



ムーンショット目標 1

2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から
解放された社会を実現

実施状況報告書

2021年度版

2021年4月～2022年3月

誰もが自在に活躍できるアバター共生社会

の実現

石黒 浩

大阪大学 大学院基礎工学研究科



研究開発プロジェクト概要

利用者の反応をみて行動するホスピタリティ豊かな対話行動ができる複数のCAを自在に遠隔操作して、現場に行かなくても多様な社会活動（仕事、教育、医療、日常等）に参画できることを実現します。2050年には、場所の選び方、時間の使い方、人間の能力の拡張において、生活様式が劇的に変革するが、社会とバランスのとれたアバター共生社会を実現します。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/11_ishiguro.html

課題推進者一覧

| 課題推進者 | 所属 | 役職 |
|--------|---------------------------------|---------|
| 石黒浩 | 大阪大学 大学院基礎工学研究科 | 教授 |
| 小川浩平 | 名古屋大学 大学院工学研究科 | 准教授 |
| 仲田佳弘 | 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 | 准教授 |
| 塩見昌裕 | 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 インタラクション科学研究所 | 室長 |
| 吉川雄一郎 | 大阪大学 大学院基礎工学研究科 | 准教授 |
| 港隆史 | 理化学研究所 情報統合本部 | チームリーダー |
| 中村泰 | 理化学研究所 情報統合本部 | チームリーダー |
| 河原達也 | 京都大学 大学院情報学研究科 | 教授 |
| 猿渡洋 | 東京大学 大学院情報理工学系研究科 | 教授 |
| 東中竜一郎 | 名古屋大学 大学院情報学研究科 | 教授 |
| 李晃伸 | 名古屋工業大学 大学院工学研究科 | 教授 |
| 原田達也 | 東京大学 先端科学技術研究センター | 教授 |
| 黒瀬優介 | 東京大学 先端科学技術研究センター | 特任助教 |
| Lin Gu | 理化学研究所 革新知能統合研究センター | 研究員 |
| 椋田悠介 | 東京大学 先端科学技術研究センター | 講師 |
| 鈴木潤 | 東北大学 データ駆動科学・AI 教育研究センター | 教授 |
| 長井隆行 | 大阪大学 大学院基礎工学研究科 | 教授 |
| 中村友昭 | 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 | 准教授 |
| 杉浦孔明 | 慶應義塾大学 理工学部 | 准教授 |
| 谷口忠大 | 立命館大学 情報理工学部 | 教授 |
| 鈴木陽介 | 金沢大学 理工研究域 | 助教 |

| 課題推進者 | 所属 | 役職 |
|-------|---------------------------------|----------|
| 平田雅之 | 大阪大学 大学院医学系研究科 | 特任教授 |
| 宮下敬宏 | 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 インタラクション科学研究所 | 所長 |
| 内海章 | 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 インタラクション科学研究所 | 室長 |
| 吉見卓 | 芝浦工業大学 工学部 | 教授 |
| 河岡慎平 | 京都大学 ウイルス・再生医科学研究所 | 特定准教授 |
| 和泉自泰 | 九州大学 生体防御医学研究所 | 准教授 |
| 春野雅彦 | 情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター | 室長 |
| 住岡英信 | 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 石黒浩特別研究所 | グループリーダー |
| 中江文 | 大阪大学 大学院生命機能研究科 | 特任教授 |
| 宮下敬宏 | 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 インタラクション科学研究所 | バンク長 |
| 熊崎博一 | 国立精神・神経医療研究センター精神保健研究所 | 室長 |
| 西尾修一 | 大阪大学 先導的学際研究機構 | 特任教授 |
| 村田正幸 | 大阪大学 大学院情報科学研究科 | 教授 |
| 中野有紀子 | 成蹊大学 理工学部 | 教授 |
| 神田崇行 | 京都大学 大学院情報学研究科 | 教授 |
| 久木田水生 | 名古屋大学 学院情報学研究科 | 准教授 |
| 石井夏生利 | 中央大学 国際情報学部 | 教授 |
| 新保史生 | 慶應義塾大学 総合政策学部 | 教授 |
| 湯浅壘道 | 明治大学 専門職大学院 | 専任教授 |

1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

当該年度においても研究開発体制を引き続き整えるとともに、研究開発に関わる準備を進め、実証実験等を適宜実施しながら、精力的に研究を推進した。当該年度は新たに研究開発課題を三つ追加するなどして体制の整備を引き続き行った。プロジェクトの全体に対するガバナンスとしては、PM が各課題推進者に研究開発の進捗状況を確認するサイトビジット(2021年6月と12月の二度)、及び、全課題推進者が一斉に集い研究発表を行う課題推進者会議(2022年1月)を実施した。本プロジェクトでは研究開発課題間の連携を積極的に進め、実証実験を数多く実施するなど、当該年度も精力的に研究開発を推進した。

各研究開発項目の実施内容の概要は以下の通りである。

研究開発項目1: 存在感・生命感 CA の研究開発

本項目では存在感・生命感を持つロボットや CG-CA と空間共有インターフェースの研究開発に取り組む。当該年度はプロトタイプ等の開発とともに、実験室実験などで、その認知科学的、心理学的評価等を行った。また、人同士のインタラクション動作データベース等を構築するとともに、それらの動作データの収集を行い、モデル化などを行いながら、行動モデルバンクの構築や様々な評価を進めた。

