

## わたしたちの研究 (7)メカトロニクス研究室



松野文俊  
(S56/1981卒)



遠藤孝浩  
(H13/2001卒)

### 1. 本研究室の概要と教員紹介

機械理工学専攻メカトロニクス研究室は、現在、松野文俊教授、遠藤孝浩准教授、竹森達也特定研究員、2名の外国人非常勤研究員、事務補佐員3名、博士後期課程学生11名（内、社会人1名）、修士課程学生15名、学部卒研究生5名が所属しています。2009年4月に松野が教授として赴任した当時は、横小路泰義准教授、福島宏明助教が在籍していました。2010年横小路先生が神戸大学教授として転出し、福島先生が講師に昇任しました。2011年には当研究室で博士の学位を取得した根(こん)和幸氏が助教として着任しました。2015年には根助教の退職に伴い、遠藤孝浩氏が助教に着任しました。2017年にHemma PHILAMORE講師が着任し、主にソフトロボティクスの研究を行いました。彼女は、2020年には母校の英国ブリストル大学講師として異動しました。2019年には福島先生が京都先端科学大学教授として転出し、遠藤先生が准教授に昇任し、現在に至っております。松野は1996年に東京工業大学で研究室を持たせていただいて以来、電気通信大学と本学と合わせて25名の博士学位取得者を輩出しております。また、これまでに多くの外国人研究者や交換留学生（ライス大学、ブラウン大学、ジョージア工科大学、マドリッド工科大学、ミュンヘン工科大学、ゲッチンゲン大学、カールスルーエ工科大学、パリ大学、ブリストル大学、香港大学、清華大学、インド工科大学など）の長期滞在（3か月以上）を受け入れています。さらに、研究室の学生が長期に（半年以上）海外の大学（カーネギーメロン大学、スタンフォード大学、ジョージア工科大学、ジョンホプキンス大学、シェフィールド大学、ゲッチンゲン大学など）に滞在し、共同研究を実施してきました。

メカトロニクス研究室では、理論やシミュレーションだけでなく、アイデアを実際のものとして具現化する“ものづくり”にも重点を置いております。研究室では、4月から新しく研究室に入ってきた学生を対象に、新人研修と呼ば

れるロボット製作実習を半年かけて実施し、9月末には競技会を開催します。製作費用は一人1万円です。機械系の学生にとって、電気電子回路設計製作やプログラミングは初めての経験で、四苦八苦しています。博士の学生の監修のもと、主に修士2年の学生が競技内容を考え、新人のアイデア出しから実際のものづくりまで指導します。修士の学生にとって教えることで自身の理解がより深まり、先輩と後輩の信頼関係も築け、研究室としての一体感も生まれます。最終の競技会では、ロボットが動かなかったり、思わず吹き出してしまうような珍プレーも出たりで、大きな歓声や笑い声で大いに盛り上がります（[図1](#)参照）。ここ2年は、見学者は遠隔での参加となり、少し残念です。学生には、ものは簡単には動かない、設計図通りに作っても思う様に動かないという、貴重な経験をしてもらいます。また、これもCOVID-19の影響で最近実施できていませんが、夏の研究室旅行では、夕食後夜にお酒を飲みながら、裏研究会なるものを開催します。教員も含め参加者全員、自分の研究以外で面白いことを紹介します（[図2](#)参照）。その人の意外な一面が分かたりして、大いに盛り上がります。バケツプリン作りを披露したり、折り紙理論を展開したり、ドラえもんに関する蘊蓄を紹介したり、大いに感心したり腹を抱えて笑ったりで、毎回あっという間に深夜になってしまいます。



図1 新人研修



図2 裏研究会

このような雰囲気の中で、世界が驚くカッコよく面白い研究を目指して、活動しております。また、京大のアピールにもメカトロニクス研究室は貢献しています。

【京大先生シアター】

[探検！京都大学 | 京大先生シアター \(kyoto-u.ac.jp\)](https://www.kyoto-u.ac.jp)

