大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

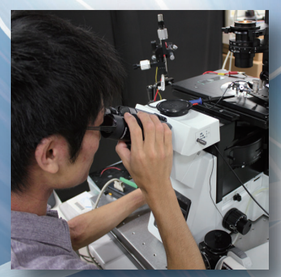
大阪大学　基礎工学部　システム科学科　知能システム学コース
大阪大学大学院　基礎工学研究科　システム創成専攻
システム科学領域　知能システム構成論講座
システム科学領域　システム理論講座
社会システム数理領域　システム数理講座

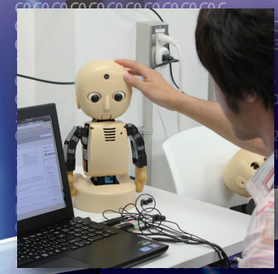
〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3
TEL: 06-6850-6385 (知能システム学コース事務室)　FAX: 06-6850-6341
E-mail:jimu@sys.es.osaka-u.ac.jp　URL:http://www.sys.es.osaka-u.ac.jp/

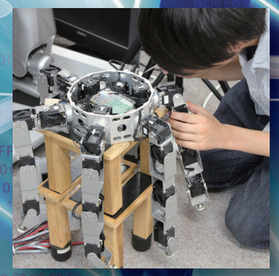
大阪大学　基礎工学部　システム科学科

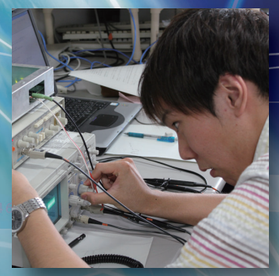
知能システム学コース

INTELLIGENT SYSTEMS SCIENCE COURSE









Media Technology
Computer Vision
Network Optimization
Control Theory
Systems Contol
IoT
Decision Making
FinTech
Industry 4.0
Smart Society

Robot
AI
Cybernetics
Optimization
Humanoid
System Integration
Human Interface
VR
Signal Analysis
Systems Analysis

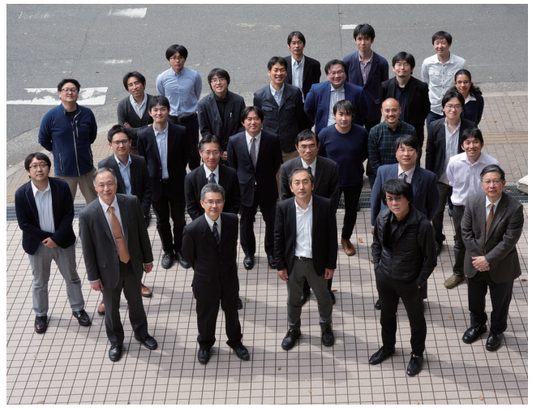
ENGINEERING SCIENCE

Society 5.0の実現に向けて
人と機械と環境に調和・協働をもたらす知能システムの創造

- システム工学・電子工学・情報工学を融合した複雑系の研究
- 世界トップレベルを誇る知能ロボット・アンドロイドの研究
- 人と人とを結びつけるコンピュータ・インタラクションに関する研究

現在、人は様々なシステムと共同して生活しています。例えば、自動車やロボット、人工衛星、インターネットなどです。このようなシステムは、多くの要素が組み合わさってできたもので複雑系と呼ぶことができます。例えば、人間と協力して作業するロボットを実現するには、周囲の環境を把握するセンサーや画像処理、コンピュータで自律的に判断を行う知的情報処理、そしてロボットを動かすためのモーターやその制御など、さまざまな技術要素を一つのシステムとして有機的に統合する必要があります。さらに、ロボットの社会的影響や人間に与える心理的影響など、従来の工学では扱われてこなかった問題や、従来人文系と見なされてきた問題も考えなければなりません。技術と社会の高度化・複雑化にともない、一つの技術要素だけで便利なものや快適な環境を作り出すのが難しくなっており、システムという考え方の重要性は増しています。知能システム学コースでは、さまざまなシステムに共通する一般的原理とシステムを構築する方法について教育・研究を行っています。

知能システム学コースでは、異なる分野を総合的にとらえて課題を解決し、人間、機械、環境の調和と協働をもたらす新しいシステムを創造できる人材を世界に輩出します。『広い視野を持ち、理工学の分野のみならず経済･社会の分野にも関心のある人』、『既成概念にとらわれることなく新分野への開拓精神を有する人』、『自らの観測に基づいて思考を発展させ、表現する能力のある人』など、共に理工学の新領域を切り開いていける方を歓迎します。



知能システム学コース教職員

▶▶ 知能システム学コース沿革　History of Intellgent Systems Science Course

昭和 36 年	基礎工学部発足
昭和 37 年	制御工学科6講座体制で発足
昭和 47 年	情報工学科の設置に伴い、制御工学科は5講座体制
平 成 4 年	制御工学科からシステム工学科に改組。それに伴い7講座体制に拡充
平 成 9 年	大学院重点化に伴う学部の改組により、学部のシステム工学科と機械工学科、生物工学科を統合し、システム科学科を編成 旧学科を母体に、システム工学科内に2~4年次学生を対象に、電子システム学コース、機械工学科は機械科学コース、生物工学科が生物工学コースを設置 教官は学部から、大学院システム人間系専攻システム科学分野に転籍。大学院専任講座1講座を拡充し、システム科学分野3講座8研究グループにより電子システム学コースの教育を担当
平成 14 年	情報科学研究科の設置に伴い、システム人間系専攻に数理科学分野を併合
平成 15 年	大学院の改組によりシステム創成専攻となり、システム科学領域の2講座6研究グループ、社会システム数理領域の1講座2研究グループとして電子システム学コースを担当
平成 26 年	知能システム学コースに名称変更

▶▶ 研究グループ　Research group

大学院　システム科学領域　システム理論講座　Area of System Theory

- システム解析
- 適応ロボット学

生命、自然、人工物など、ますます大規模・複雑化する事象を研究対象にして、その高付加価値化や問題解決を目指した研究を展開しています。「全体は部分の総和以上である」という性質を持つシステムに対して、「物」のインフラと並んで重要な役割を果たす「知」のインフラを提供することを目的として、システムのモデリング、解析、計画、設計、制御の基礎理論と方法論およびそれらの実事象への応用に関する研究と教育を行っています。

大学院　システム科学領域　知能システム構成論講座　Area of Intelligent Systems

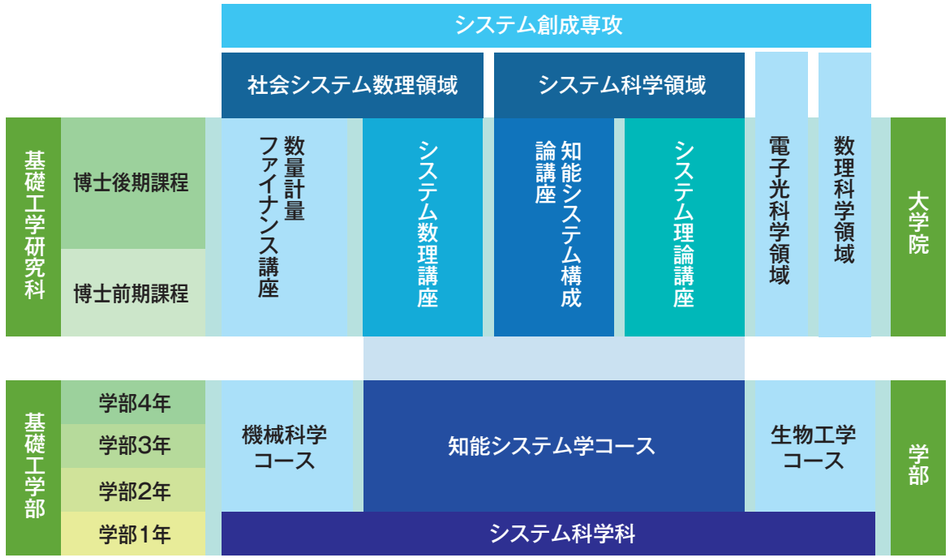
- 応用ロボット学
- 知能ロボット学
- パターン計測
- ロボットマニピュレーション

高度なシステムを実現するには、知能や技能をいかにして構成するかが最大の課題となります。自律ロボットのような知的システムを実現し実社会で広く応用を図るために必要な、センシング、パターン認識、環境理解、適応操作、協調動作などの基本技術と、人間とコンピュータあるいは人間と人間の交流を円滑にするためのヒューマンインタフェース、コミュニケーション、メディア技術などについてソフト / ハードの両面から教育・研究を行っています。

大学院　システム数理領域　システム数理講座　Area of Theoretical Systems Science

- 複雑システム研究
- システム計画数理研究

コンピュータの高機能化に伴い、ネットワーク化された複雑なシステムの解析・設計・制御技術が重要となってきています。さらに、人間にとって扱いやすい知的で柔軟なシステムを構築するための計算知能化技術の開発も近年急速に進歩しています。システム数理講座では、これらの技術を支えるシステム理論とオペレーションズ･リサーチの教育と研究を行っています。



すべての学生が知能システムに関する理論と工学的スキルを習得してから卒業できる、システマティックなカリキュラム

要素そのものではなく、各種コンピュータ技術とシステム理論との組み合わせにより、与えられた各要素を最適に統合化して知的システムを構成することが、知能システム学の本分です

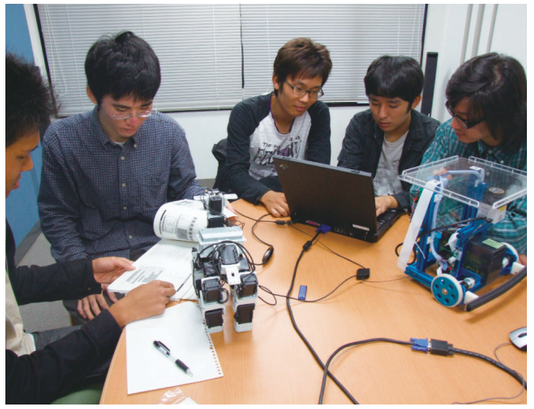
理論の座学だけではなく、実験および演習との連携を重視した教育方法を採っており、すべての学生が知能システムに関する理論及び十分な工学的スキルを習得してから卒業するよう、システマティックにカリキュラムを組んでいます。必修科目の 3 年前期および後期開講の**学生実験 A・B** でそれぞれ 5 課題 (回路設計・ロボット・信号処理・画像距離計測・制御・ヒューマンインタフェース等) を課し、さらに 4 年前期開講の**学生実験 C** ではそれらを統合した自由度の高い課題を設定しています。これにより、卒業後の多様な知的システムに対する設計の工学的スキルを習得します。また、プログラミング教育は、その専門科目である**情報処理演習、コンピュータ基礎演習、コンピュータ工学演習**の 3 科目で C 言語を中心に実施しており、ほとんど全ての学生実験課題と**特別研究**（ 卒業研究 ）でプログラミングスキルが必須となっていますので、全学年にわたって途切れなく履修することになります。特別研究のテーマには、実施に半年以上を必要とする比較的高度な内容の個別問題を各指導教官が与え、その完全な履修を卒業の必須要件としています。

