

# 情報通信系

## 1. 情報通信系とは

コンピュータとネットワークを中心に進展してきた情報化の流れは、私たちの社会や生活を大きく変えました。今や我々の社会生活は、情報通信インフラなしには考えられません。このような中、情報通信工学は豊かで充実した情報環境を築くための基盤技術となっています。情報通信系では、より良い情報環境を創り、その基盤を支える研究者・技術者を育成することを目的としています。

そのような研究者・技術者に求められる資質は、コンピュータのソフトウェアとハードウェアに関する理論と技術、インターネットや移動体通信に代表される通信ネットワーク技術とその情報の流れを数学的に体系化する情報理論、人間中心の情報環境構築に必要な感覚情報・生体情報・知能情報・メディア情報についての知識と技術を身に付けていることです。情報通信系では、これらの知識・技術を系統的に学習できるように教育課程を準備しています。

現代の社会基盤である情報環境を支える情報通信技術者は、あらゆる分野で活躍するチャンスがあり、またそれが社会から求められています。本系で与えられる専門的な科目にとらわれ過ぎることなく、情報通信工学以外の他分野、例えば人の文化や社会を対象とする人文社会科学などにも興味を持ち、幅広い知識を身に付けていくことを情報通信系では奨励してします。

## 2. 学修内容

情報通信系学修課程には、通信・ネットワーク・セキュリティ、信号処理・集積回路・計算機システム、メディア・知能理解や生体情報処理を含む人間情報処理などの各専門分野への方向づけがあります。2年生から3年生にかけて履修する系専門科目には、研究分野に対応した科目（通信・ネットワーク・セキュリティ科目群、信号処理科目群、集積回路・計算機科目群、人間情報科目群）、すべての分野に共通して必要となる基盤数理を学ぶ科目（基盤数理科目群）、プログラミングと実験を含む必修科目などがあります。

系に所属した最初のクォーターに開講されている「情報通信概論」を履修することで、情報通信工学分野の専門領域を俯瞰し、これからどのような分野を学んでいくのかを知ることができます。そのほか、2年生で主に履修する200番台科目には情報通信工学の学問の基盤となる科目が配置されています。特に「確率と統計」「離散構造とアルゴリズム」「信号とシステム解析」「オートマトンと言語」の4科目は、基礎学力をつけるための重要な科目であり、効果的に知識・技術を身につけるために演習を伴っています。

3年生で主に履修する300番台科目には、専門分野に応じた多くの科目が用意されており、自分の興味のある専門分野を中心に集中的に学ぶこともできます。

これらの講義を通じて、基礎を系統的に学び、情報通信関係技術の科学と工学の分野で幅広く活躍するために必要な知識と技術を身につけることができます。また、関連する最先端の話題に触れることもできます。

## 3. 教育研究分野

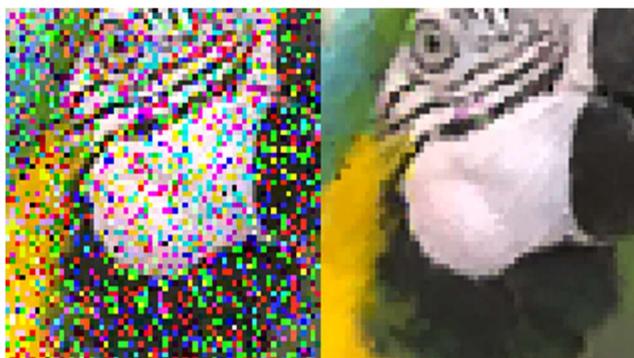
情報通信系の学生は3年生最後のクォーターになると各研究室に配属され、4年生にはそれぞれの研究室の専門分野におけるテーマについて学士特定課題研究をおこなうこととなります。以下では、情報通信系における主な教育研究分野を紹介します。