【探検！京都大学】

[探検！京都大学 | 京大の発明|災害救助ロボット \(kyoto-u.ac.jp\)](https://www.kyoto-u.ac.jp)

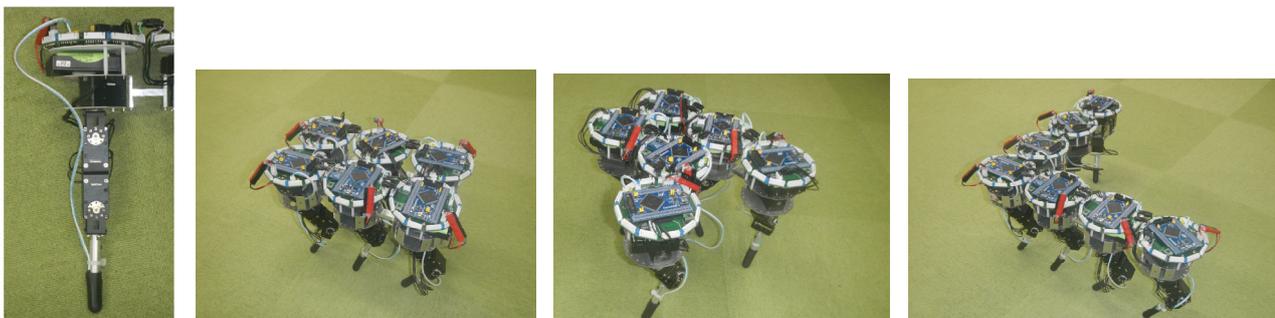
## 2. 研究概要

### 2.1 生物の運動知能の理解と超生物ロボット

生物の知能を理解して、それをロボットにより実現し、最終的には生物を超えるロボットを創ることを目標に研究しています。例えば、足がないヘビがなぜ移動できるのか、生物の足の数はなぜ偶数なのか、馬は移動速度に応じて足の運び（歩容）をウオーク・トロット・ギャロップとなぜ変化させるか、馬とキリンはなぜ歩容が違うのか、など生物の運動の不思議は限りがありません。ヘビの動きを観察して、ヘビ型ロボットを実現し、ヘビにはできない運動機能をもつヘビ型ロボットを開発しています（[図3](#)参照）。また、1本足や3本足の脚ロボットを製作し、それらが結合分離できるモジュラー脚ロボット（合体変形ロボット）を開発し、独自の自律分散制御系を提案しています（[図4](#)参照）。さらに、4足の生物の走行を理解するために、その運動の本質をとらえたシンプルな動力学モデルを導出し、走行を継続するための周期解を持つ条件や生物の歩容選択の理由を力学的に解析するなどの研究を行っています。



図3 ImPACTヘビ型ロボット



(a)

(b)

(c)

(d)

図4 (a) 1脚モジュラーロボット (b) 6脚昆虫型 (c) 6脚非対称型 (d) 7脚V字型

## 2.2 群知能の理解と群ロボット

社会性昆虫であるアリの群行動は大変興味深く、一匹一匹の知能や運動能力は大したことがないのに、群れとしては別次元の予想を大きく超える驚くべき機能を発揮します。例えば、群れ全体の利益のために自身が犠牲になる利他行動を行ったり、フェロモンを使った局所的な相互作用で餌の場所などの大域的な情報を共有したりと、群れとしては非常に知的です。これらの群知能を理解して、群ロボットに応用したいと考えて、研究を進めています。2015年から International Symposium of Swarm Behavior and Bio-inspired Robotics という国際会議を立ち上げ、国内外の200名以上の生物学研究者や工学研究者が集い、議論をしております。

複数のロボットが群れを成すロボット群には様々な特徴があり、それを活かすことで単一のロボットでは実現困難なタスクを行うことができます。例えば、狭所や入り組んだ環境では、小さな個体が複数集まったロボット群ならば、群れのフォーメーションを変えることで通過できるため、単一の大型ロボットでは入り込めない環境にも対応できる潜在性を持ちます。また、複数台のロボットを展開・配置することで、より広い範囲を監視し、通信網を整備することも可能となります。このようにロボット群は、協調的な調査や探索、運搬など多くの場面での活躍が期待されます。本研究室では、群れを維持したまま目的の場所へ移動するロボット群の誘導制御、複数ロボットのうち故障したロボットがいても群を誘導できる制御手法、複数ロボットによる編隊制御等を開発し、その安定性の理論的証明、実験による有効性の検証を行っています（[図5](#)参照）。