研究開発項目2: 自在音声対話の研究開発

本項目では日常的な自然対話において、CA が遠隔操作対話と自律対話を、操作者の目的や状況に応じて臨機応変に切り替えるホスピタリティのある自在対話技術を開発する。当該年度はいくつかの利用場面を対象とした音声対話システム等の実装を行うとともに、その動作検証や必要なデータの収集を行った。また、音環境に応じた適切な CA 発話を実現するための音声合成アルゴリズム等、各種のアルゴリズムの開発を進めた。

研究開発項目3: 人間の知識・概念獲得の研究開発

本項目では CA の高度な認識能力、CA 間での知識共有、操作者の意図理解に必要となる人間の知識や概念の獲得の問題に取り組む。当該年度は、各技術開発における設計や手法の考案に取り組むとともに、研究開発のために必要となる各種データの収集を図り、モデル構築等を進めた。

研究開発項目4: CA 協調連携の研究開発

本項目では複数 CA の同時遠隔操作・連携制御技術の研究開発に取り組む。1人の操作者が同時に複数の CA を操作するには、タスクや環境に応じて、操作者の意図を理解しながら働く複数の CA を利用する技術が必要となる。当該年度は、室内環境における CA 基盤のプロトタイプシステムの実現を図り、CA が連携する実証実験に取り組んだ。

研究開発項目5: CA 基盤構築の研究開発

本項目では多数の CA と操作者を結ぶ CA 基盤の研究開発に取り組む。多数の CA を多数の操作者が利用するには、両者を結び付ける情報インフラである CA 基盤が必要不可欠である。当該年度は、CA 基盤の初期プロトタイプを構築するとともに、機能実証実験に取り組み、標準化に向けた準備を進めた。

研究開発項目6: 生体影響調査

本項目では CA 利用が生体に与える影響を、代謝物やホルモンや脳活動によって調査し、健康で安全

な CA 利用を実現する。当該年度は、Zoom などの遠隔対話システムや CA が、どのような代謝物やホルモンや脳活動が CA 利用に関係しそうか、実験を通じた調査等に取り組んだ。

研究開発項目7:実社会実証実験

本項目では発達障害や高齢者に対する実証実験、複数の企業が連携する実証実験の管理運営及び 5G 利用の研究開発に取り組む。当該年度は、大阪市内に実証実験拠点を構築するとともに、受付・案内サービスや、高齢者等を対象とした実証実験の実施に取り組んだ。また、限られたエリアでの 5G 通信システムを構築し、動作検証に取り組んだ。

研究開発項目8:アバター社会倫理設計

本項目では CA 利用における倫理・法律問題の研究と、モラルや文化等の社会学的側面を重視した CA の行動設計に取り組む。当該年度は、非言語行動生成やモラルコンピューティングに必要となるデータセットの収集に取り組むとともに、アバター社会倫理設計コンソーシアムでの活動において、倫理的、法的観点での議論の活性化を図った。

2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

(1) 研究開発項目1: 存在感・生命感 CA の研究開発

研究開発課題1: 存在感 CA の開発と高臨場感インターフェースの研究開発

当該年度実施内容:

① 存在感 CA の研究開発

本年度は個性の表出を抑えた中性的な見かけをもつ汎用型 CA を開発した(下図左)。ニュートラルな外見をもつことで、誰が操作をしたとしてもその人に応じた存在感をもつことができるようになっている。本 CA の上半身運動性能は従来よりも高く、遠隔操作の遅れも 0.5 秒以内に留まることが確認されている。また、本 CA のスキンは取り外しが可能となっており、特定の人物に類似したスキンを取り付けることによって特定の人物の存在感をもつジェミノイド CA に変身することもできる(下図右)。この特性を活かして、CA の外見が操作者の印象に与える影響を調査する心理学実験を実施した。汎用型 CA については誰が操作をしても違和感の無いこと、ジェミノイド CA についてはボイスチェンジを加えることで誰が操作をしても別人になりきれる(石黒浩以外の操作者が石黒浩になりきれる)効果があることが確認された。



② CG-CA の研究開発

スクリーン上に投影された CG-CA を実世界の観察者が観察する場合、観察者のスクリーンに対する位置に応じて、CG-CA の視線や指差し動作が正しく認知されないという現象が生じることが知られている。本年度はこの現象に対してモデル構築を行うことで、CG-CA と実世界の人物が適切に視線等を交わしながらインタラクションを行うためのプログラミングを進めた。そして心理学実験によって 80%以上の利用者が CG-CA と共同注意できることを確認した(下図左)。

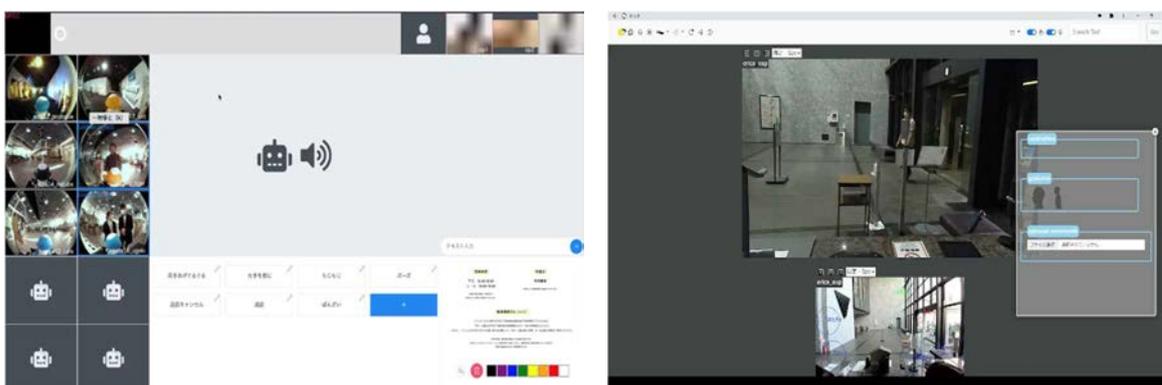
また、研究開発項目2研究開発課題4(李)との連携のもと 2D-CG-CA「ジェネ」を開発した(下図右)。性別を感じさせない見かけによって子どもから大人まであらゆる人に受け入れられ利用されやすいデザインとなっている。