## (1) 情報通信・信号処理分野

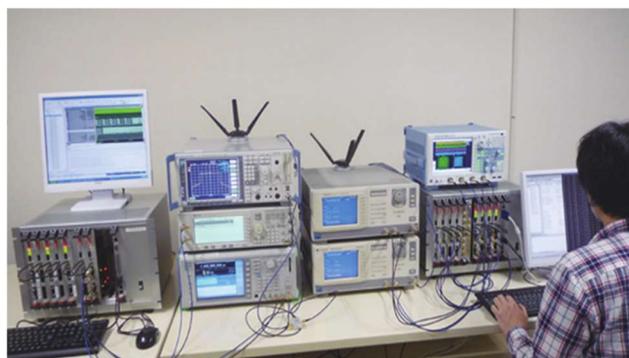
日常生活の中で気軽に利用しているスマートフォンやインターネットですが、実はこれらには、情報通信と信号処理の技術が至る所に組み込まれています。

例えば、スマートフォンでは、音声・画像などの情報源に応じてデジタルデータへ変換する「情報源符号化技術」、電波のレベル変動や雑音が発生する無線通信路でも正確に多くの情報を送ることができる「通信路符号化技術」、干渉などの外乱要因を抑圧する「適応信号処理技術」及び信号処理システムを最適に制御する「最適化アルゴリズム」、同じ携帯端末でもソフトウェアを入れ替えるだけで新しい通信方式の利用が可能になる「ソフトウェア無線技術」、複数の送受信アンテナを用いて多くの情報を送ることができる「MIMO 伝送技術」、端末の電池を長持ちさせる「省電力化技術」、携帯端末からのインターネットアクセスを実現する「無線 IP ネットワーク技術」、正規ユーザであることの認証や暗号技術を用いて盗聴・改竄を防ぐ「セキュリティ技術」などの技術が使われています。最近では、上記の無線伝送技術が次世代移動通信システムの 5G へ導入されていますし、信号処理技術は現代のデータサイエンス・AI を下支えしているため、ライフエンジニアリングの領域でも不可欠な共通基盤となっています。また、IoT などの無線端末では有線系以上にセキュリティを確保しなければなりません。その他にも、劣化画像から元の画像を復元する「画像復元技術」なども利用され始めました。

インターネット関連の技術としては、さまざまな問題を解決するための新しい「ネットワークアーキテクチャ（構成方法）」、多様なユーザの要求にこたえるための「ネットワーク品質制御技術」など、枚挙にいとまがありません。特に、無線系及び有線系を含むコアネットワークをソフトウェアで集中制御する SDN は、将来の通信の基盤となっていくでしょう。



信号処理による観測画像(左)からのノイズ除去(右)

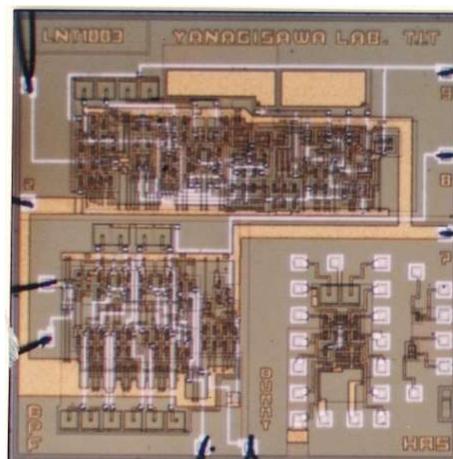


信号処理を駆使した無線信号伝送の実験系

## (2) 集積回路・計算機分野

様々な電子機器に囲まれた現在の高度情報化社会は、コンピュータ（計算機）とそれを支える大規模集積回路（VLSI）の目覚ましい発展に支えられています。

集積回路が誕生したのは1950年代後半で、すでに半世紀以上が経過しましたが、集積回路の微細化・大規模化はとどまるところを知らません。現在では人間が見ることができる可視光の波長の下限（約380 nm）の30分の1以下のサイズのパターンがウエハ上に描画され、数百億もの素子が集積され回路として動作しています。その結果、例えば、コンピュータは将棋や囲碁などでは名人を凌駕する実力を持ち、自動運転技術などに不可欠な物体認識などでは人間と同等以上の精度を少ないエネルギーで達成できるようになってきました。これらは、回路の微細化・大