また、技術英語スキルの習得のために、2 年後期開講の**知能システム学ゼミナール**では英書の長文読解を課し、大学院へ進学した際に必要となる技術英語スキルの導入教育を実施し、4 年次の研究室配属後は、特別研究の指導の一環として英語教育を継続しています。その結果、多くの学生が大学院進学後に、英文論文誌への投稿や、国際会議での英語プレゼンテーションを行っています。プレゼンテーションスキルの習得も重視しており、2 年後期開講の**基礎工 PBL**(Problem-Based Learning: 問題解決型教育) では特別研究に先駆けて各自が設定し取り組んだ課題についての発表を、4 年次に行う特別研究では技術論文の作成法とプレゼン法を中心に丁寧に指導しています。

その他、成績上位者の勉学意欲を一層高めるため、3 年次には大学院への飛級進学を進め、4 年次には成績優秀者若干名を大学院の推薦入学特別選抜枠に推薦しています。

学生実験（倒立振子の安定化制御）

学生実験（ビジョンによる制御）



PBL 実施の様子

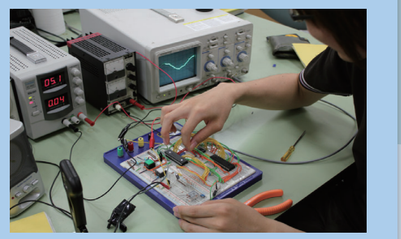
PBL 発表会

▶▶ カリキュラム概要　Overview of curriculum

curriculum

1 年生

■ 専門基礎教育科目
数学，物理学，心理学，統計学，化学，地学，生物学，図学
■ 外国語
第1外国語，第2外国語
■ 情報系科目
情報活用基礎，情報処理演習
■ その他
システム科学序説，各種教養教育科目



コース配属

2 年生

■ システム系科目
知能システム制御の基礎理論
数学 A~C，システム制御基礎，システム数学基礎
■ 電気・電子系科目
システム制御のための電気電子回路の基礎
電子回路
■ コンピュータ系科目
計算機のアーキテクチャとソフトウェア
コンピュータ基礎，コンピュータ基礎演習，コンピュータ工学，コンピュータ工学演習，コンピュータ数学，ヒューマンインタフェース工学
■ 応用系科目
様々な場面で応用の利く理論や技術
知能システム学ゼミナール，システム応用力学，計画数学 A，数学 D
■ 選択必修科目
基礎工PBL(知能システム学)

3 年生

■ システム系科目
知能システム制御の基礎理論
システム制御，制御システム設計論，システム最適化，計画数理工学，信号処理，離散最適化，インテリジェント制御，音響メディア
■ 電気・電子系科目
システム制御のための電気電子回路の基礎
センサ工学，電子回路
■ コンピュータ系科目
計算機のアーキテクチャとソフトウェア
情報理論，情報ネットワーク，人工知能基礎論，機械学習，画像処理論
■ 応用系科目
様々な場面で応用の利く理論や技術
ロボット工学，統計数学 A，B，応用数理 A ~ D，知能システム学特論，化学工学概論，防災特論，知能システム学実験 A，B

優秀者は飛び級で大学院進学も可能

研究室配属

4 年生

■卒業論文
特別研究 I，II
■ 応用系科目
様々な場面で応用の利く理論や技術
知能システム学実験 C，数学解析，技術経営学，科学技術論 A，B

大学院

就職

人・機械・社会を繋ぐ有機的教育研究が、地域に生き、 世界に伸びていきます。

▶▶ 現役学生の声 Voice of active students

きっかけは様々だけど、システムの勉強って魅力的だと感じるようになった

竹澤　技術を組み合わせて面白いシステムを作りたいです。特に、人と機械の関係に興味があります。

中村　実際に見学して、ロボットやヒューマンインタフェースなど、テーマが面白そうな研究室がたくさんあると感じました。

城野　小さい頃からものづくりが好きで、趣味や興味のある方向性を追いかけたら知能システム学コースでした。

金森　機械や生物の動きなどを観察するのが好きで、それをもっと原理から知りたいというのがモチベーションです。コース内の研究室に大きな研究プロジェクトがたくさんあることを知り、ますます魅力を感じています。

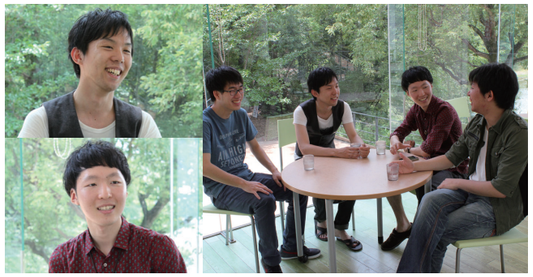
学部 4 回生および修士 2 回生の学生に「コースに配属され、希望通りの勉強はできたか」という質問を投げかけたところ、口をそろえて「できた」という答えが返ってきました。事前に入念な情報収集を行なっていたので、ギャップがなかったというのが主な理由のようです。

幅広い分野の実践的な学習を通し、大きく成長できた

コースでの授業について、配属されたばかりの 2 回生らは「プログラミングの課題が大変だけど力がつく」、「課題解決型学習（PBL）の授業がおもしろい」、「先生との距離が近くて接しやすい」と答えています。レポートに追われる日々ですが、充実感を得ているとのことです。より具体的な感想について、修士 2 回生の学生が語ってくれました。

綿谷　授業内容を理解させるだけじゃなく、どのように社会で役立つのかを例を上げながら説明してくれる先生がいて学習意欲が増しました。例えば安全性工学など、実際に工場で勤務する際に役に立ちそうな知識だと感じています。

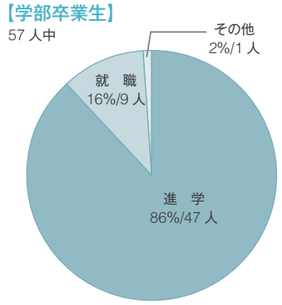
佐々木　プログラミング演習の授業が刺激的でした。授業中にアドバイスをくれる先輩がすごい、自分もできるようになりたい、と感じました。努力の結果、数年前苦しんでいたことも今見ると簡単に見えます!



上左：佐々木さん（修士2回生） 下左：大嶋さん（学部4回生）
右：インタビューに答えてくれた修士2回生と学部 4 回生

▶▶ 卒業後の進路 After graduation ［2019 年度卒業生］

【学部卒業生】



知能システム学コース卒業生の80% 以上の学生が大学院基礎工学研究科に進学し、より専門的な研究を行っています。

【企業就職先】

博士卒業生	大阪大学 / パナソニック / 香川県庁
学部・修士卒業生	パナソニック / ソニー / 日立製作所 / NTT 西日本 / MTT 東日本 / NTT コミュニケーションズ / NTT データだいち / 日本マイクロソフト / 日本 IBM サービス / ソフトバンクグループジャパン / アクセンチュア / 三井住友銀行 / 三菱UFJ銀行 / 三菱重工業 / 三菱電機 / 住友電気工業 / 日本電気 / 日本電気通信システム / ダイキン工業 / キーエンス / キヤノン / デンソー / ゼクシス / ポケモン / レトリバ / フィックスターズ / Bytedance / Huawei Technologies Co, Ltd

本コースは、システム創成専攻のシステム科学領域と社会システム数理領域の学生の就職の窓口にもなっており、大学院修了者を含めて、毎年多数の求人があり、広範な業種への就職実績があります。その大半は各就職先において研究・開発の仕事に従事しています。これも物事を総合的に捉えて業務を行える本コースの卒業生だからです。

▶▶ 卒業生の声 Voice of alumni

大学時代は奇術部で課外活動をエンジョイしながら勉強に励み、大学院時代にマサチューセッツ工科大学に留学するなど、充実したキャンパス生活を過ごしたコース卒業生に、システム科学科および知能システム学コースの魅力を聞いてみました。

長瀬 百代 さん

知能システム学コース出身
現在、三菱電機株式会社・情報技術総合研究所に勤務

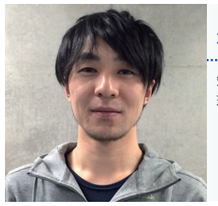
なんでもやりたい欲張りな人に向いている !!

理科系の科目それぞれを組み合わせると新しい価値が創造できると感じており、生物・情報・物理など分野を横断した教育研究がなされているシステム科学科は、自分にピッタリであると感じました。昔から手品を見るのが好きでしたので、人の思い込みや知覚特性を使って何かできたらな、と思い、知能システム学コースへの進学を決めました。コースに配属されてから一番面白かったのは、実験やプログラミングなどの手を動かすタイプの講義ですね。知能システム学コースは、一般的な他の学部学科よりも、学べる学問の幅が広く、なんでもやりたい欲張りな人に向いてるのかなと思います。興味あることが多すぎて決められない!という人にはオススメですね。

システム化されていく社会で役に立つ知識・経験ができる

世の中どんどんシステム化されており、いろんな分野の技術者が集まって、1 つのプロジェクトをやっていく場面が増えています。そういう時に、知能システム学コースで学んだ色んな分野の基礎知識があると他の分野の技術者の議論にもついていきやすいです。
また、会社なので、ずっと同じ技術分野のことをやっていくわけではなく、その時々によって方針が変わることもあります。新しい技術分野に挑戦する際にも一度学生時代に授業で聞いたことのある内容だと精神的に楽ですし、飲み込みも実際早いので助かっています。

コースを卒業された後、大学院に進学して研究を深め、博士学位を取得した林さん。その後、大学院での研究課題「拡張現実感」をビジネス化し、株式会社コンセプトを創業。現在も、日本における同技術のフロントランナーとして活躍されています。同社の取締役 CTO として忙しくも充実した日々を過ごされている林さんから、知能システム学コースでの思い出やその魅力を伺いました。



林 建一 さん

知能システム学コース出身
現在、株式会社コンセプト　取締役 CTO

幅広い実践的な実験科目が魅力的

実はもともと脳科学の研究に興味があり、生物工学コースへの進学を考えて大阪大学に入学しましたが、プログラミングを演習で学んでいくうちにプログラミングにはまり、知能システム学コースでの研究分野に興味を持つようになりました。昔から自分で設計したり工作したりすることが好きでしたので、2 年生になってから始まる学生実験はとても楽しみでした。今思えば実践的な実験を幅広くやっていたなと思います。

世の中を便利にできるような研究を行える

研究室に配属されてからは、拡張現実感を実現するための基礎技術の中でも、特に画像処理によって物体の検出や追跡、シーンの 3D モデリングを行うような技術の研究を行っていました。魅力はこの技術が確立されたときその応用が、エンタテインメント、教育、医療、福祉など非常に幅広い分野に適用できるポテンシャルを持ち、分かりやすく世の中を便利にできる点です。当時、MIT で行われているタンジブルユーザインタフェースという研究に興味を持っていて、その分野の研究に近いことのできる研究室を選びました。昔からその瞬間の興味で進路を決めています。研究や学問の興味は自分の知識の成長とともに変わっていくものですし、学部生のうちは特に自分の専門を決めつけず、幅広く興味をもって勉強をしていったほうが良いかと思います。その方が結局はじめに志した分野に進むことになっても、考え方やアイデアの幅が変わってきます。

あらゆる創造的な仕事をする上で必要となる能力がトレーニングできる

私の場合、学生時代に研究していた技術を直接仕事として行っているので、当然、分野の専門知識は仕事を進める上で役に立っています。またより一般的な能力として、ある問題を発見しそれを解決していく能力は、あらゆる創造的な仕事をする上で必要となりますが、そのほとんどは自力で研究を進めていく過程や指導教官との議論を通してトレーニングできました。また、何より、研究室に入ってからのメンバーとの研究生活は、特に楽しかったと思いますね。

TRY IT !!