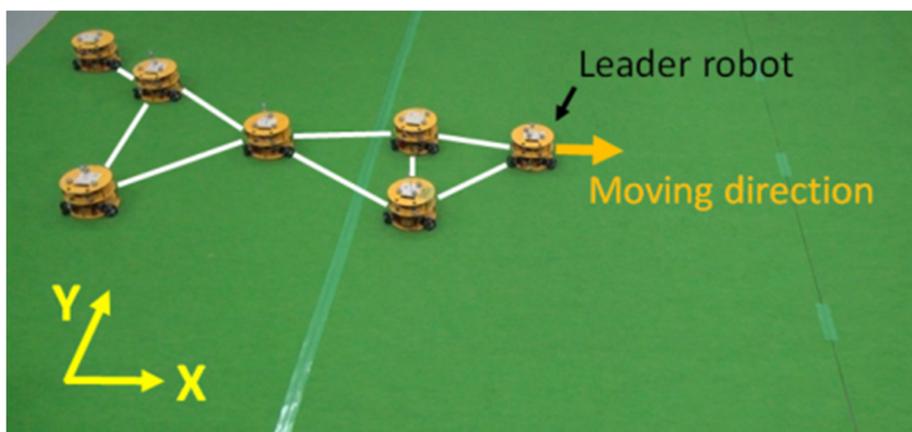


図5 ロボット群の誘導制御。リーダーロボットにより多数のロボット群を誘導します。各ロボットは、白線で繋がれた他ロボットの情報をもとに、自身の制御入力を決定します。なお白線は便宜上引いており、実際は見えません。また白線は、ロボットが自身で決定します。

## 2.3 機械システムの非線形制御と分布定数系の制御

機械システムの動力学モデルは非線形システムであり、一般に制御が難しいとされています。システムの入力の数が制御したい状態変数の数より少ない劣駆動系の制御系設計論や安定性解析に取り組んでいます。具体的には、クレーンやワヤー駆動マニピュレータなどの実プラントの制御を企業との共同研究として実施しています。また、移動ロボットマニピュレータの経路計画や動的障害物回避を考慮した軌道計画、マニピュレータによる物体の最適把持戦略に関する研究も行っています。

運動方程式が偏微分方程式で表されるシステムを分布定数系と呼びます。本研究室では、分布定数系の一例として、ロボットアームの一部が軽量リンクから構成される柔軟アームの制御を行っています。柔軟アームは、剛体アームと比べ、低エネルギー消費・高ペイロード重量比・低慣性による安全性等の利点を持ち、その利点を活かした研究が古くから行われています。我々は特に、システムのもつ力学特性をうまく制御系設計に活かすことで、たとえシステムの運動方程式が複雑であろうとも、構造がシンプルな制御系で安定化できることを示しています。また先に紹介した群ロボットの運動も、ロボットの数が多くなれば偏微分方程式で近似することができます。分布定数系の制御を応用することで、ロボット群の制御を実現する研究にもチャレンジしています。

## 2.4 レスキューロボットシステム

松野が神戸大学に助教授として勤務していた1995年1月17日に発生した阪神淡路大震災で、研究室の大学院の1年生の学生が下宿のアパートの倒壊により亡くなってしまいました。自分が何もできなかったという虚しさや残念さで打ちひしがれました。しかし、亡くなった方々のためにも何かするべきだと思い、工学技術で災害時の様々なリソース不足を補完することはできないかと考え、志を同じくする人達と、レスキュー工学を立ち上げてきました。2002年に国際的ロボット競技会であるRoboCupにロボカップレスキューを立ち上げ、チームSHINOBIとして参加してきました。2019年にシドニーで開催された世界大会では京大チームSHINOBIが総合優勝（[図6](#)参照）を果たすなど、数々の実績を上げています。また、東日本大震災や西日本豪雨などの実災害でのクローラ型ロボットやヘビ型ロボットの実運用も経験してきました。まだまだ、十