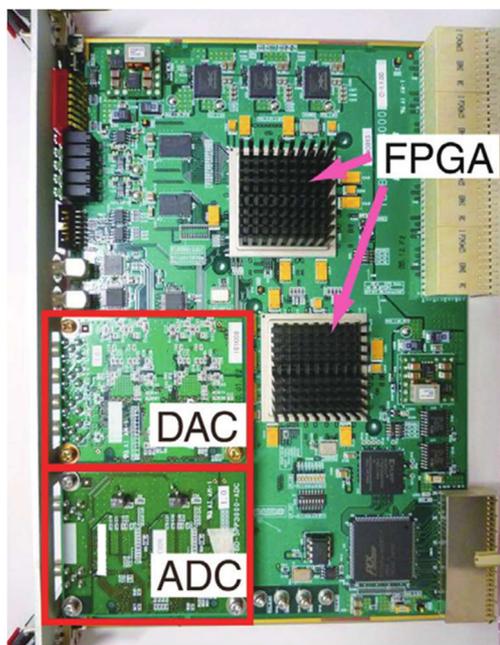
アナログ集積回路

規模化だけで達成できるものではありません。大量の素子を効率よく用いて低コスト低エネルギーで必要な処理を実行することを可能にする様々な回路技術，設計技術などの研究開発に支えられ達成されてきました。

これまで開発されてきた技術は主に，厳密に定められた規則・仕様に沿って大量の処理を効率よく実行するための回路の高速化・省電力化技術や設計期間を短縮するための回路合成技術，逆に，効率よい処理を可能とする規則・仕様を定める計算機アーキテクチャなどの技術です。その結果，画像圧縮やシミュレーションなど，大量ではあるけれど単純な処理で実現可能であれば人間の能力を遥かに超える性能を達成しています。一方，規則・仕様を完全に定義することが困難な場合には，人間の能力以上の性能を得ることは困難でした。数十，数百の規則でよいならば人間が全容を把握し規則を定め，コンピュータが対応することは比較的簡単です。しかし，数億の規則が必要ならば人間が把握するのは不可能で，コンピュータでも対処は困難です。将棋や囲碁の規則はそれほど多くありませんが，ある盤面でどの手を採用するかを規則で定めようとすると数億の規則ではとても足りません。様々な状況で物体が犬であるか猫であるかを，誰もが間違いなく区別するためにはどのくらいの規則が必要か，どのように規則を定めたらよいか，も明らかではありません。

現在，規則・仕様を厳密に定めることが困難な処理に対する技術開発の重要性が高まっています。また，微細化の進展にともないばらつきの影響も大きくなり，ある処理を確実に高速低エネルギーで実行することも困難です。このような状況の中で，人工知能と呼ばれる規則・仕様を定める技術が脚光を浴び，場合によっては人間の能力を凌駕するようになってきました。しかし，それらがより多くの場面で利用できるようになるまでには，これから様々な技術的な課題を解決しなければなりません。

「集積回路・計算機分野」の研究室では，量子回路・ナノ回路など将来の重要な技術に関する理論的な可能性と限界を明らかにする研究，高度情報化社会との関わりに必要不可欠なアナログ集積回路に関する回路構造や設計技術に関する研究，必要に応じて回路構成を変更できるリコンフィギュラブルシステムや回路動作を適応的に変更する適応計算，ハードウェアセキュリティ，設計自動化技術，組み込みシステム，高性能VLSI システムなどに関する研究などに取り組んでいます。これまで微細化・大規模化の限界が唱え続けられてきましたが，様々なブレークスルーによって限界を超えてきました。今後も回路の3次元化や量子素子の登場など様々なブレークスルーによって限界を越えることで，集積回路・計算機分野を取り巻く環境・状況が大きく変化し続けることが予想されます。現在および将来の重要な技術に関する理論研究から実用研究まで，素子レベルからアーキテクチャレベルまでの様々な研究を通じて，今後も次々に登場する新たな環境・状況に対応し高度情報化社会の発展に寄与します。