③ CA 自在操作インターフェースのシステム開発

遠隔操作ロボットに用いることができる CA 自在操作インターフェースを開発した(下図左)。複数のロボットからの映像が常に提示されており、その映像をクリックすることでロボットの操作ができるようになっている。システムは音声認識をもとに適切な動作をロボットに付与するため、誰でも話すだけで簡単に操作ができる。70%以上の操作者が 30 分にわたって強いストレスを感じる事無く利用できることを、数多くの実証実験の現場において確認している。

また、遠隔操作者に対して遠隔地の臨場感を高めるインターフェースも開発した(下図右)。カメラ映像に対してエフェクトを加えて提示することで臨場感を高める手法を採用した。



④ その他:小型遠隔操作対話ロボットを用いた実証実験

以上に加えて、本年度も研究開発項目7研究開発課題1(宮下)と連携しながら、数多くの実証実験に取り組んだ。水族館ニフレル、神戸空港、東急ハンズ、豊中市役所、甲南学園等といった販売・行政・教育等の多様なフィールドにおいて、複数体の CA 操作を通じた就業を実現するにあたっての課題探索に取り組んだ。上記のインターフェースの改良案が見つかるなど、研究開発の場面へのフィードバックが効果的に生じている。

課題推進者:石黒浩(大阪大学)

研究開発課題2:高臨場感遠隔操作インターフェースの認知科学研究

当該年度実施内容:

① 臨場感を持つ CA インターフェースの情報提示技術の研究開発と適応に関する認知的理解

認知レベルでの高臨場感は、CA と関わる複数の利用者の感情状態や、CA の意見に対する反応などの、遠隔からでは感知することが難しい利用者の情報を、CA 操作インターフェースの画面にわかりやすく強調表示することが必要である。本年度では、2 者対話、3 者対話時の標準的な発話単位時間において、対話者の視線、感情状態、発話・傾聴状態、ターンテイキングなどの情報を取得し、実時間で表示するプロトタイプ(図1)を作成した。また、これらの情報から、操作者が注視すべき最適な領域を判断するニューラルネットワークの作成に着手した。

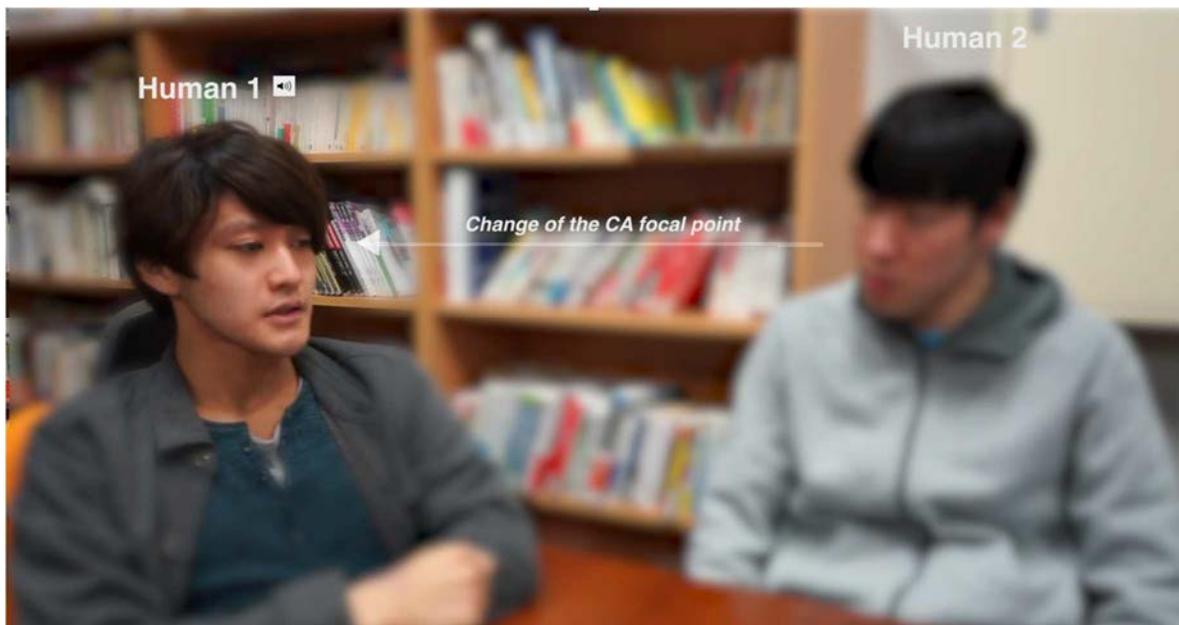


図1. 作成したプロトタイプシステムのスクリーンショット。対話者のラベルと、発話中である表示 (Human 1)、CA の視線の移動を軌跡として表示している。また、操作者の操作の負担を軽減させるため、操作者が注目すべき点以外ぼかす効果を追加した。