先輩が開発したアプリを試してみよう !! AReader

2008 年度博士卒の林建一さんが起業した株式会社 Qoncept がいち早く商用展開した最先端メディア技術 AR。iPhone の方は “App Store”、Android の方は “Google Play” で、アプリ “AReader” をダウンロードし、起動後、カメラでこのマーカーを撮影してみて下さい。マーカーの上に浮かび上がってくるものとは…?

AReader
知能システム学コース × Qoncept

システム理論講座　適応ロボット学グループ

生物と相似な身体のロボットを創り、適応知能を解明する

細田 耕　研究室　https://www-arl.sys.es.osaka-u.ac.jp/site/

細田 耕 教授

清水 正宏 准教授

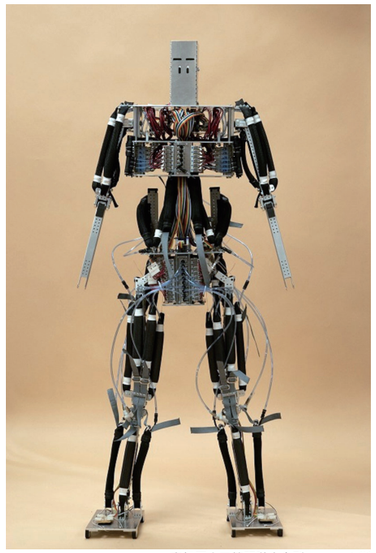
川節 拓実 助教

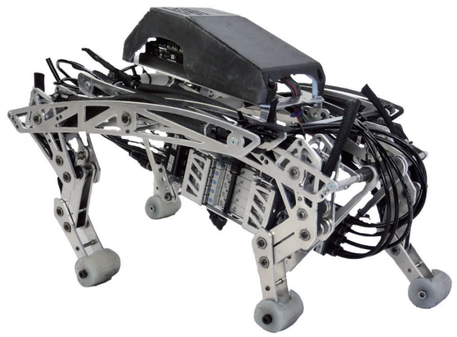
志垣 俊介 助教

人間を含む知的な生物は、柔軟な身体を持ち、その特性を生かすような多重ループ制御によって、適応的な振る舞いを生み出すことができます。本研究室では、人間と同等の筋骨格を持つヒューマノイド、動物と同等の筋骨格を持ち素早い動きをする四足ロボット、柔らかい素材からなる触覚センサ、細胞を用いたマイクロロボット、生物―機械融合系などの実ロボットを用いた実験を中心に、生物の持つ身体的知能と、その適応的行動創出のための制御について研究し、われわれの知能の本質に迫ります。

筋骨格ヒューマノイド・四足ロボット

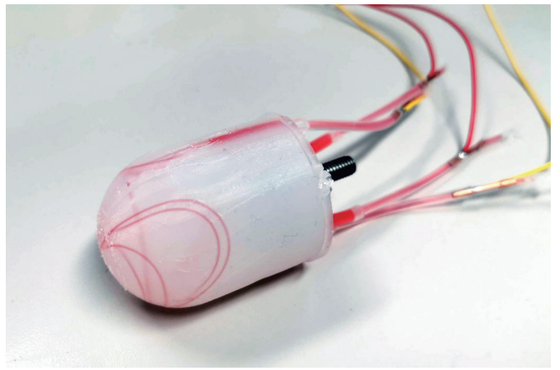
人間を含む知的生物の身体は、骨格とそれを駆動する複雑な筋・腱、そして皮膚からなる柔らかく、しかも非常に複雑な構造をしています。しかし、その構造は、脳によって制御されやすく、そして環境の変化に柔軟に対応できるように、進化によって選択されているはずです。その構造には、知能に関するたくさんの重要な事実が隠されていますが、これらを発見、実証するには、生物と同等の身体構造を作り、同等の環境内で実験をする必要があります。そして、これまで作られてきたような硬いロボットのそれとは、全く違った制御を考えなければなりません。このような問題を解くことによって、これまで存在しなかったような、全く新しいタイプのヒューマノイド・四足ロボットを作り、動かすことができると考えています。

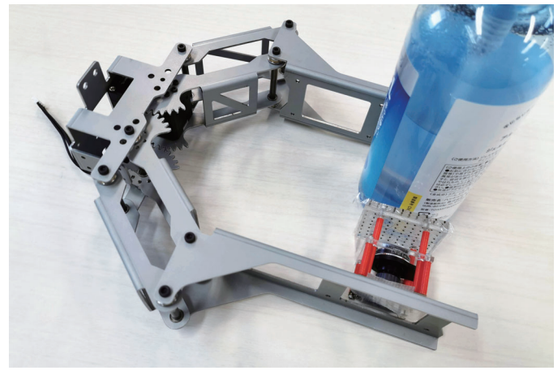

空気圧人工筋駆動全身型ヒューマノイド


空気圧人工筋駆動小型四足ロボット

やわらかな触覚センサ

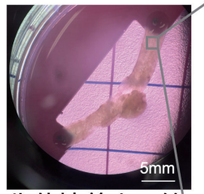
ヒトの手など、やわらかい皮膚の中には無数のセンサが埋め込まれています。環境との接触から生まれる豊かな情報をこれらのセンサで観測することで、ヒトは器用な物体操作や正確な物体認識を実現しています。このようなやわらかく複雑なセンサを工学的にどのように構成するか、またそこから得られる情報をどのように活用するかを研究することで、ヒトのような物体操作、認識機能をロボットに実装できるはずです。本研究室では高分子ゲルやシリコーンゴムといったやわらかい材料、またやわらかい材料を 3D プリントする技術などを用いて、やわらかく複雑なセンサを構築し、ロボットに応用することでその機能の解明に挑戦しています。


イオン液体センサを埋め込んだロボット指

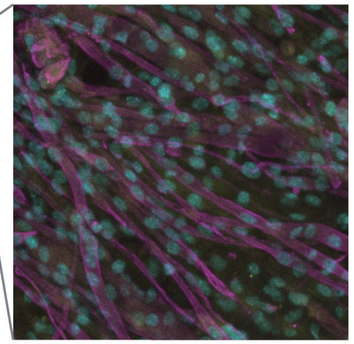

触覚センサを取り付けたロボットハンド

細胞を用いたマイクロロボット

従来のロボットは、既知環境では高精度に動作できますが、未知の環境に置かれると、途端に動けなくなります。しかし、生物は自然界の中でさまざまな環境の刺激を受容し、即座にその刺激に適応しています。これは、生物を構成する細胞自体が柔軟性や環境適応性を持っているからです。そこで、ロボットに柔軟性と環境適応性を付与するために、細胞を基盤としたロボット開発をしています。

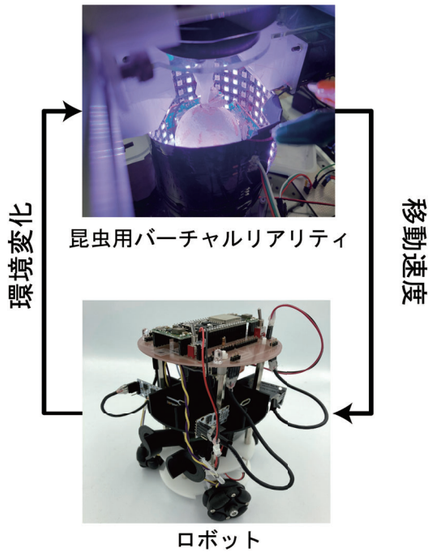


生体培養人工筋


抗体抗原反応を用いた構造解析

生物ー機械融合系

ロボットを知的に振舞わせるために、生物の適応行動を真似ることが行われてきました。しかし、それだけではロボットと生物との間に存在するセンサ（感覚器）やアクチュエータ（筋肉）等の大きなギャップを埋めることはできず、生物本来の適応性を発揮できません。そこで、生物が機械を遠隔で操作し、任意のタスク実行中の生物の行動を計測することで、生物とロボットの間のギャップを考慮した適応的な行動生成モデルを手にできるはずです。



システム理論講座　システム解析グループ

円滑なコミュニケーションを支えるシステム解析技術

飯國 洋二　研究室　http://sip.sys.es.osaka-u.ac.jp/

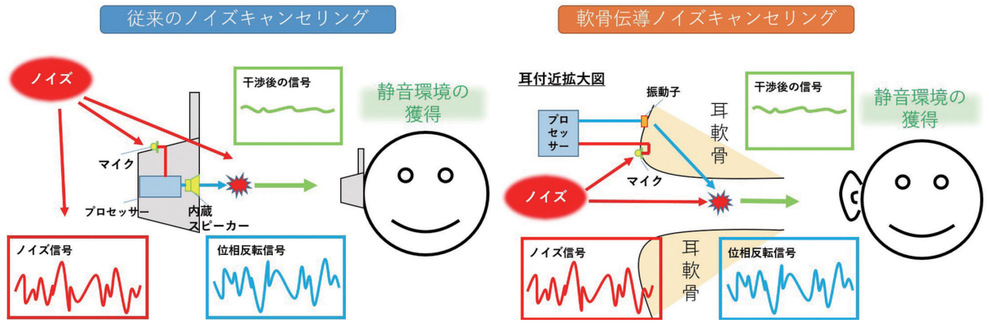
信号システム解析に関する理論とその応用技術について、理論と応用のバランスのとれた学生を育成することを目指し、研究と教育を行っています。具体的には、数学的理論を駆使することにより適応性・柔軟性を持つ先端的な信号システム解析手法を開発し、音声の明瞭化、能動雑音制御、画像補間、画像復元、ノイズ除去、信号特徴抽出を中心とする音声音響処理、画像処理、無線通信への応用研究に取り組んでいます。