FPGA を用いた高速信号処理ボード



電波望遠鏡用信号処理装置

### (3) 人間情報システム分野

高速大容量の情報処理だけでなく、我々人間に寄り添った人間に優しい情報処理が現代社会には必要とされています。計算能力だけでなく、人とコミュニケーションできる機械を実現する手法は重要です。高度高齢化社会を迎えた今、人間中心の情報処理システムはますます必要とされており、これまでにない新しい研究領域を形成しています。人間情報システム分野は、人間の情報処理活動の限界を拡大するメディア情報処理、人間の情報処理活動のアルゴリズムを解明する感覚情報処理、人間の情報処理活動の基盤技術を創造する知的情報処理、人間の情報処理活動の計測制御技術を開発する生体情報処理、持続的な社会実現につながる情報技術の探索・社会実装に関する方法論を含みます。具体的には、自然言語処理、医用画像工学、脳活動信号処理、画像処理、光工学、ヒューマンインタフェース、バーチャルリアリティ、感性情報処理、音声情報処理、視覚情報処理、機械学習、GPGPU 向けコンパイラ、サービスデザイン手法などを研究しています。以下に具体的な研究例を紹介します。

#### ◆ メディア情報処理

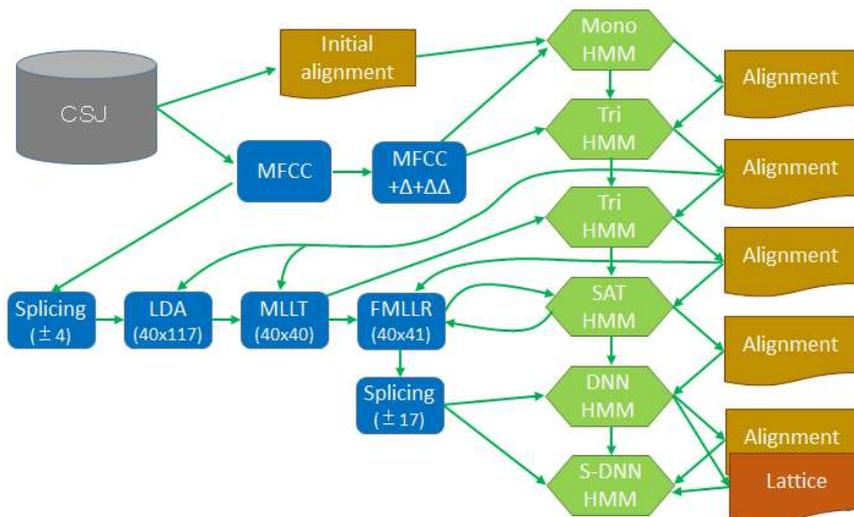
人間の社会生活における情報処理活動やコミュニケーションの範囲を拓げる機能を持った機器やシステムの実現を支えているのがメディア情報処理技術です。情報メディアとは情報伝達に関わるキャリア(媒体)を意味し、会話音声などの音声メディアを扱う音声情報処理、文字やテキストなどの言語メディアを扱う自然言語処理、それに写真や動画などの画像メディアを扱う画像処理・イメージング・ディスプレイはメディア情報処理の基盤技術となっています。そしてこれらのメディア情報処理においては、人間の視覚・聴覚や心理特性を考慮した設計や評価が求められています。また、最先端のメディア情報処理では、機械学習、深層学習、人工知能、ビッグデータ解析といった新しい手法が多く取り入れられています。

スマートフォン上の音声検索や音声対話エージェントが馴染み深いものとなり、街中でも人間と会話をしながら仕事をこなすロボットをあちこちで見かけるようになりました。外国人観光客や国際的なイベントが増える中、自動翻訳も普及しつつあります。さらに、医療や介護の現場では自動診断や介護・ペットロボットの有用性が認識されはじめています。また、同様の技術は工場や社会インフラの品質検査やモニタリング等にも幅広く活用されつつあります。今後日本を先頭に世界的に少子高齢化がますます進行し労働人口が急速に減少していく中で、生産性を向上させることはワーク・ライフバランスを改善しつつ豊かな生活を維持し発展させるためにも不可欠です。これらの技術はそのためのソリューションとしても期待されており、産学連携も積極的に行っています。