課題推進者: 小川浩平(名古屋大学)

研究開発課題3: 人間型移動ロボット存在感 CA の研究開発

当該年度実施内容:

① 移動可能な存在感 CA のための電動アクチュエータユニットの開発

ブラシレス DC モータ、減速機構としてバックドライブバリエティが高く静音性に優れるトロコイドギアの組み合わせによるアクチュエータユニットを開発した。アクチュエータユニットは、減速機構、制御用電子基板込みのサイズで最外径 60mm、全長 63mm となり、要求仕様を満たすサイズで製作できた。また、モータ単体でのトルク計測実験を実施し、減速機構の効率を 85%として計算すると、20Nm を出力可能であることが確認できた。

アクチュエータユニットの出力軸にリンクを取り付け、バックドライブさせることが可能であることを確認した。騒音については、計測を実施できていないものの、他の小型ロボット用サーボモータと比較して低く抑えられていることを確認した。

② 操作者の動作を子どもらしい動作に変換する機能の開発

実際の子どもの頭部の寸法データや表情の写真を参考にして、4 種類のコンピュータグラフィックス(CG)モデルを制作した。最初にニュートラルな表情を制作し、そこから皮膚の変形を考慮して喜び、悲しみ、および怒りの各表情を制作した。これらのモデルデータを CAD ソフトウェアに取り込み、顔面の駆動に必要な機構の設計を行った。

次に、シリコン製の皮膚と電気モータによって皮膚を駆動するのに必要な機構(1 軸分)の試作を行った。皮膚は背面に接続した 22 本のケーブルを手で引くことによって、事前に想定した各表情が実現されることを確認した。また、モータを制御してケーブルを引くことによって、表情表出に必要な皮膚の変形が生じることを確認した。

課題推進者: 仲田佳弘(電気通信大学)

研究開発課題4:抱擁型生命感 CA の研究開発

当該年度実施内容:

① 抱擁型生命感 CA に関する基礎的研究開発

本年度は、抱擁型対話に必要な抱擁動作認識技術の確立に取り組んだ。具体的には、まずこれまでに開発を進めてきた抱擁型生命感 CA のプロトタイプに複数の触覚センサを設置した(図2)。次に、複数の被験者と抱擁型生命感 CA による疑似的な抱擁型対話を行うシチュエーションを再現して、センサデータを収集する取り組みを行った。

データ収集には 16 人の被験者が参加し、10 種類の抱擁動作を行った際のセンサデータを学習用データとして利用した。取得した抱擁動作データに対してラベリングを行い、Support vector machine を用いた教師学習アプローチで抱擁動作認識機能の開発を進めた。交差検定による性能検証を行った結果、10 種類の抱擁動作を 95.27%の精度で認識出来た。

② 抱擁型生命感 CA 操作者支援技術に関する研究開発

本年度は、抱擁状態を可視化する操作用 UI を開発し、CA を操作して抱擁型対話を行ったときの操作負荷を軽減するための取り組みを進めた。具体的には、複数の異なる抱擁型生命感 CA に対して、触覚センサを用いて抱擁状態を可視化する機能を備えた UI を開発した(図3)。さらに、被験者が抱擁型生命感 CA を通じて健常者と簡単な対話及び触れられた場所を確認する実験を実施し、開発した UI を用いることで操作負荷が減少したと感ずることをアンケートで確認した。

実験では二つの抱擁型生命感 CA(赤ちゃん型およびぬいぐるみ型)を一人の被験者が遠隔操作して健常者と対話する状況を設定した。なお、コロナ禍による感染予防対策および対話内容の変化を抑えるため、対話する相手は毎回同じ実験者とした。実験では、実験者がぬいぐるみ型 CA と抱擁し、また赤ちゃん型 CA に触れながら対話を行った。その際、被験者は環境内に設置されたカメラと、操作用 UI を用いて CA の操作を行った。

実験条件は可視化する機能を用いた場合と用いなかった場合の 2 条件とし、同じ被験者がどちらの条件も体験する被験者内実験とした。実験後のアンケート結果から、7 割以上の操作者が可視化する機能を用いた UI の方が、より少ない負荷で操作できると感じたことが明らかになった。