信号システムの理論と実現技術

私たちの身の回りでは、目に見えないデータを信号という形でやり取りしています。例えば、スマートフォンで画像を相手に送る際には、画像の色を数値で表現し、その数字列の信号を相手に送ることで、相手も同じ画像を見ることができます。信号は画像以外にも、音声やテキスト、それらを応用した AI など、様々な領域で用いられており、この情報化社会を支えています。

私たちの研究室では、この信号を数学的に解析し、扱いやすいように手を加える「信号処理」という分野の研究を行っています。例えば、研究内容の一つに、ノイズキャンセリングシステムがあります。消したい騒音をマイクで集音、プロセッサーで解析を行い、内蔵スピーカから位相反転信号を出力することで、音の干渉により騒音を消すことができます（下図左）。この内蔵スピーカの代わりに、我々の耳軟骨を振動させ耳に位相反転信号を出力させる技術が、開発を進める軟骨伝導ノイズキャンセリングシステムです（下図右）。こうすることでヘッドホンを使用せず、耳を塞がない状態で騒音を除去できます。しかしこのようなシステムを設計するためには、耳の伝達特性を解析し、その特徴をうまく利用した効率のよい処理アルゴリズムを開発しなければなりません。

そこで、信号解析、システム解析、スペクトル解析などの数学的な理論を駆使して、人間のもつ予測・適応・学習などの柔軟かつ知的な情報処理機構を工学的に応用し、推定精度、追随性能の向上、計算量、処理速度の削減を目指したシステム設計について研究を行っています。ノイズキャンセリングの他にも、音声の明瞭化、画像補間、画像復元、ノイズ除去、信号特徴抽出を中心とする音声音響処理、画像処理、無線通信への応用に取り組んでいます。

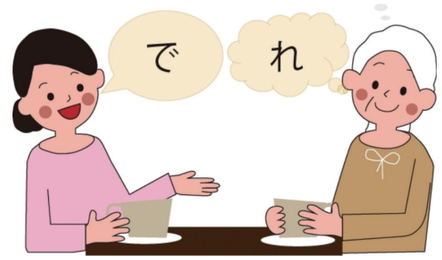


軟骨伝導ノイズキャンセリングシステム

音声音響処理システム

1）感音性難聴者のための信号処理による補聴支援

加齢と共に聴力は衰えます。会話を行う上で聴力低下は大きな負荷となり、会話が億劫になると孤立感を受けるようになります。補聴器はこの会話を支援するため音を増幅しますが、イヤホンで耳に栓をする耳閉感が馴染めない、内耳にまで疾患が及ぶ感音性難聴者は聞き間違いを起こすことから、次の課題に取り組んでいます。



感音性難聴者の聞き間違いを防ぐ信号処理

・耳軟骨の振動で音情報を与える新しい補聴器・音響デバイスの開発

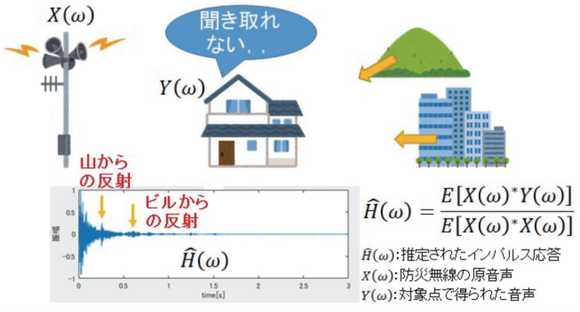
耳の軟骨部分を振動させて、外耳道内に音を直接放射させるメカニズムを軟骨伝導と呼びます。このメカニズムを補聴器やその他音響デバイスに応用し、耳を塞がないイヤホンの開発を目指しています。

・感音性難聴者の聞き間違いを防ぐ信号処理の開発

人間の音声は基本周波数による倍音構造をなしていますが、この周期性が乏しい音声ほど聞き間違いが生じます。そこで、感音性難聴のメカニズムを探ると共に、デジタル信号処理による言葉の明瞭化を目指しています。

2）防災無線の聞き取りやすさを評価する都市インパルス応答の推定

防災無線は災害時に避難行動を指示する重要な広域放送システムですが、山やビル等の反射（ロングパスエコー）により聞き取りにくくなります。そこで普段の定期放送試験から都市の伝達関数（インパルス応答）を推定することで、聞き取りにくさを評価します。この技術を応用し、ロングパスエコーにロバストな音声信号処理を開発しています。

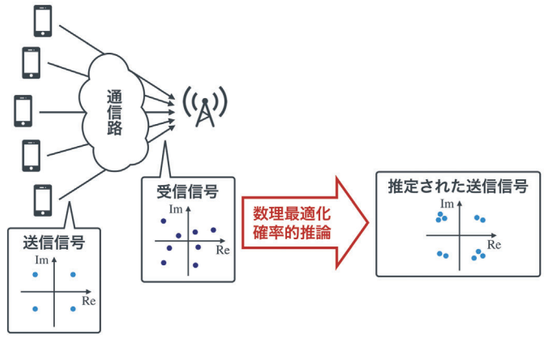


都市インパルス応答の推定

未知変数の性質を利用する信号処理アルゴリズム

式の数が変数の数よりも少ない連立一次方程式は一般には解を無数にもつため、解を一つに定めることができません。ところが、未知変数に特別な性質がある場合には、その性質をうまく利用して解を求められることがあります。とくに、未知変数のほとんどが 0 であるというスパース性を利用して未知数の値を求める枠組みは圧縮センシングと呼ばれています。知りたいもの（未知変数）がどのような性質をもっているかは応用の対象によって異なり、「どのように対象の数理的なモデル化を行うか」「未知変数の性質をうまく利用するにはどうすればよいか」といったことが興味深い課題となります。例えば，無線通信において送信される信号は離散性と呼ばれる性質をもっているため、その離散性をうまく利用するとより良い精度で送信信号の推定を行うことができます。

そこで、数理最適化や確率的推論のアイデアを用いて、効率的なアルゴリズムの提案やその理論解析を行っています。得られたアルゴリズムやその理論解析結果は、無線通信や画像処理などに応用することができます。



送信信号の離散性を利用した推定

知能システム構成論講座　ロボット学習グループ

AI とロボットを深く融合させ 人のように柔軟な知能を創る

長井 隆行　研究室　http://www.rlg.sys.es.osaka-u.ac.jp

長井 隆行 教授

堀井 隆斗 講師

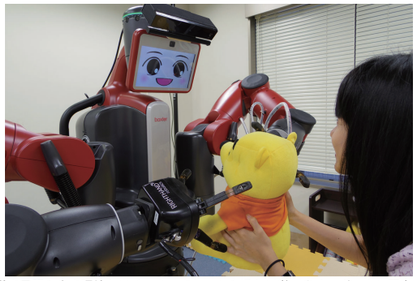
長井研究室では、高度な人工知能を搭載したロボットが人間社会に溶け込み、人と共存する世界を目指した、人工知能 × ロボットの研究を行っています。特に、先進的な機械学習技術を用いることで、身体スキルや社会性、言語、論理的な思考などを獲得する「子どものように発達するロボット」の実現と応用に取り組んでいます。さらに、感情を含むロボットのココロに関する研究を行っています。

記号創発ロボティクス

ロボットが人を真に理解するために

ロボットが人と互いに理解し合うためには、どのような能力が必要になるのでしょうか。私たちは記号創発ロボティクスの考えに基づき、人間の赤ちゃんのように身体的・社会的インタラクションを通じて学習するロボットを研究することで人の知能の発達とロボットに必要な認知システムの理解を目指します。

これまでにロボット自らが物の概念構造を獲得する確率的生成モデルの提案や、人とのインタラクションを通じた運動概念や感情、言語能力を獲得するモデルへの拡張を行っています。また、クラウドロボティクスやサイバーフィジカルシステムを利用することで、より汎用的な知識獲得を目指す人工知能とロボティクスの新しい形に挑戦しています。



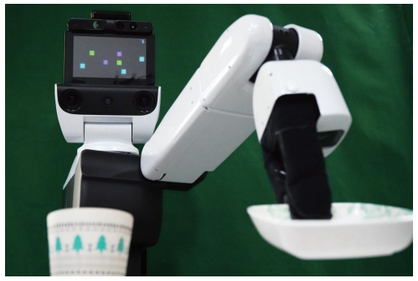
上段：運動や言語を人や環境とのインタラクションを通して学習するロボットの研究
下段：ロボットを用いた感情発達の研究

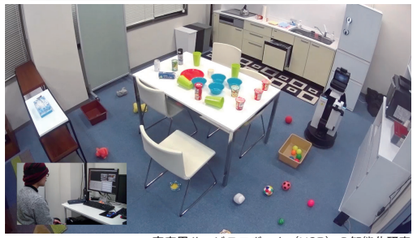
ヒューマンサポートロボット

人の生活を支援するサービスロボットの実現

掃除や料理の補助、施設の案内など様々な環境で、人とのコミュニケーションを通じて作業や行動を支援するためのロボットが必要とされています。しかしサービスロボットが実際の環境で動作するためには、目的とする作業や環境への適応と同時に様々な予期せぬ出来事への対応が必要となり、実現は容易ではありません。

私たちはこれまでの研究により、ロボットが自らの動作を学習・分節化することで様々な家庭環境に対応できる柔軟な行動規範が獲得可能であることを示しました。また、様々な家庭におけるこうした情報をインターネット上で共有することでロボットの常識を作りだし、それの常識を基盤として各家庭に適応する身体知能を構築することを目指しています。





家庭用サービスロボット（HSR）の知能化研究

認知的インタラクションデザイン

子どもの遊びから 人―ロボットインタラクション へ

子どもから大人へ、人のコミュニケーション能力や社会性はどのように発達・変化するのでしょうか。私たちは子ども達の遊び場を対象に、子ども同士や、子どもと大人のインタラクションがいかに変化するかを計測・解析・モデル化等の様々な工学的技術を用いて明らかにし、人―ロボットインタラクションへの応用を目指します。

これまでに、リトミック場面における子どもと大人の運動情報を加速度センサや深度カメラを用いて計測し、PageRank アルゴリズムによる可視化やネットワーク解析を行うことによって、インタラクションの変容過程を明らかにしました。また、解析により明らかになった養育者の行動モデルをコミュニケーションロボットに適応するなど、養育者の負担を軽減する保育所の情報化へ貢献しています。

子どもたちの活動計測技術とモデル化の研究

遠隔保育支援ロボット

遠隔地から乳幼児と触れ合えるコミュニケーションルーツ

核家族が 8 割を占める現在の社会において、育児負担軽減や保育の質向上は重要な課題です。遠くにいても育児を手伝うことができたら、離れて暮らす大家族で、新しい共同的・開放的な育児ができるでしょう。