ここで、人間が話した言葉を理解し、さらに発話内容に応じて適切な応答を人間の言葉で返す機能を持った音声対話機能を実現することを考えてみます。これには、まず音声信号をテキスト情報に変換する音声認識、変換されたテキストから意味情報に変換する言語理解、意味内容から適切な応答を返すために必要な様々な処理、応答内容をテキストに変換する言語生成、そしてテキストから音声波形に変換するテキスト音声合成の機能をそれぞれ実現することが必要です。近年のシステムでは、これらの機能はいずれもニューラルネットを用いて実現されています。



計算ホログラフィーによる空中に浮かぶ  
立体像のディスプレイ



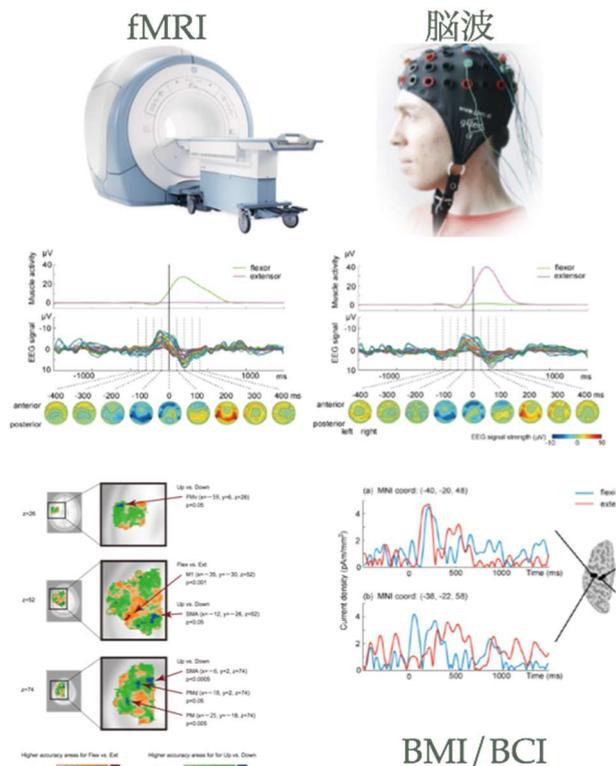
### 高性能日本語音声認識システム(Kaldi CSJ レシピ)の構成

一般に、ニューラルネットを用いたシステムを機能させるためには、事前に大量の学習データを用いてニューラルネットを学習させることが必要になります。設計して実装したばかりの音声対話システムが何も行うことができないのは、生まれたばかりの赤ん坊が何も話せないのと同じです。現在の音声認識技術や音声合成技術は既に一定の条件下において人間に匹敵する認識性能や本物の音声と区別できないレベルの自然性を達成していますが、学習の柔軟性の観点からはまだまだ人間に遠く及んでいません。それぞれのサブシステムにおいて想定される入力とそれに対する理想的な出力をペアにした学習データを大量に用意する必要があり、結果として利用方法が学習時の想定から外れるとうまく動作しなくなってしまうとともに、意味理解も表面的なものに留まっている問題があります。そこでシステムの性能を高めるとともに、学習を柔軟で強力なものにするための方法について取り組んでいます。

#### ◆ 脳機能の解明とその応用

脳には環境の情報を知覚するための感覚器があり、様々な入力信号を受け取っています。代表的な入力としては、視覚、聴覚、触覚などがありますが、たとえば、視覚と触覚の情報にあいまいな情報が入力された場合、それぞれの器官が知覚した感覚とは異なる感覚が生じる錯覚と呼ばれる現象が起こります。このような現象を理解するには、それぞれの入力器官の情報処理機構だけではなく、脳がどのように情報を統合して環境を理解しているのかを調べる必要があります。また、脳は出力として体を動かすための指令を筋肉に送っていますが、普段体を動かすときにどの筋肉を動かしているのかを意識している人はあまりいないと思います。子供の頃から体を動かしながら自然に学習してきたため、どのように技能を身につけたのかを自分自身で知ることができないのです。

脳がどのように体を制御しているのかを計算論的神経科学と呼ばれる方法で解明する研究では、計算機シミュレーションにより運動を予測するモデルを機械学習によって作成するシステムや、筋骨格系のモデルを用いて生体信号からロボットなどを動かすシステムを

