波

と一緒に研究してきました、工学研究院 劉浩 教授とこの件についてご相談をしてきました。さらに、2018 年 12 月末には関 研究担当理事ともご相談をさせていただきました。その後、大学サイドで準備を重ねて頂きまして、2019 年 10 月にインテリジェント飛行センターオープンとなりました。

2030 年頃の「空の産業革命」、「空の移動革命」を見据えて、インテリジェント飛行センターへの期待は、鳥のように知能を持ったドローンや環境に優しい静かなドローン、パイロットレスの垂直離着陸型乗客用ドローン、何百機も編隊を組んで整然と飛行する群ドローン等、SFの世界が現実となるようなワクワク感のある最先端の研究でイノベーションを創出することです。

そして、学際的総合工学としての教育プログラムで、世界トップレベルの人材育成を願っています。このために、微力ながら先端ロボティクス財団は尽力させていただきます。最後に、インテリジェント飛行センター開設までのご尽力に際して、関 研究担当理事、佐藤 工学研究院長、劉 教授に心からお礼申し上げます。また、財団の寄付にあたり、寄付のご賛同を頂きました株式会社東京大学エッジキャピタルパートナーズ（UTEC）郷治 代表取締役社長に御礼申し上げます。

## 寄附講座のご案内

近年、「空の産業革命」と呼ばれる飛行ロボット・小型無人航空機（ドローン）の研究開発及び産業化が、世界的に熾烈な競争になっています。特に、「空の移動革命」を実現するためには、次世代電動エアモビリティの基盤技術としての安全性・効率性・環境性を満たすインテリジェント飛行ロボティクス技術の研究開発と、ドローン分野における若手人材育成が最も重要な要素となります。本講座では、昆虫や鳥を規範とした、知能的でロバストな飛行システムに関する学際的研究を行い、次世代飛行ロボットのイノベーションを創出します。また、産学連携によるドローンの

最先端要素技術の開発と確立を行い、機械性能からみた最適化と意匠の観点から美しさを融合させることで、ドローンにおける「バイオメトリック工業デザイン」を打ち出し、未来社会のエアモビリティ産業基盤の構築に寄与することを目指します。

# DONATION PROGRAM

## 寄附者の概要

本寄附講座は、基礎から応用までを担う先端的なドローン研究の拠点を千葉大学に創設するという趣旨にご賛同頂き、下記の寄附者よりご支援頂いております。

株式会社 東京大学エッジキャピタルパートナーズ（UTEC）  
設立 平成 30 年 1 月 17 日  
住所 〒 113-8485 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学南研究棟 3 階  
代表者 代表取締役社長 郷治 友孝

一般社団法人 先端ロボティクス財団（ARF）  
設立 令和元年 6 月 3 日  
住所 〒 104-0041 東京都中央区新富町 2-1-7 富士中央ビル 6 階  
代表者 理事長 野波 健蔵

## 寄附講座 研究員

特任教授 王 偉  
現職 南京信息工程大学 教授

特任准教授 米澤 宏一  
現職 一般財団法人電力中央研究所 上席研究員

特任研究員 田中 紗織



# センター長からのご紹介

インテリジェント  
飛行センター

センター長  
劉浩



ドローンを含む小型無人航空機は、自然環境や人工常勤研究者的な建造物により生じた空気の乱れを受けて飛行が不安定で落ちやすいため、落ちない性質（ロバスト性）やぶつからない性質（知能性）を向上することが大きな課題です。これらの基盤技術には、まだ理論体系ができておらず、大きな機運と挑戦があります。CAIVで開発するドローンの一部は、生物を模範としています。自然界に生きる生物たちは、独特な形態や運動を使って、周囲環境と相互作用しながら、自らの知能を使って進化してきました。本センターでは、これらの生物における柔軟な構造・翼の運動・感覚を分析し、根本的な安定飛行の設計原理を明らかにしようとしています。次世代型ドローンの研究開発を通して、新たな産業創出に貢献します。

また、CAIVでは、寄附講座を設け、研究教育活動を推進しています。この中で、博士後期課程の大学院生を対象とした「インテリジェント飛行プログラム」を実施し、ドローン分野の人材育成を図っています。対象となった学生には、学際的な研究力はもちろん俯瞰力、コミュニケーション能力、実践展開力などグローバルリーダーとして活躍できる資質を養えるよう、学生が主体的に学習する Project-based learning、

海外研究機関における派遣研究、キャリアパスに合わせた研究戦略指導などの様々な教育カリキュラムを提供していく予定です。

この寄附講座の設立にあたっては、千葉大学名誉教授、一般社団法人先端ロボティクス財団野波健蔵理事長より、「日本が激しい国際競争の中にあるドローン産業で世界のトップレベルを維持するためには人材育成が不可欠で、日本の拠点として千葉大学に先進的なドローン研究センターができないか」とのお申し出を受け、先端ロボティクス財団（ARF）と東京大学エッジキャピタルパートナーズ（UTECH）の皆様と並ならぬご支援を頂きました。イノベーション創出と人材育成という共通目的の実現にお力添えいただいておりますこと、改めて感謝申し上げます。また、今後この寄附講座をベースとして、次世代エアモビリティと一緒に目指して頂ける方が増えていくことを願っております。

MEMBER LIST



|       |       |                 |                    |
|-------|-------|-----------------|--------------------|
| 劉浩    | 教授    | 機械工学・バイオメティクス   | 工学研究院 機械工学コース      |
| 中田 敏是 | 准教授   | 機械工学・バイオメティクス   | 工学研究院 機械工学コース      |
| 並木 明夫 | 教授    | 機械工学・ロボット工学     | 工学研究院 機械工学コース      |
| 鈴木 智  | 准教授   | 機械工学・ロボット工学     | 工学研究院 機械工学コース      |
| 大川 一也 | 准教授   | 機械工学・人工知能       | 工学研究院 機械工学コース      |
| 桑折 道済 | 准教授   | 共生応用・高分子科学      | 工学研究院 共生応用科学コース    |
| 荒井 幸代 | 教授    | 都市環境・機械学習       | 工学研究院 都市環境システムコース  |
| 渡邊 慎二 | 教授    | デザイン・デザインマネジメント | 工学研究院 デザインコース      |
| 久保 光徳 | 教授    | デザイン・意匠形態学      | 工学研究院 デザインコース      |
| 加藤 顕  | 准教授   | 緑地環境学・資源学       | 園芸学研究科 ランドスケープ学コース |
| 石川 裕之 | 准教授   | 発生生物学・パターン形成    | 理学研究院 生物学研究部門      |
| 高橋 佑磨 | 准教授   | 進化生物学・群集生態学     | 理学研究院 生物学研究部門      |
| 王 偉   | 教授    | 機械工学・ロボット工学     | 南京信息工程大学           |
| 米澤 宏一 | 上席研究員 | 機械工学・流体工学       | 一般財団法人 電力中央研究所     |

## MEMBER

お問合せ先

千葉大学大学院工学研究院附属インテリジェント飛行センター

田中 紗織 特任研究員（広報担当） saori.tanaka@chiba-u.jp





Center for Aerial Intelligent Vehicles  
インテリジェント飛行センター

CHIBA UNIVERSITY

〒263-8522 千葉県稲毛区弥生町1-33  
千葉大学大学院工学研究院附属 インテリジェント飛行センター

[caiv.chiba-u.jp](http://caiv.chiba-u.jp)



Copyright (C) Chiba University. All Rights Reserved.