ChiCaRo（チカロ）は、遠方からでも小さな子どもと触れ合える、小型ロボット型のコミュニケーションツールです。言葉の未発達な乳幼児と遠隔でやり取りできるツールはこれまでありませんでしたが、ChiCaRo によって、祖父母や保育士による遠隔保育が可能になります。子どもを飽きさせずやり取りの質を向上させるにはどうすればいいか？離れた家族をつなぐコミュニケーションデザインとは？これまでの子どもロボットコミュニケーションの知見を生かし、実社会への応用として、私たちは ChiCaRo を開発しています。

遠隔育児支援ロボット ChiCaRo の開発

知能システム構成論講座　知能ロボット学グループ

ロボットを創り、人間の本質を知る

石黒 浩　研究室　http://www.irl.sys.es.osaka-u.ac.jp/

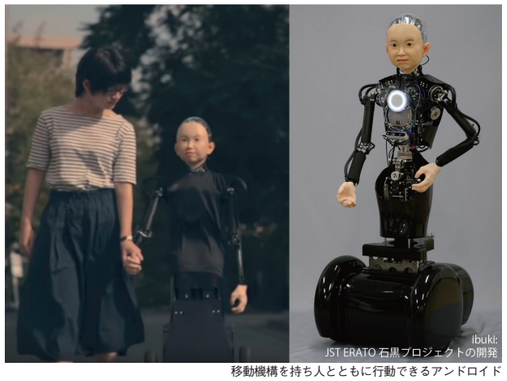
近い将来、情報・ロボット化社会は必ずやってきます。本研究室では、そのような未来に貢献するための人間社会を支える知的システムの研究開発に取り組んでいます。特に、人間と豊かに関わる人間型ロボット・アバターの研究、複数連携対話ロボットの研究、ロボットの学習機能、そして生命感・存在感の研究に力を注いでいます。また、これらの研究を通じ、人間と豊かに関わるシステムの開発に必ず伴う、「人間と何か」という基本問題に取り組んでいます。

人間型ロボット・アバターの研究

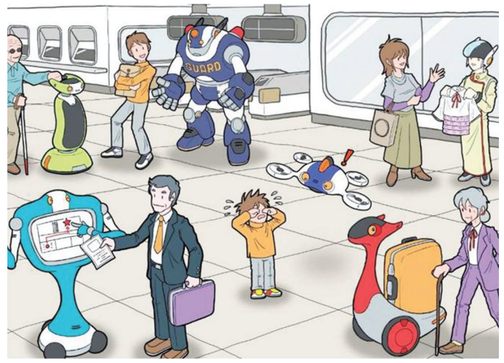
人間型ロボット・アバターの研究では、人間とは何か、人間とロボットの関わりにおける本質とは何かを探究するために開発した人間酷似型ロボット（アンドロイド）の研究、人間社会で活動するアバターの研究、多様なモダリティで人と自然に対話する自律型アンドロイドの研究を行っています。アンドロイドは、現存するロボットの中でももっとも複雑な機構を有するロボットで、見かけだけなく、動作や認識・言語や非言語の表出についても、人間に近づけるための研究を行っています。また、これらのロボットを開発すると同時に、人がどのようにロボットと関わるかという、認知の研究にも取り組んでいます。

ジェミノイドHI-4
大阪大学の開発
遠隔操作型実在人間アンドロイド

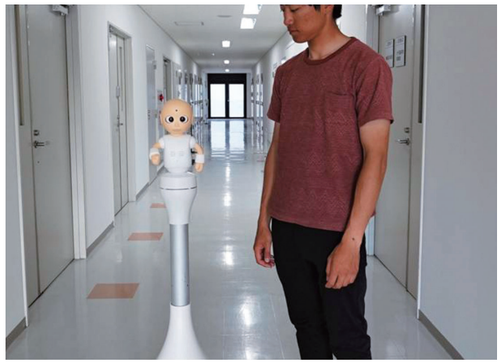
ERICA
JST ERATO 石黒プロジェクトの開発
人と自然に対話するアンドロイド


Ibuki:
JST ERATO 石黒プロジェクトの開発
移動機構を持ち人とともに行動できるアンドロイド

Telenoid R4:
大阪大学とATR石黒浩特別研究所の開発
遠隔操作型アンドロイド



近未来の知能化社会イメージ


移動機構の付いた CommU

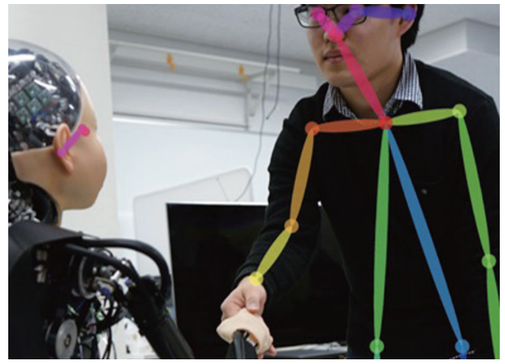
複数連携対話ロボットの研究

複数連携対話ロボットの研究では、人との対話の中に複数のロボットが入り込むことを想定した、新しい形態のテーブルトップ型ロボットの研究開発を行っています。複数のロボットが連携することで、人がロボットと対話している感覚を維持することが可能になり、長く対話を続けることができます。また、ロボットが人と対話した経験をもとに，別の人との対話を生成したり，人間同士の共通点といった関係性に言及したりする研究を行っています。これらにより、人間社会に関わることができるロボットを目指します。本研究で実現されるロボットは、教育、福祉、宣伝等における応用を進めているだけでなく、様々な対話サービスロボットの実証実験を行っています。

CommU:
JST ERATO 石黒プロジェクトの開発
社会的対話ロボット

ロボットの学習機能の研究

ロボットの学習機能の研究では、人間と同様に経験を通して学習するロボットに関する研究を行っています。強化学習やディープニューラルネットワークなどの機械学習手法を応用して、対話中に起こる多様な動作やコミュニケーション方法をモデル化する研究を実施しています。また，対話相手の選好や考え方などを推定しながら認知モデルを構築し、適応的にコミュニケーションの仕方を変化させる対話ロボットの開発も進めています。さらに、ロボットが人のような振る舞いを実現するために、音声情報による認識や音声情報に基づくロボットの動作生成にも取り組んでいます。これらにより、人間らしい知能を持つロボットを目指します。


学習するロボット

生命感・存在感の研究

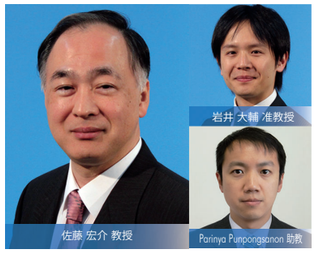
人と関わるロボットを開発する上で、生命感や存在感といった、人間の根本原理を追究する研究を行っています。コミュニケーションにおいて本質に関わると考えられるこれらの問題に対し、ロボットの開発によってアプローチすることにより、メカニズムも存在目的も生物とは異なるロボットが、ときに強い生命感や存在感を生じさせるのはなぜかという問題を考察しています。同時に、ロボット利用時における生体反応を調べることにより、存在感の意義についても考察しています。さらに、環境にロボットを組み込むことにより、人間の心理に多様な形で関わることができるロボットのデザインにも取り組んでいます。

生命感ロボット、機械人間「オルタ」

知能システム構成論講座　パターン計測グループ

サイバー五感で世界を感じる 未来を感じる

佐藤 宏介　研究室　https://www.sens.sys.es.osaka-u.ac.jp/

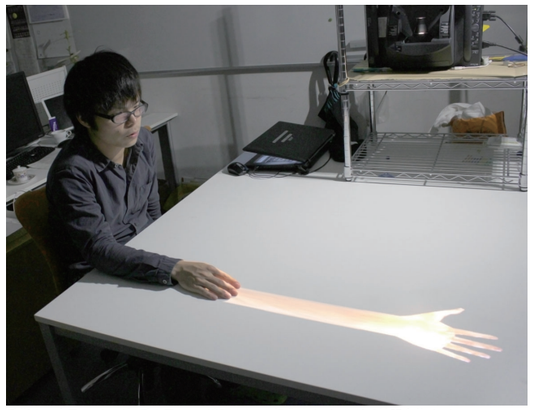


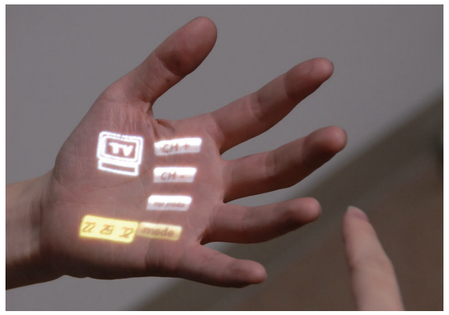
コンピュータは計算や記憶の面で人の能力をはるかに上回っていますが、人が普通に見たり、聞いたりする五感の能力はまったくと言っていいほど持っていません。我々の日常の仕事をロボットに任せるためには、ロボットが歩けるだけでなく周りを見たり聞いたりする能力が備わっている必要があります。そのために、広がった空間全体を一つのパターンとして扱う計測技術が求められています。知能システムの実現に必要なセンシング技術とそれに基づくパターン計測とその応用について、研究と教育を行なっています。

三次元空間の光と形のセンシング

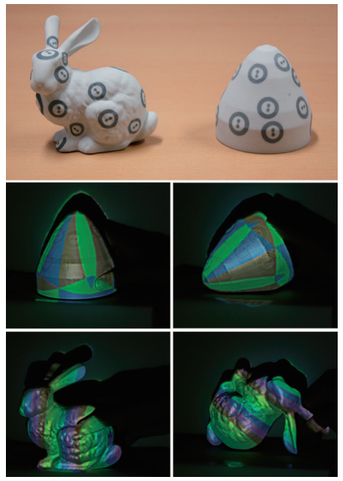
我々人間は三次元の世界に住んでいます。そこに降り注ぐ光が物体に色彩や陰影を与えて、我々の眼に飛び込んできています。人工システムが三次元の空間に存在しようとするならば、人間の眼が行なっているのと同様に空間の光と形をシステムがセンシングするしかありません。例えば、ロボットに荷物を運ばせようとしても、ハンドと物体との位置関係がオンラインで実時間計測されていなければ、ハンドの制御が行なえないのです。コンピュータと人との優しいインタフェースの実現にも、人の動作を三次元的に知る必要があり、ロボットの眼となる画像計測に基づいた三次元センシングが求められています。そこで我々は、人間の生活空間における三次元構造を効率よくセンシングする技術を、デバイスの開発から計測システムの構築、立体データの認識処理、その活用まで包括的に研究しています。コンピュータによって構造化された光を電子的なプロジェクタで投影することで、その光の歪みの像の画像処理から対象の形状を復元する方法など、非接触で高精度、高速、そして様々な環境で利用できる計測法を数多く提案しています。