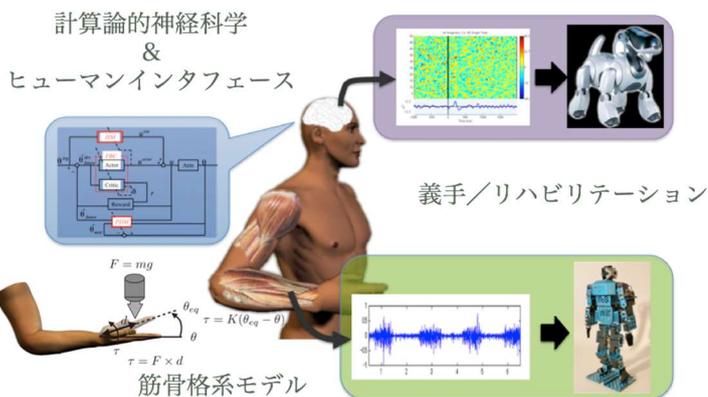


BMI/BCI

作っています。また、なぜ人は重さを感じるのかといった主観的な感覚を客観的に調べる研究も行っています。

非侵襲脳計測手法である、脳波や磁気共鳴機能画像法 (fMRI) などを用いて計測した信号か脳内の有用な情報を取り出し、人の運動機能や発話、感情などの高次機能の解明に関する研究も行われています。

また、脳波でロボットを動かしたり、筋肉の活動だけで音楽を演奏したり、様々なヒューマンインタフェースへの応用に関する研究も行っています。これらの成果は工学的な応用だけでなく、筋電義手やリハビリテーションなどへの医療への応用も視野に入れています。



◆ ヒューマンインタフェース

五感情報を通じて人間と機械 (コンピュータ) が対話しその調和を図っていく分野ですが、その中の一例として嗅覚に注目した研究を行っています。視聴覚の研究はたくさんありますが、嗅覚に関してはまだこれからの分野であり、今後発展が期待される分野です。視覚情報の場合ビデオカメラでキャプチャしてテレビ画面で情報再現を行うように、匂いセンサや嗅覚ディスプレイで嗅覚情報のセンシング、記録、再現を実現することを目指した研究を紹介します。

嗅覚ディスプレイとは人間に対して香りを提示する装置です。多数の成分の香りをリアルタイムで任意の比率で調合する機能を有しています。以前にはデスクトップ型 (写真1) を開発し、メーカーが既に外販しています。また、最近ではヘッドマウントディスプレイと組み合わせたウェアブル嗅覚ディスプレイ (写真2) も開発されました。この装置を用いるとバーチャルリアリティの世界で香りを体験できます。このような嗅覚ディスプレイを用いると香りを伴う様々な楽しいコンテンツを作成できます。図1はアイスクリームの様々なフレーバを擬似体験するバーチャルアイスクリームショップです。

嗅覚に関するヒューマンインタフェースのもう一例は、匂いセンシングシステムです。写真3は複数の水晶振動子センサの並べてセンサアレイを構成したものです。このセンサアレイの出力パターンをパターン認識により匂いを識別します。パターン認識には機械学習を使用します。また、生物の細胞を匂いセンサ素子として利用したシステムの開発も行っています。生物の仕組みを取り入れたセンサを開発することにより、生物に近い性能を持つセンサの実現を目指します。

これらの研究では、ソフトウェア、電子回路、集積回路、機構部品などの技術を駆使して“香り”という



写真1. デスクトップ型嗅覚ディスプレイ (既にメーカーが外販)



図1. バーチャルアイスクリームショップ (嗅覚ディスプレイコンテンツ)



写真2. ウェラブル嗅覚ディスプレイ



写真3. アレイ化匂いセンサ

従来の情報系にない新しいフィールドを切り開いていきます。研究を通じて、多くのものづくりを体験しハードよりの情報系の基礎が身につきます。また、人間が楽しめるコンテンツを制作するので、柔軟な思考能力も必要です。