分ではありませんが、蒔いた種が少しずつではありますが、芽を出しつつあります。大都市大震災特別プロジェクトやImPACTタフロボット・チャレンジ・プロジェクトなどの国の大型プロジェクトで、学生たちが他の大学の研究室の教員や学生たちと交流することにより、大きく成長してくれたのも大きな成果だと思っています。

2005年から阪神淡路大震災で亡くなった、当時松野が在籍していた神戸大学の研究室の修士1年の学生の名前をいただいた競基弘賞を創設しました。この事業では、小学生から若手の研究者まで、災害対応に関わる研究開発に貢献があった方々を表彰しています。引き続き、皆様のご理解とご協力をお願い致します。

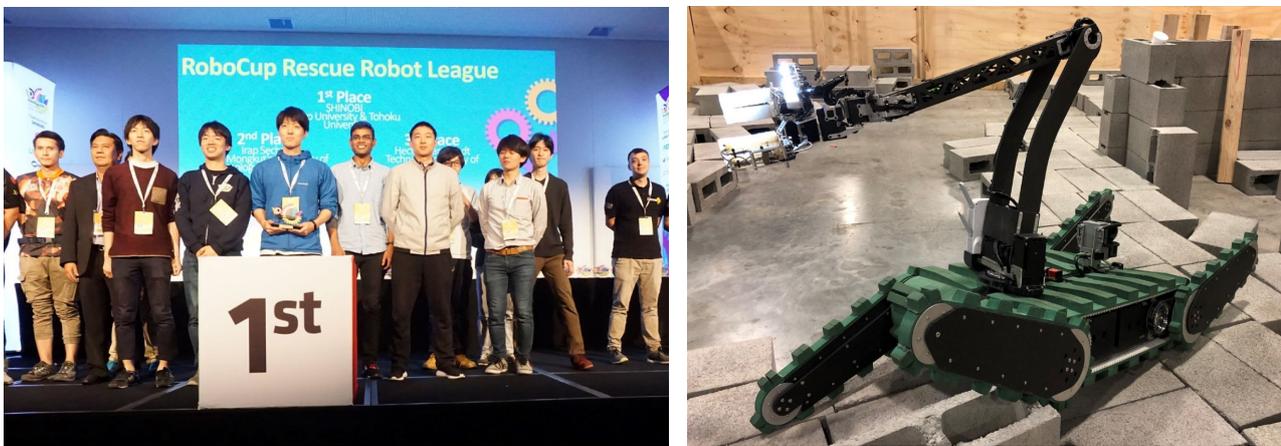


図6 2019RoboCup世界大会@シドニー 総合優勝

西日本豪雨における災害対応活動（京大HP）

松野文俊 工学研究科教授らの開発したロボットが、西日本豪雨による岡山県半田山のがけ崩れ現場において災害対応活動を行いました。（2018年7月25日、26日） | 京都大学 ([kyoto-u.ac.jp](http://kyoto-u.ac.jp))

2019RoboCup世界大会@シドニー 総合優勝（京大HP）

工学研究科大学院生らによるレスキューロボット開発チーム「SHINOBI」が、RoboCup2019世界大会で優勝しました。（2019年7月4日～7日） | 京都大学 ([kyoto-u.ac.jp](http://kyoto-u.ac.jp))

## 2.5 インターフェース

レスキューロボットを開発するにあたり、ロボットの遠隔操作システムの重要性を認識しました。災害のようなインフラが十分ではない環境下でも、操作者が簡単に操作でき、通信網などに負担をかけない遠隔操作システムを目指して研究開発をしてきました。ロボットに搭載されたカメラにより取得した過去