これらの技術は、知能システムの実現を目標とし、研究としてだけではなく、既に工場での自動組み立てや外観検査に役立っています。また、映画館やテレビで見ている写実的なコンピュータグラフィクスの映像ソースとして貢献しています。


手指の三次元センシング：手の届かない遠隔のものを操作することができる拡張身体インタフェース



三次元実空間での掌・指先位置を計測することで、掌をリモコンとする新しいユーザインタフェースを研究しています


動的プロジェクションマッピングのための隠消型マーカー：
投影対象が移動・回転してもピタッと位置合わせして映像を投影するために、マーカーを埋め込んだ状態で 3D プリンタ印刷する手法を提案しています。マーカーはプロジェクタからの色補正技術で隠消 (目立たなく) します。

エジプト・ピラミッドの計測調査に取り組んでいます。

横臥療養者向けのVRシステムを開発しています。療養施設のベッドに寝たまま自宅の家族と会話したり昔の懐かしい世界を体験できます。

文化財を永久に保存するデジタルアーカイブ

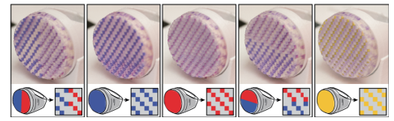
デジタルアーカイブとは、デジタル技術で永久に保存される貴重な文化財のデータベースのことです。古代の遺跡は風化により、また出土した遺物は酸化や虫害で、せっかく我々の前に現れたその姿を後世に残すことができません。発掘された遺跡の多くも、建設のために破壊や埋め戻しをされ、保存されることはまれです。そこで、最新の超高精細撮影技術に三次元計測技術や色彩再現技術を組み合わせて、文化財が持っているその形や質感をデジタル情報で保存する試みを行なっています。デジタル情報に変換することで、最新のメディア処理技術を応用して永久にそのあるがままの姿を保存し管理することができます。

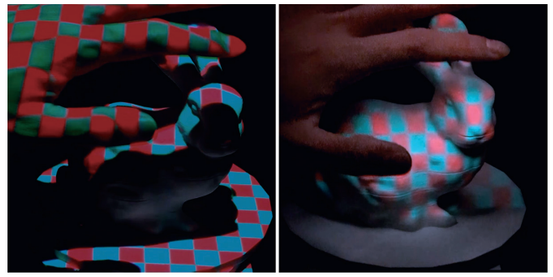
私たちは、大阪大学総合学術博物館だけでなく、国内外の博物館や文化財関係者と連携して、多くの遺跡や遺物の立体計測を行ない、文理融合の学際研究を進めています。

実世界と仮想世界を結びつける複合現実感

我々が住んでいる実世界と、インターネットを代表とするサイバーな世界とを継ぎ目なく重ね合わせる新たな技術として、複合現実感と呼ばれる研究分野が期待されています。目の前の世界はそのまま見えていますがその中にコンピュータが作った仮想の物体が違和感なく差し込まれたり、仮想の物体であっても実際の物体を覆い隠したり触ったりする感じを得ることができます。このような新しいメディア世界を創り出す技術の開発がいま世界で競われています。

カメラで撮影された実世界に仮想の物体を重畳してディスプレイに表示する際に、表示される画像と実世界とのズレを解消して、まるで透明な板を通して、仮想の物体を閲覧しているかのような表現技法を研究しています。さらに我々は、映像を投影するプロジェクタを実空間への情報提示や実物の見え方の変更に利用することを考え、これにより複合現実感を実現する技術を研究しています。目の前の物体の色や模様だけでなく凹凸までインタラクティブに描いたり変えたりすることができ、造形デザインや色彩デザインに役立っています。さらに、ネットワークを介して遠隔地の作業を支援する共有型の複合現実感システムや、コンピュータやディスプレイ一式を身につけるウェアラブル複合現実感システムなど、常に先進の道を歩んでいます。最近では、視覚だけでなく触覚や嗅覚に対する複合現実感の研究も進めています。


印刷後に色や模様を変えられる 3D プリンタ：紫外線に反応するフォトクロミック材料を使って、模様を切替可能な 3D 印刷を実現し、色彩デザインを支援します。


プロジェクションマッピングでは、プロジェクタと実物との間に遮蔽物があると影が生じてしまいます（左）。そこで、特殊な光学系を組み合わせて、多方向から映像を照射する仕組みを開発し、遮蔽されても影の生じにくいプロジェクションマッピングを実現しました（右）。

知能システム構成論講座　ロボットマニピュレーショングループ

ロボットによる作業の原理を解明する

原田 研介　研究室　https://www.roboticmanipulation.org

ヒトの手や腕の機能をロボットで実現するためには、力学と人工知能の両面からのアプローチが必要になります。例えば、ヒトは生まれてからの経験により、日用生活品をどのように扱うかの知識を獲得しており、ロボットで日用生活品の操作を行う場合は、ヒトがもっている先見知識をどのようにしてロボットで実現するかが重要です。また、ロボットは実際に日用生活品に触れて操作しますので、どのように力を加えたらいいか、またロボットの手をどのような構造にすると、力が加えやすくなるかなどのことも考慮する必要が生じます。

本研究室では主にロボットの動作計画、機械学習、人の作業動作解析、ハンドのハードウェアやセンサなどの研究が行われています。動作計画とは、ロボットの目標姿勢や目的とする作業などを与えると、それを実現するロボットの動作を自動的に生成する技術です。それに対して機械学習では、ロボットは何回も繰り返し作業に挑戦することで、徐々に作業のコツを覚えていきます。ハンドのハードウェアやセンサに関する研究として、関節の剛性を精密に制御可能な減速機や、把持対象の状態を正確に把握可能なセンサなどの研究が行われています。研究の応用先としては産業用ロボットや生活支援ロボットなどがあります。

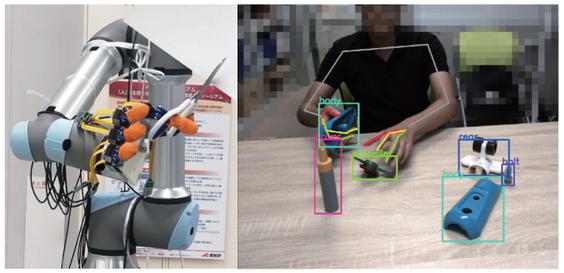


図 A　研究事例　左：多指ハンドによるハサミの操作、右：人による作業の識別

では、いくつかの研究事例を見てみましょう。まず、図 A（左）では多指ハンドがハサミを使って紙を切っています。本研究では作業を行うのに適切な動作パターンの切り替えを行っています。また、図 A（右）ではヒトによる作業を撮影しながら、ヒトがどのような作業をしているかを識別しています。さらに、図Bでは将棋崩しを題材とし、ロボットがバラ積み対象物をどのように認識し、そして、どのような操作を加えるかの計画を行っています。

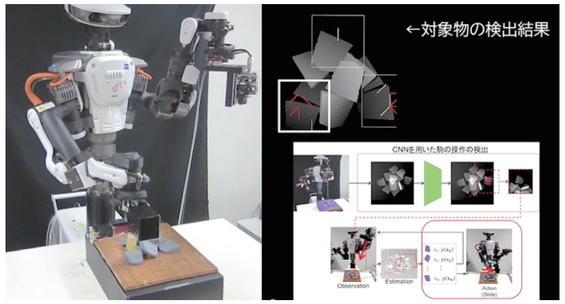
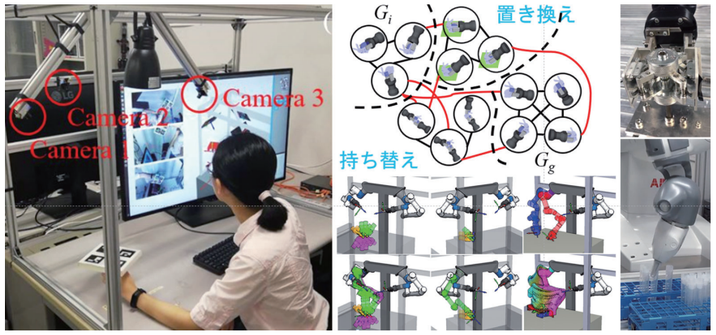


図 B　研究事例　将棋倒しを例としたロボットによるセンシングに基づく動作計画



また、ロボットマニピュレーションに関するメカトロシステムや自立作業ソフトなどの研究開発が行われています。本研究室では、従来のロボット用のソフトウェアの長所と短所を考え、WRSと呼ばれる新たなソフトの開発を始めました。従来のソフトと比べ、タスクレベル、動作レベル、把持レベルの同時計画と推理などの基礎要素が実装され、ロボットの自立作業において優れています。現在、開発したソフトはいろいろなロボットやメカトロシステムと接続でき、タスクと動作の同時計画で多種多量の柔軟生産作業に使われています。ヒトとロボットの共同作業、ヒトの教示に基づく作業動作計画、ロボットによるツールの操作を考慮した作業動作計画などの研究事例を図 C に示しています。

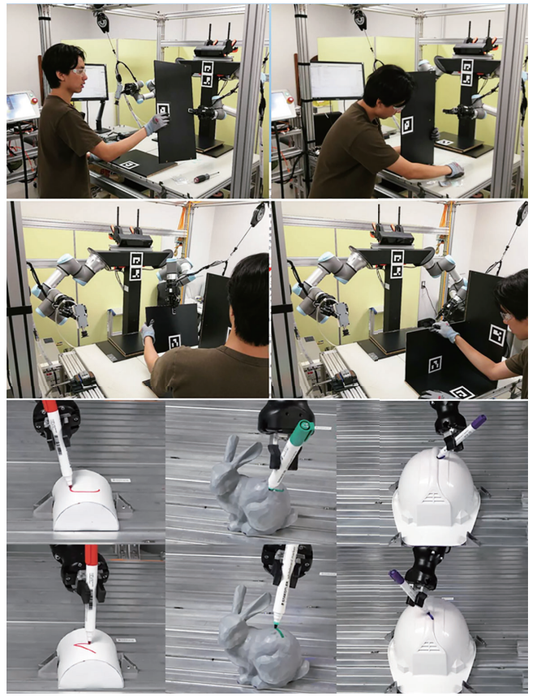


図 C　研究事例　左上：ヒトとロボットの共同作業の動作計画、右上：ヒトの教示に基づくロボットの作業動作計画　左下：検体の整列作業の自動計画、右下：ロボットがツールを使う動作の自動計画（曲面に描画する動作）