この分野は境界領域で、情報やエレクトロニクスだけでなく、生物、化学、環境計測、機械、制御、医学、歯学、芸術等の分野と関連があります。これらの情報・電気以外の様々な分野とも関わりを持てるので広い視野を養っていくことができます。

#### ◆ 体験型メディア

バーチャルリアリティや拡張現実、体験を作り出し、拡張します。体験は、一人称視点で本人だけが感じる主観的な直接的な経験であり、人の知識の基本です。文章、図画、映像等のメディアを通して得た知識や他者の体験の伝聞とは異なります。体験を作り出すためには、体験内容（＝バーチャル世界）と、体験のためのヒューマンインタフェースが必要です。応用としては、感覚や存在感の伝達、人間同士の対話に近い自然な情報伝達といったコミュニケーションと、愛着や情動をひきだすことや、ゲーム、スポーツ、音楽等の体験など、楽しみを作り出すことに注目しています。バーチャルリアリティ世界の中身のデータを用意するモデリング、データを時間とともに変化させるシミュレーション、感覚提示と運動計測によりバーチャル世界を主観的に体験させるヒューマンインタフェース中心に、自然な視線や動作で対話できるキャラクタ、物に触れた感触を伝える力触覚ディスプレイ、触感の良いぬいぐるみロボットなどの研究を行っています。



#### ◆ サービスデザイン

情報通信技術を用いて社会の課題を解決するには、その技術がどのような環境/場面で誰に利用され、どのようなニーズに応えるものなのか、という技術を利用する「人」の視点が重要です。また、技術を用いたサービスを創出し持続可能な社会を実現するためには、多様な主体と連携し、対話を重ねることも不可欠です。サービスデザイン分野では、デザイン思考や人間中心設計の考え方にに基づき、多様な人の視点・専門性を活かし、技術の活用方法を議論する共創対話手法や、それらを社会のシステムとして機能させていくための仕組みや方法論についての研究を行っています。



図: 多様な参加者による共創場面の一例。写真では、対話内容をリアルタイムに可視化・投影するシステムの受容性も同時に評価中

#### 4. 担当教員

情報通信・信号処理分野		
教授	府川 和彦	無線通信の伝送技術とネットワークの研究／特に変復調技術の改良のため、新規のデジタル信号処理、適応フィルタ、確率統計アルゴリズム等を開発
特定教授	須山 聡	移動通信／無線通信技術／無線通信ネットワーク
准教授	西尾 理志	無線ネットワーク／機械学習／無線センシング／センシング・コンピューティング・ネットワークの融合
教授	植松 友彦	データ圧縮や高信頼通信の限界を示す新たな情報量の尺度の提案／情報源や通信路の符号化法／乱数生成法／ネットワーク情報理論の展開
教授	松本 隆太郎	量子情報／符号理論／情報理論的情報セキュリティ
准教授	實松 豊	無線通信／多元接続方式／物理層セキュリティ／深層学習によるMRI再構成
教授	尾形 わかは	暗号理論／機能付き公開鍵暗号／機能付きデジタル署名／ユーザ認証／秘密分散／暗号プロトコル／マルチパーティ計算
准教授	笠井 健太	符号理論／LDPC符号／空間結合符号／グラフィカルモデル／噴水符号／量子誤り訂正符号／有記憶通信路
教授	山岡 克式	情報通信ネットワーク／インターネット／電話網／新世代ネットワーク／マルチメディア・アプリケーション通信技術
教授	中山 実	知覚認知や言語理解などの人の情報処理におけるヒューマンファクタの検討を、眼球運動や行動反応情報による基礎研究と教育学習などでの応用研究として実施
教授	山田 功	信号処理、最適化、逆問題、データサイエンスの領域に現れる共通課題解決のためのアルゴリズム開発と応用
教授	スラヴ アキス・コンスタンティノス	信号処理／機械学習／データアナリティクス
教授	杉野 暢彦	GPGPU 向けコンパイラ、自動コード並列化コンパイラ、信号処理システム実現