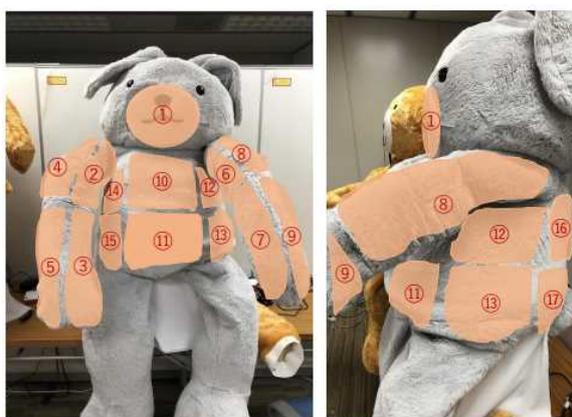


図2 抱擁型生命感 CA 上の触覚センサ配置図

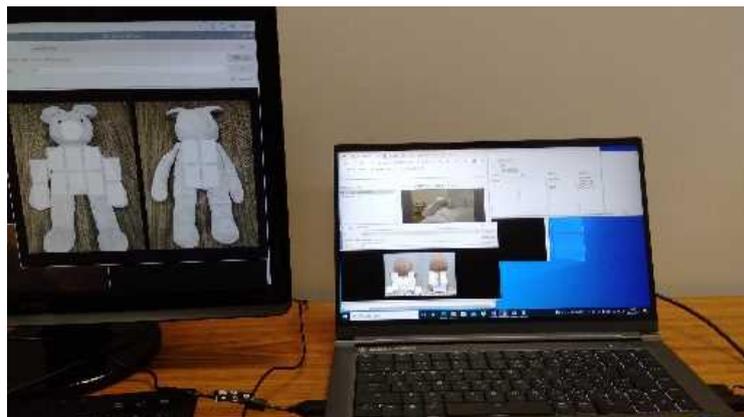


図3 遠隔操作用 UI

課題推進者: 塩見昌裕(国際電気通信基礎技術研究所)

研究開発課題5: 生命感 CA の開発と連携対話の研究開発

当該年度実施内容:

① 生命感 CA の開発

当該年度は、人間の存在感は持たないが生物としての生命感を持つ生命感 CA の実現を目指し、以下の特徴をもつ CA のハードウェアとソフトウェアの開発に取り組んだ。

- ・ダイレクトドライブモータを用いて、完全無音で動作する生命感 CA
- ・本生命感 CA の機構を踏襲した廉価版の CA
- ・廉価版 CA に移動機能を持たせた CA

また、完全無音で動作する生命感 CA に、外付けスピーカーを併用して、動作音がする状態でも動作できるようにすることで、CA が無音で動作することによる効果を検証する予備実験を実施した。具体的には、当該 CA を陪席させた状態で、被験者に単純タスクを行わせて、CA について評価させる実験を実施した。完全無音で動作する CA は動作音を伴う CA に比べ、Mind perception 尺度において、高い経験性と主体性が評価される可能性が示された。また動作音を伴って動作する CA においては、監視されている感覚を与えやすく、一方で、完全無音で動作する CA においては見守られている感覚を与えやすい可能性を示唆する結果を得た。

② 連携対話の研究開発

遠隔操作型ロボットの科研費プロジェクトや Society5.0 拠点形成事業のプロジェクトと連携しながら、ロボット(生命感 CG-CA)をアバターとする対話機会を提供するオンライン会議システムである、半自律社会的 CG アバタールーム(CommU-Talk)の開発を進め、3名1組を対とした被験者グループに、使用者の顔画像を表示する従来のオンライン対話システムと比較して、対話に集中しにくい状況で対話不安を低減できることを確認した。またアバターの移動機能によって対話意欲などの感情表現ができることを確認した。

また、研究開発項目7研究開発課題2(熊崎)と連携し、CommU-Talk を発達障害の青年のグループ(計15名)に使用させ、2名の面接官がいる状況での、2週間に及ぶ面接訓練を行わせる実証実験(翔和学園)を実施した。

また、自律対話機能を持つ2体の小型ロボットの対を CA(連携 CA 対)として、複数地点に連携 CA 対を設置し、少数のオペレータにより、複数地点での対話サービスの同時提供が可能な CA 制御システムの開発に着手した。ExpoCity ニフレル、蔦屋 ExpoCity 店において、商品推薦の対話サービス提供の実証実験を実施した。

課題推進者: 吉川雄一郎(大阪大学)

研究開発課題6: 存在感 CA の自在動作生成の研究開発

当該年度実施内容:

① 操作者の状態を表出する存在感 CA の動作の自動生成

まず、本研究開発課題において用いる存在感 CA の開発を行った。胴体部の動作性能を高め人らしいジェスチャが可能となるように、関節の駆動部の仕様を定めた。顔部は人らしさを持ちつつも性別や年齢が特定されないような形状のデザインを確定した。本年度はまず胴体部を開発し、仕様通りの動作性能を示すことを確認した。次年度に顔部の製作を行う予定である。また、CA の遠隔操作システムの開発を研究開発課題1(石黒)と連携して進めた。遠隔地にいる操作者が高い臨場感を感じられる操作インターフェースを、環境中に設置したカメラ映像にエフェクトを加えることで実現

した。これらについては特許出願を検討中である。

CA の動作生成に関しては、Conditional W-GAN(条件付き敵対的生成ネットワーク)に基づく上半身のジェスチャ生成の研究に取り組んでいる。人が話しながら自然にジェスチャを行ったデータを基に、音声を入力として、韻律特徴を抽出し、それを条件とした C-W-GAN モデルの学習を進めている。CG エージェントに動作を生成し、被験者実験を通して人らしい動作が生成されることが確認でき、国際会議 ICMI のジェスチャ生成に特化したワークショップ GENEVA に論文が採択された。このモデルの拡張として、条件として韻律特徴の他に、動きの大きさや速さを表現するラベルも入力することで、生成された CA のジェスチャ動作により、話者のテンションおよび外向性の印象を変えることができることを、被験者実験を通して検証した。この結果を国際会議 IEEE RA-L に投稿し、現在査読中である。

CA が複数人と対面した対話における視線制御の研究にも取り組んでいる。対話の役割(話者、メインの聞き手、サブの聞き手など)に応じた視線を合わせる率と視線を逸らす率に関する確率密度分布を学習し、逸らす場合の黒目の方向もモデルに取り入れた。このモデルを小型ロボット CommU の視線制御に実装し、被験者実験を通して、従来法よりも人らしい振る舞いが生成されることを確認した。また、人同士の対話データにおける視線の意図や原因について分析を進めた。視線の分析結果は国際会議 Interspeech21 に論文が採択され、ロボットの視線制御の研究成果は国際会議 HAI21 に論文が採択された。現在雑誌論文にも投稿を進めている。