さらに、1/1000 秒ごとに計測・制御が可能なセンサとアクチュエータを独自に開発し、新たなロボット応用を提案しています (図 D 左上)。センサはロボット表面に搭載するタイプで（近接覚センサと呼んでいます）、対象物に触れずに位置・形状情報を取得します。この情報を基にロボットハンドの指先位置を制御することで、柔軟物を潰さずに高速キャッチすることや、リモコンの電池フタを組み立てる作業を実現しています (図 D 右上)。一方、アクチュエータは極めて力の伝達効率の良いもので、ロボットと物体との間で双方向の高速な力のやり取りを実現します。このアクチュエータを組み込んだロボットハンド (図 D 左下) は高速な力制御が可能となり、テーブル上に山積みされたトランプのカードを一枚正確に速くピックアップできます。

また、製品の仕様変更に迅速に対応できる組立ロボットシステムの構築を目的として、特に、次の３つの課題に取り組んでいます。

(1) 認識 AI を迅速に学習可能なフレームワーク構築（特に、自動アノテーションの実現）
(2) 多様な形状の組立部品を任意の姿勢で固定可能な汎用柔軟治具の開発
(3) 柔軟物を含む組立製品の CAD モデルのみからの組立順序の自動生成手法の構築

これにより、33 個という多くの部品かつ柔軟物を含む製品の自動順序生成に成功しています (図 E)。

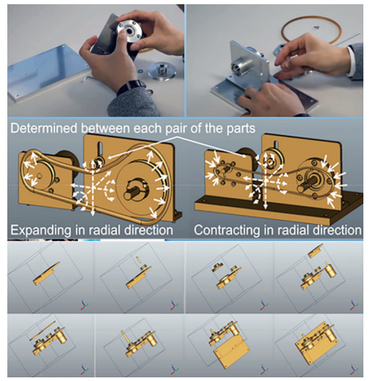


図 E　研究事例　組立順序の自動生成

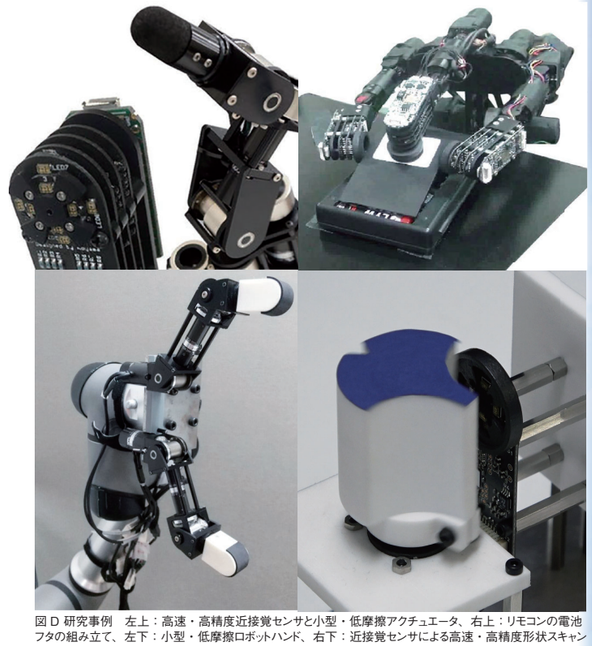


図 D 研究事例　左上：高速・高精度近接覚センサと小型・低摩擦アクチュエータ、右上：リモコンの電池フタの組み立て、左下：小型・低摩擦ロボットハンド、右下：近接覚センサによる高速・高精度形状スキャン

システム数理講座 複雑システム研究グループ

ネットワーク化社会を支えるシステム理論

潮 俊光　研究室　http://ushiolab.sys.es.osaka-u.ac.jp/

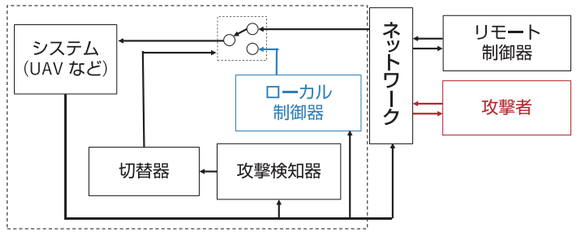
携帯電話、炊飯器、自動車、ロボット、発電所、ロケットなど、コンピュータ（マイクロプロセッサ）を構成要素としてもつシステムが今やいたる所に存在しています。さらに、最近では、ネットワーク家電のように通信ネットワークを介してシステム間で情報交換を行うネットワーク化システムへと発展しています。このように益々大規模化・複雑化するシステムの解析・設計に必要な基礎理論とその応用、並びに計算機制御のためのソフトウェア開発に関する研究と教育を行っています。

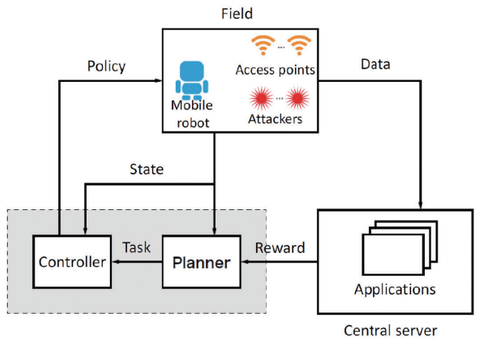
サイバーフィジカルシステムにおけるセキュリティ

現在では、システム制御のために計算機（マイクロプロセッサ）を用いることが一般的です。このような計算機を用いて制御されるシステムは組込みシステムとよばれています。また、最近の情報通信技術の発展により制御対象と制御器とをネットワークで接続するネットワーク化制御システムが多く存在するようになりました。ネットワーク化によりシステムのスマート化が可能となります。今後益々のシステムのネットワーク化、大規模化が進み、様々な物理システムがネットワークを介して計算機システムとデータ通信を行う複雑システムが多く出現するでしょう。このようなシステムをサイバーフィジカルシステム（CPS）と呼んでいます。

このような CPS の発展を背景とし、2010 年に発見されたイランの原子力発電施設を対象としたマルウェア Stuxnet を皮切りに、物理システムを対象とした攻撃が増加傾向にあります。一方で、従来のセキュリティに関する研究はネットワークシステムを対象としたものが中心となっており、物理システムも考慮したセキュリティの重要性が高まっています。物理システムにおいては、安全性、可用性が重要であり、単に攻撃を検知するだけではなく、攻撃の影響をシステムの機能を維持することが求められます。特に、ネットワーク化システムを対象とし、通信を介して送受信されるデータに対する改ざん攻撃が深刻となっており、対策が重要となっています。そこで、異常検知時に制御系を切り替えることにより安全性、可用性の両立を行うフォールバック制御の導入を行っています。フォールバック制御では、通常時はネットワークを介したリモート制御を行いますが、異常検知時にはローカルに設置されたフォールバック制御器に切り替えることにより、攻撃者によるデータ改ざんの影響を抑え、安全性と可用性の両立を行います。

また、通信データを対象とした攻撃として、妨害電波を発することで通信そのものを阻害するジャミング攻撃も深刻なものとなっています。そこで、強化学習に基づいた、移動ロボットを用いたアンチジャミングシステムについても研究を行っています。スマートホームなどのサービスでは、ネットワークシステムがセンサなどによって得られた情報を、移動ロボットなどを用いて収集、管理、制御を行う必要があります。従来のジャミング攻撃を考慮しない移動ロボットは、タスクを達成するために最短となるような経路を学習、選択しますが、ジャミング攻撃下では、通信そのものが阻害される可能性があるため、最短経路を選択するだけでは必ずしも目的を達成することができません。そこで、通信の成功率を考慮して強化学習を行うことで、ジャミング攻撃を避けつつ、短い経路を選択するようなシステムの構築に取り組んでいます。

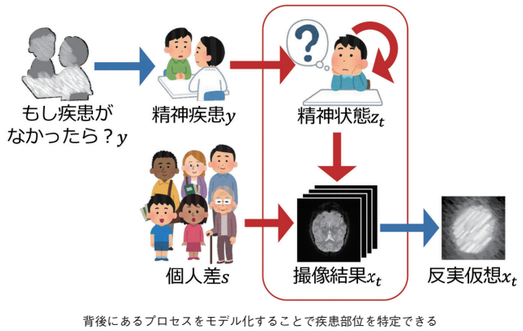




ヒトの知識を活かし信頼できる人工知能

近年の人工知能（AI）システムの飛躍的な進歩は、主に深層学習の進化に支えられています。深層学習は万能近似性と呼ばれる性質をもち、十分な量のデータと計算機があれば、データから任意の入出力関係を学習できます。しかし、このように自動的に学習された関数は人間の理解の範疇を越えており、人がその判断根拠を理解したり、問題が起こったときに修正したりすることができません。いかにして、深層学習から意味のある情報を得るのか、またヒトの持つ知識を与えることができるのかが、大きなテーマです。

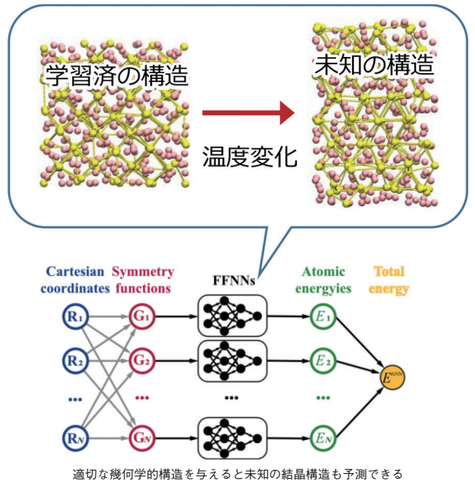
1つのアプローチがベイズ的深層学習であり、ベイズ的モデル化の枠組みに深層学習を組み込んだものです。医療診断 AI を考えてみると、単なる深層学習は被験者が疾患を持っているかどうかしか教えてくれません。しかし、ベイズ的深層学習は疾患の背後にあるプロセスをグラフ構造でモデル化し、「もし被験者が疾患を持っていなかったら?」という反実仮想のデータを生成することで、どの部分が変化したことで疾患があると判断したのかを可視化することができます。根拠を可視化することは、誤った判定が起こったときにその原因を突き止めたり、差別的な意思決定を防いだりすることも可能にします。その他にも、不確実性を定量化して結果の信頼性を評価することも可能です。



背後にあるプロセスをモデル化することで疾患部位を特定できる

もう1つのアプローチが幾何学的深層学習です。機械学習で扱いたい対象の背後には、多くの場合その性質を決める幾何学的構造が存在します。有名なものが画像の平行移動不変性・拡大縮小不変性です。画像を動かしたり大きさを変えたりしても、そこに写った物体の意味が変わりません。この知識を上手く深層学習に組み込むことができれば、学習に必要なデータも計算時間も大幅に減らし、性能を大きく向上させることができます。用途によっては単なる学習の効率化に留まりません。物理学におけるエネルギー保存則はシンプレクティック幾何と深い関係があります。この構造を持った深層学習を設計できれば、学習したモデルで物理シミュレーションを行った場合に、エネルギーが保存されることを保証することができます。結果の信頼性という点で、質的に大きな違いがあります。ある結晶構造で学習するだけで、温度変化によって現れる未知の結晶構造の存在すら予測することが可能です。