集積回路・計算機分野		
教授	一色 剛	システムオンチップ設計検証自動化／高機能プロセッサ設計自動化／高セキュリティVLSIアーキテクチャ
教授	高橋 篤司	高性能VLSI設計システム／設計自動化(EDA)／物理設計／製造容易化設計(DFM)／次世代リソグラフィ／グラフ理論／組合せ最適化／同期回路／適応計算
准教授	原 祐子	組込みシステム／Internet-of-Things (IoT)／高位合成／ハードウェア・ソフトウェア協調設計／設計自動化(EDA)／プロセッサ／ハードウェアセキュリティ／FPGA
教授	高木 茂孝	アナログ電子回路、特にアナログ集積回路に適した回路構造や最適化設計手法の提案、高性能化、さらには低電源電圧化、低消費電力化への対応等に関する研究
准教授	中原 啓貴	リコンフィギャラブルシステム／FPGA／ディープラーニング／多値論理／電波望遠鏡用信号処理装置
准教授	佐々木 広	計算機アーキテクチャ／コンピュータセキュリティ／コンピュータシステム／IoT／ワークロード解析

人間情報システム分野		
教授	金子 寛彦	視覚情報処理/空間認識/両眼立体視/異種感覚情報統合/眼球運動/視覚インタフェース/感覚の多様性
准教授	永井 岳大	色彩工学/質感科学/視覚心理物理学
教授	小池 康晴	計算論的神経科学/生体工学/腕の運動制御機構/ヒューマンインタフェース/主観的な感覚の解析
教授	吉村 奈津江	脳活動情報デコーディング(運動・感情・言語など)/ブレイン・マシン・インタフェース/機械学習/脳波/fMRI
特定教授	佐藤 いまり	コンピュータビジョン/医療画像解析/質感解析/コンピュータグラフィックス
教授	熊澤 逸夫	画像処理/画像認識/ユーザインタフェース/触覚情報提示技術/光学センサ/バーチャルリアリティ/人工ニューラルネットワーク
准教授	渡辺 義浩	コンピュータビジョン/拡張現実/デジタルアーカイブ/インタラクション
教授	奥村 学	自然言語処理/テキスト要約/語学学習支援/テキスト評価分析/テキストマイニング
准教授	船越 孝太郎	自然言語処理/マルチモーダル対話システム/ヒューマン・マシン・インタラクション/機械学習
教授	本村 真人	リコンフィギュラブルハードウェア/知能コンピューティング/ディープラーニングプロセッサ/アニーリングマシン
准教授	中谷 桃子	ヒューマンコンピュータインタラクション/サービスデザイン/ユーザエクスペリエンス
准教授	篠崎 隆宏	音声認識や音声理解を中心とした音声情報処理, 統計的パターン認識, 機械学習/コンピュータが自律的に音声言語を獲得し理解する仕組みの研究等
教授	山口 雅浩	光工学・画像工学/分光イメージング/色再現/病理画像解析技術/ホログラフィー/計算イメージング/ディスプレイ/3D ユーザインタフェース
教授	中本 高道	ヒューマン嗅覚インタフェース/嗅覚ディスプレイ/デジタル嗅覚コンテンツ/感性情報センシング/匂いセンサ/生物の仕組みをまねたセンサシステム
准教授	長谷川 晶一	バーチャルリアリティ, とくに力触覚インタフェースと物理シミュレーション技術を基礎に, 対話エージェント, エンタテインメントへの応用を研究
准教授	小尾 高史	医療分野の情報化を支える情報システム, 医療分野専用ネットワークの構築技術, マイナンバーカードなどの認証技術, 医用画像処理・医用情報解析に関する研究
教授	鈴木 賢治	画像を学ぶ深層・機械学習/AI 支援医療診断システム/メディカル AI イメージング/次世代 AI 基盤技術(ホワイトボックス AI, スモールデータ AI, AI 設計法)の研究開発

## 5. 照会・連絡先, 詳細情報

2023年度系主任 金子 寛彦教授 (すずかけ台 G 2 棟 7 階 708 号室, [ict\\_kanjidan@ict.e.titech.ac.jp](mailto:ict_kanjidan@ict.e.titech.ac.jp))

情報通信系ホームページ <http://educ.titech.ac.jp/ict/>