また、3 者対話における役割に応じた視線行動と、音声に伴うジェスチャならびに話者の内部状態(テンション)を表現する視線とジェスチャの生成モデルを構築した。受付業務インタラクションにおける割合が未評価であるが、上記の視線、ジェスチャは受付業務にも現れる多くのジェスチャを包含している。

② 操作者の複数人格を同時に表出する複数存在感 CA の動作の自動生成

操作者の複数人格の表出に関して、対人相手によって言葉遣いや韻律特徴、振る舞いなどの非言語情報がどのように変わるのかをマルチモーダル対話データを用いて分析を進めている。項目(1)で述べた通り、視線やジェスチャの動作生成モデルに対し、複数人格を表出する機能についても研究開発を進めている。ジェスチャについては上述したように、外向性を表出することができている。また上述した視線制御の研究において、外向性が異なる話者のデータを用いてこの視線生成モデルのパラメータの違いを分析し、同じ声でも、視線生成モデルのパラメータを変えることで、外向性の印象が変わることを、被験者実験を通して検証した。目が誇張された人型ロボット CommU でも、人間の姿をしたアンドロイド Nikola でも同様の結果が得られた。この結果は国際会議 RO-MAN に投稿した論文が採択された。

さらに、人格表出の効果として、CA の不機嫌さ・怒りなどのネガティブな表出が、対話相手の価値観によってどのような効果があるのかについて検証している。具体的には、コロナ禍の御時世において、アンドロイドの丁寧な振る舞いや不機嫌・怒った振る舞いなど、どのような振る舞いが人にマスク着用を強要するのに効果的なのかについて被験者実験を実施した。その結果、コンプライアンス意識が高い人と低い人の間に、CA の振る舞いの適切さ・効果において違いがみられた。この研究成果は、論文誌 IEEE RA-L (+国際会議 IROS)に投稿した論文が採択された。なお、コンプライアンスの度合いの影響を調べるため、マスク着用強要タスクの他に、ダイエットコーチャタスクと、禁煙注意タスクのシナリオも作成し、同様にロボットの振る舞いを通して人がどのような印象を受けるのかを検証した。この結果をまとめ、論文誌に投稿予定である。

また、同時に複数人格を表出する際に、人格切り替えで操作者が失敗する可能性があり、それが発生した場合に特定の相手には特定の人格が「ぶれない」ような人格補正処理に関しても現在検討中である。

上記の研究開発の中で、視線における内向的・外向的な表出、両腕のジェスチャにおける外向的な表出、他者に何かしら注意を促す状況での、丁寧・不機嫌・怒りの表出もモデル化した。モダリティや状況が限定されているが、3種類以上の人格表出についてもモデル化した。

課題推進者: 港隆史(理化学研究所)

研究開発課題7: CA の対話動作学習機能の研究開発

当該年度実施内容:

① 複数人対話中の反応動作の生成モデル

遠隔操作においても CA が人間らしい振る舞いを行うための反応動作の実現に向けて、これまで課題推進者が研究してきた対話動作の深層生成モデルの構築を進めた。当該年度は、2名の人間同士の対話データを収集し、そのデータを用いた深層生成モデルの学習に取り組んだ。さらに、得られた動作の生成モデルを利用した CA の制御システムを実装し、その振る舞いの自然さ、人間らしさについての性能評価を行った。

本年度は任意の条件の下での生成が可能な Variational AutoEncoder with Arbitrary Conditioning (VAEAC) を利用したインタラクション動作に対する生成モデルの構築を行った。2名で対話中の人間の振る舞い(画像・音声)を計測し、モーションキャプチャシステム及び音声を計測し、タイムフレームごとに姿勢推定システムや発話区間検出システムを用いて特徴量に変換する。その特徴量を4秒分の多次元時系列として抽出・モデル化を行った。

課題推進者: 中村泰(理化学研究所)

(2) 研究開発項目2: 自在音声対話の研究開発

研究開発課題1: 自在遠隔音声対話の研究開発

当該年度実施内容:

① 実環境下における音声検出・認識

CA の利用が想定される環境において、周囲の雑音や BGM などから、目的となる話者の音声を強調・検出した上で、自動音声認識を行う。本研究では、音声認識の頑健化に注力するとともに、音声強調・検出と認識を統合した End-to-End 処理系の深層学習による最適化を行った。話し言葉に BGM を -5dB から 5dB 重畳させた音声に対して、平均 84% の音声認識率を実現した。また、雑音を 0dB から 20dB 重畳させた音声に対して、平均 83% の音声認識率を実現した。ロボットとの傾聴対話で収集した高齢者の音声については、平均 66% の音声認識率を実現した。今後(コロナ禍終了後)、高齢者の対話データをさらに収集して改善に努める予定である。

② 人間レベルの自律音声対話

人間のようにホスピタリティの感じられる自律的な音声対話システムに向けた研究開発を行った。これまで、アンドロイド ERICA を対象に実装してきた自然で多様な相槌生成に加えて、相手への共感を示すための感情価(ポジティブ/ネガティブ)を含む反応(「へー」や「そうなんですね」など)や、場をなごませるための共有笑いの生成を実装した。傾聴対話における応答生成については、90%以上に問題がなく、80%以上でユーザから反応が示された。説明・プレゼンテーション対話の予備実験