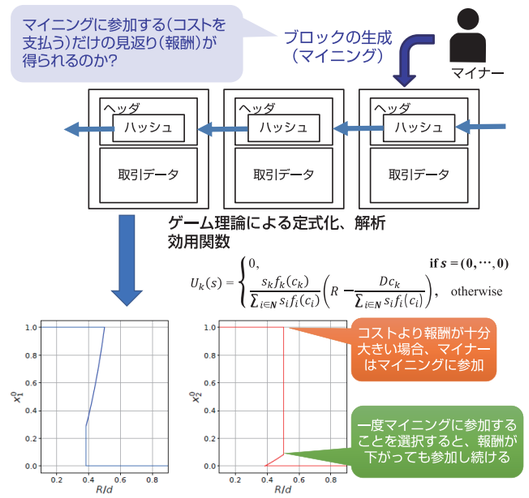
このように、深層学習の柔軟なモデル化を活かしつつ、解析対象が持つプロセスや性質を上手く制約として与える研究を行っています。



適切な幾何学的構造を与えると未知の結晶構造も予測できる

ブロックチェーンにおける意思決定問題

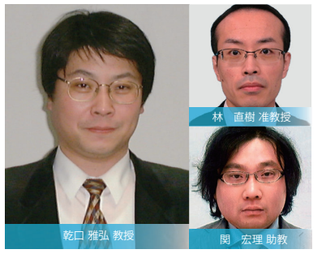
ブロックチェーンは、分散型台帳管理技術であり、ビットコインをはじめとした仮想通貨など、様々なサービスで利用されています。ブロックチェーン技術においては、マイナーが取引データからブロックを生成（マイニング）することにより報酬を得ます。このとき、暗号的ハッシュ関数を用いることによってブロック同士をチェーン状につなげていきます。ブロックチェーンネットワークでは、合意形成アルゴリズムとして一般的に Proof of Work（PoW）が用いられます。PoW においては、ハッシュ計算時に難易度を設定し、ブロック生成に大きな計算コストを課すことによってブロックチェーン全体の改ざん耐性の向上を行っています。一方で、マイナーにとっては、ブロックの生成に要するコストと、ブロック生成成功による報酬とのバランスが重要であり、マイニングに参加するか、しないかの意思決定が発生します。そこで、ゲーム理論に基づいてマイニングの意思決定問題の定式化、解析に取り組んでいます。



システム数理講座 システム計画数理研究グループ

知的で柔軟なシステム計画技法の開発

乾口 雅弘　研究室　http://www-inulab.sys.es.osaka-u.ac.jp/



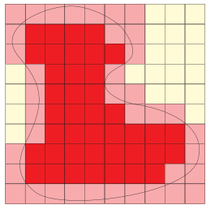
本研究室では、従来の決定科学やシステム技法に加え、情報科学や知能工学を導入した知的意思決定支援技術、システム計画技法の開発を目指しています。意思決定論や数理計画法、ファジィ理論、ラフ集合、アルゴリズム論、ゲーム理論などの基礎理論を研究するとともに、これらに基づいた新しい意思決定法、システム評価手法、モデリング、最適化手法、データ解析手法、社会システム技法、分散最適化法、自律分散アルゴリズム、ソフトコンピューティングなどの開発と応用を行っています。

不確実情報の柔軟な取り扱いとシステム計画への応用

意思決定が困難になる原因の一つとして、不確実性や曖昧さがあげられます。すなわち、決定の結果得られる利得や決定 (行動) に要する費用が正確かつ確実に推定できない場合や、複数の評価基準の存在のため判断基準が明確化できていない場合などです。また、人間による評価が言葉を介してなされるため、言葉に起因する曖昧さにも対処する必要があります。これらの不確実性や曖昧さ、特に非確率的な不確実性に対処するため、ファジィ理論やラフ集合、Dempster-Shafer 理論などの不確実性科学について研究するとともに、不確実性の下での意思決定法や数理計画法などを取り扱っています。例えば、生産計画問題では、目的関数や制約条件の係数となる製品 1 個当たりの利益が 100 円と明確に与えられてきましたが、不良品の発生や売れ残りなどを考慮すれば現実には「だいたい 100 円」と不明確になる場合があります。また、制約条件となる機械の実働可能時間などは 7 時間までと明確に与えられる場合が多いのですが、残業などを考慮すれば、実際には、「だいたい 7 時間まで」と柔軟に与えられる場合があります。このような係数の不明確さや制約の柔軟性をファジィ集合を用いて表現したファジィ数理計画問題の取り扱いと解法を研究しています。一方、多基準意思決定問題と呼ばれる複数の評価基準のもとでの決定問題では、各評価基準と総合評価との関係を求めることは重要な課題となっています。この課題に対して、意思決定者の選好判断に関する多くの事例に基づき、各評価基準と総合評価との関係を決定ルールの形で抽出する方法を、ラフ集合に基づき研究しています。この課題に対して、意思決定者の好みや評価を数理モデルで表現する研究も行っています。決定者が評価した多くの事例から、単純な if-then ルールで評価モデルを表す方法を検討し応用する研究がその一つです。データの矛盾をどのように扱っていくか、どのようなポリシーで単純化するかが重要なポイントとなります。もう一つは、いくつかの代替案ペアに対して、二つの案のいずれを好むかを示した選好情報から評価モデルを作成する研究です。情報の不足や非整合性を適当に処理し明確化したモデルを求めるのではなく、曖昧さを許容するモデルを求めています。あやふやな部分をモデルに取り込むことで、いい加減に評価しないモデルを作成し、これを決定支援に役立てる方法を検討しています。

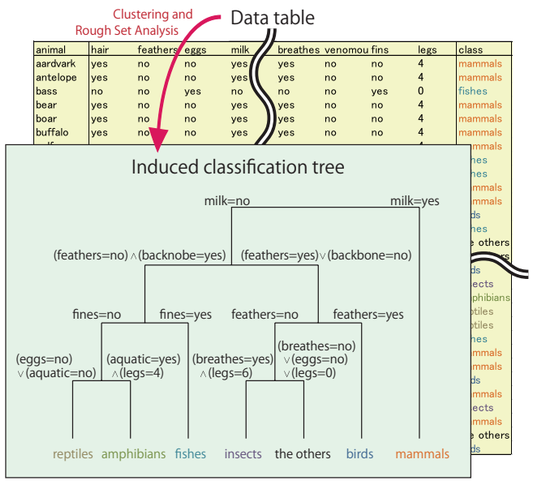
ファジィ集合

ファジィ集合は境界がはっきりしない集合



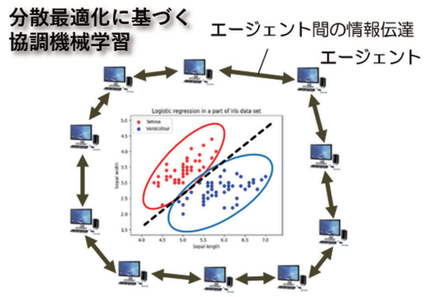
ラフ集合

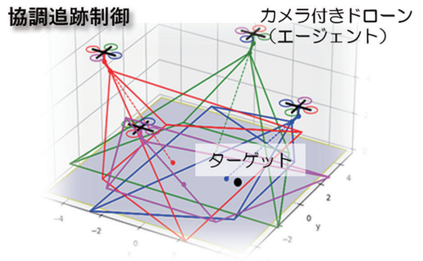
ラフ集合はブロックで集合を内と外から近似したもの

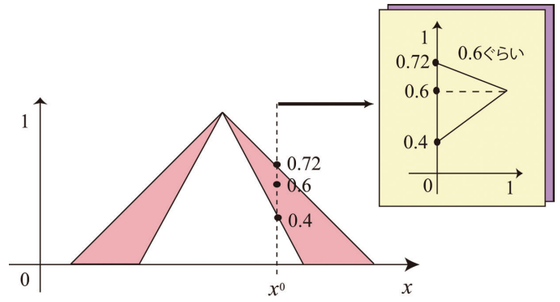


マルチエージェントシステムによる分散最適化と協調制御

自律的に意思決定を行う行動主体をエージェントといい、多数のエージェントから構成されるシステムをマルチエージェントシステムといいます。マルチエージェントシステムでは、エージェントが相互に影響を及ぼし合うことでシステム全体の振る舞いが決まります。IoT やビッグデータ処理に代表されるように、近年、多数のサブシステムが有機的に結合した大規模システムにおける最適化や制御の重要性が増しています。このような大規模システムは、個々のサブシステムをエージェントとし、サブシステム間のつながりをネットワークで表現することで、マルチエージェントシステムとしてモデル化できます。本研究課題では、このような大規模ネットワーク化システムに対し、ネットワークを介した相互作用によりサブシステム同士を巧みに連携させ、自律分散的にシステム全体としての目的を達成するための分散最適化や協調制御について、数理的アプローチによる基礎理論の構築を行っています。また、複数のエージェントで自律分散的に学習を行う協調機械学習への分散最適化の応用やセンサネットワークへの協調制御の応用などにも取り組んでいます。





データを柔軟に処理するソフトコンピューティングと計算知能

日常、我々が用いている言葉や思考、判断は極めて曖昧です。たとえば、「彼は非常に背が高い」、「もう少し右」、あるいは「おそらく速い」のようなものです。このように人間は極めて漠然とした言葉を使ったとしても、それで意味が通じ、理解することができます。一方、コンピュータは高速な計算が得意なものの、「見る」、「聞く」、「直感的に理解する」というような人間が簡単に行えるようなことは苦手としています。このように人間は緻密な計算は苦手であるものの大まかな思考や判断を得意としていることから、コンピュータのような過度な精密さを求めるよりも、扱いやすさ、頑健性、低コストを重視する情報処理を目指そうとする研究としてソフトコンピューティングが存在します。このようなソフトコンピューティングの概念により、これまでコンピュータで行いにくかった曖昧さを含んだデータを処理できるようになりました。膨大で複雑であり、曖昧性を含むデータを取り扱うことが要求される昨今で、柔軟な処理が可能であるソフトコンピューティングはデータ処理において多大な成果を挙げることが期待されています。ソフトコンピューティングを構成するものとして様々な方法論が存在しますが、代表的なものには「ファジィシステム」、「ニューラルネットワーク」、「進化計算」と呼ばれる計算知能手法が注目を浴びています。このような計算知能手法による意思決定支援ができるようなモデルの提案を行い、医療診断、バイオインフォマティクス、経済データ分析、RoboCup サッカーシミュレーションなど、様々な分野へ応用するための研究を行っています。また、計算知能手法を安全・信頼して使用するための理論的性質の解明も行っており、理・工・医・生命・情報科学を横断するような研究を目指しています。