の画像に、ロボットの現在の位置と姿勢を考慮してロボットのCGモデルを重畳することにより、俯瞰画像を提示するMR技術を開発しました（特許第4348468）。また、最近では、作業者はロボットを操作することが目的ではなく、作業を遂行することが目的であるという根本に立ち返って、ロボットの存在を意識させない遠隔操作システムを開発しています。具体的には、自身がアバターとして仮想空間で作業すれば、実空間のロボットが複数で協力してその作業を実現してくれる、アバターシステムの開発をしています（特許第6940879）。

## 2.6 ハプテックス

触力覚に関する学問をハプティクスと呼びます。ハプティクスは、触覚機序の解明や触感覚をつくり提示する技術など多岐にわたります。本研究室では、ロボット技術を応用したハプティックインタフェースの開発（触感覚をヒトに提示する技術）、ヒトの触知覚能力を向上させる技術の開発、それを応用した運動学習法に関する研究を重点的に行っています。例えば、ヒトの指先での触知覚能力を高める確率共鳴現象（SR）を発現するVRシステムの開発、それを用いた運動学習スキームの提案、確率共鳴現象の効果を高めることで、触知覚能力をより高めるシステムの研究開発を行っています。将来的には、熟練技能者のように優れた触知覚能力を獲得する、加齢により衰えた触知覚能力を回復する等を実現したいと考えています。

## 3. 消えるロボットの実現を目指し

最近、松野は「消えるロボットを創りたい」という題目で講演させていただくことがあります。これは透明ロボットを創ることを意味しているわけではありません。例えば、お掃除ロボットを考えてみましょう。これまでの掃除機とはまったく別の道具が出てきて、名前が付けようがないので、取り敢えずお掃除ロボットと名前を付けておくという感じではないかと思えます。これが年月が経ち、現在のお掃除ロボットが普通になり、ロボットという言葉が消えて、それが掃除機と呼ばれるようになるのではないかと考えています。ロボットという言葉がついているうちは、まだ本当の意味で私達の生活に溶け込んだ道具になっていないのではないかと考えています。私たちの本当の道具となった時、

ロボットのという言葉が消えると考えています。また、ロボット技術が私たちの生活に溶け込んで、その存在が見えなくなるくらい浸透してほしいとも考えています。先に紹介したロボットの存在を感じさせないアバターシステムはその一つの実現例です。このような二つの思いを込めて、消えるロボットを創りたいと言っています。

#### 4. 終わりに

新しい研究分野はともすれば、学問としての礎が不確かであるとみられることもあります。メカトロニクスは機械と電気の融合であり、その礎は何なのか、単なる融合ではないのかななどの疑問が投げかけられていました。メカトロニクス研究室を最初に担任された吉川恒夫先生は正にロボット工学やメカトロニクスの黎明期からご活躍され、これらの学問体系の礎を造られました。先人に造っていただいた礎にあぐらをかくことなく、努力して教育研究に邁進して参りたいと考えております。今後ともどうぞよろしくお願い申し上げます。

是非、研究室のHPをのぞいてみてください。

[Matsuno Lab Kyoto University - Mechatronics lab Graduate School of Engineering \(kyoto-u.ac.jp\)](http://Matsuno Lab Kyoto University - Mechatronics lab Graduate School of Engineering (kyoto-u.ac.jp))

追伸：

メカトロニクス研究室では京都大学公認サークルの機械研究会の顧問を担当することになっております。機械研究会には理学部や電気電子工学科や情報学科の学生もおりますが、物理工学科の多くの学生が参加しております。機械研究会は2019年にNHKロボコンで優勝し、世界大会でもベスト8に進出しました。今年も、2回の事前審査を通過し、NHKロボコンに出場することが決まり、ロボット開発に励んでおります。是非、皆様のご協力をいただきたくお願い申し上げます。

大変恐縮ではございますが、「京大機械研究会基金」へのご寄付をお願いいたします。以下のURLから簡単にご寄付いただけます。

[京大機械研究会基金 \(kyoto-u.ac.jp\)](http://京大機械研究会基金 (kyoto-u.ac.jp))

ご支援・応援の程、何卒よろしくお願い申し上げます。