においても質問の 70%以上について対応可能と判断された。また、傾聴対話における主観評価においても、人間(WOZ)との対話に比べて概ね 90%以上の評価値となった。

③ 自律対話と遠隔操作対話の切替え・融合

自律対話と遠隔操作対話を融合した自在対話システムの制御機構の設計と実装を行った。定型的な紹介や受け答えは自律で行い、人間関係の構築や自律での応答が難しい部分は人間が遠隔で行うことで、1人の操作者が複数の CA を用いた自在対話を実現した。自律対話システムにおける音声理解・対話の破綻検出、エンゲージメントの認識に基づいた切替え、自律で行っていた対話の要約提示などについて検討を行った。本年度は、傾聴対話や説明・プレゼンテーション対話において、システムの実装及び動作検証を行った。研究開発課題2(猿渡)の音声変換、及び研究開発課題4(李)の CA 制御との統合を行った。1人の操作者で3名のユーザを同時に対話ができることを確認した。

課題推進者:河原達也(京都大学)

研究開発課題2:音響情報処理・音声変換の研究開発

当該年度実施内容:

① 多様な利用者に対応できる自律 CA 用音声合成

自律 CA が多様な利用者に対応するには、特定の CA 個性に限定されない多様かつ柔軟な音声合成技術を開発する必要がある。そのために、合成音声の自然性、再現可能な個性、再現に係る即時性のそれぞれの向上について研究開発した。本年度は、少数(100 人程度)の操作者の個人性を高精度に再現する音声合成技術を開発した。自然度・再現度に関する5段階主観評価の結果、4.0 前後のスコアを確認した。併せて、音声合成の高速化に向け、文全体の入力をまたずに合成可能な低遅延音声合成技術、合成誤りを訂正可能な End-to-End 音声合成技術、人間の音声のように、非流暢な発声を可能にする音声合成技術を提案した。

② 自律 CA 発話と遠隔操作発話を同化させる音声変換

CA 発話と遠隔発話をシームレスに融合するには、上記(1)で開発する自律 CA の合成音声と、遠隔操作者による遠隔音声を、違和感なく切り替える必要がある。この際、合成音声と遠隔音声の個人性の不整合により利用者に違和感を与えてしまうため、遠隔音声を合成音声に整合させるための音声変換技術を開発する必要がある。本年度は、音声変換ソフトウェア基盤の整備を進めた。通常の laptop PC で動作する基盤を構築し、それを MS プロジェクト全体に展開した。現在、複数の研究開発課題において利用されている。

③ 実環境下における音声分離・強調

雑音の多い実環境において、操作者は明瞭に CA を通して利用者の声を聞くと共に、操作者の声も明瞭に利用者に届けられなければならない。そのためには、まず利用者発話音声を高精度に分離・強調する信号処理を確立する必要がある。そこで自律 CA に取り付けられた複数のマイクロホン(これらは CA 各部に分散的に配置され位置不定かつ CA の動作に応じて時々刻々と位置が変動する)を想定し、それらで得られた多チャネル信号群に対してブラインド・セミブラインド音源分離を適用する。本年度は収録音声の強調・伝送処理に関して、申請者らが開発した独立低ランク行列分析等の数理アルゴリズムを基礎とした拡張理論を開発し、今後のベースラインとなる音声強調処理系を構築した。具体的には、話者方向から到来する拡散性雑音も抑圧できる、教師なし(ブラインド)・教師あり(深層学習ベース)音声抽出手法を開発した。教師なし・教師あり音声抽出手法

両者に関して SDR 改善度は目標である 8 dB 以上を達成した。また、リアルタイム化のためのオンライン処理アルゴリズムの開発と、MS プロジェクト全体への展開に向けてソフトウェアを開発した。来年度中に展開予定である。

課題推進者: 猿渡洋(東京大学)

研究開発課題3:対話知識処理の研究開発

当該年度実施内容:

① 対話知識獲得

オープンソースソフトウェアをベースに、人間が状態遷移の記述を行い、話し相手、旅行の案内、および、プレゼンテーションを行うシステムを実装し、評価を行った。話し相手については、状態遷移とニューラルネットワークの対話モデルを組み合わせることで構築し、5 段階中 3.49 の満足度を得た。案内については、状態記述に従い、ユーザ情報を尋ね、観光データベースを参照して応答する観光案内システムを構築し、55%以上の話者に所定の観光地を推薦することができた。プレゼンテーションについては、プレゼンテーションコンテンツと状態遷移に基づき、プレゼンテーションと質疑応答を行うシステムを構築し、適切な回答が得られたかどうかのスコアとして 10 段階中 5.8 点を得た。いずれのシステムについても、達成目標を超えることができた。ここで、話し相手とプレゼンテーションについては、適切な応答を得られたという心象を重視し、主観評価値をタスク達成の尺度として用いた。システム構築に加え、今後のデータに基づくシステムの自動構築に向けて、人間同士の接客データ、および、プレゼンテーション映像データを収集した。

② 対話状況理解および可視化

CA とオペレータの引継ぎに必要な情報を明らかにするため、昨年度に収集した、人間同士が引継ぎを行いながら対話を行ったデータを分析し、対話の引継ぎに有用な情報が、隣接ペアおよび属性値対であることを明らかにした。隣接ペアとは、質問・応答などの呼応関係にある発話のまとまりを指し、2 つ以上の発話からなる。扱ったすべての対話タスクにおいて、隣接ペアにおける発話同士は矢印でつながれ、話者同士がどのようなやり取りを行っていたのかを表す表現として頻出しており、対話の引継ぎに有効であることが示された。属性値対とは、テーブル構造のデータであり、特に接客や案内などのタスク指向型の対話タスクにおいて利用された。タスクが明確であるときは、そのタスクに関連する情報をテーブルの形で表現することが引継ぎに有効であることが分かった。

隣接ペアが有効という知見に基づき、対話データに対して、一問一答の隣接ペア形式(図4)で要約を行う要約器のプロトタイプを構築した。具体的には、まず、対話データに対して、一問一答の隣接ペア形式に要約したデータを学習用データとして作成した。そして、このデータから、対話を隣接ペア形式で要約するニューラルネットワークを用いた生成モデルを構築した。雑談(話し相手に対応)、案内、プレゼンテーションの対話データに対して、構築した要約モデルを適用し、モデルが出力した要約について「対話を理解できるか」という観点について評価したところ、いずれの対話タスクにおいても 10 段階で 6 点以上のスコアを得ることができた。

加えて、雑談のデータを対象として、複数の対話要約のバリエーションについて、いずれの対話要約の形式が対話の引継ぎに有効であるかの分析を実施した。その結果、生成型要約と引継ぎ直前の 1 発話の組み合わせ、および、引継ぎ直前の 5 発話の抜粋型要約が、対話の引継ぎに有効であることが分かった。

③ 対話制御および制御インターフェース

状態遷移を記述することで構築した対話システムと人間のオペレータとの制御を切り替えできるインターフェース(図5)を作成し、CA および操作者の入れ替えりを実現できるようにした。加えて、CA とユーザの間で対話に問題が生じた際にタイムリーに介入できるようにするための対話破綻検出技術に着手し、最新のニューラルネットワークに基づくシステムを含む、複数の対話システムのデータについて対話破綻のアノテーションを行った。また、このデータを基に対話破綻検出器を構築した。

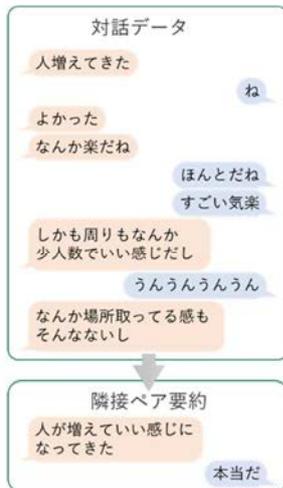


図4: 隣接ペア要約の例

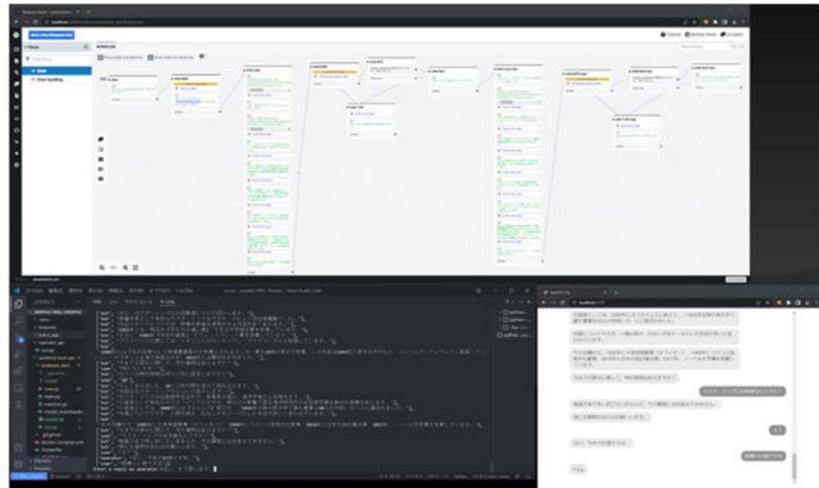


図5 構築した制御インターフェース

課題推進者: 東中竜一郎(名古屋大学)

研究開発課題4:CG-CA 特有対話の研究開発

当該年度実施内容:

① CG エージェントの認知の研究の実施

(A) 対話性認知の研究について、ユーザの音声と身体動作をリアルタイムに模倣する自己投影アバターを用いる手法を考案した。ユーザの動きに合わせてリアルタイムに動く分身アバターをエージェントと同じCG空間内に表示することで、ユーザの認知をシステム内へ引き込んでCGアバターとの会話のしきいを下げることが目標とする。20代の大学生22名を対象としてCGキャラクターを等身大で表示した据え置き端末を用いて複数の表示手法について実験した結果、自然な対話が行えるという認知は全員が獲得できたが、円滑さと持続性については分身アバターの有無の影響よりも自動応答生成システムと会話がうまく成立したかどうかが支配的な影響を与えていた。持続的な対話性認知は対話の内容と密接に関連付くことが分かったため、今後は研究開発項目2の他の課題推進者と協力して研究する必要があること、および、本課題としては会話中ではなく「会話を行う前の見た目から感じ取れる初回の話しかけやすさ」に的を絞った研究を行うべきであることが示唆された。

(B) 存在感・生命感を伴うCG-CAの設計・デザインについて、複数のCG-CAモデルを設計し、その制作を進行した。対話CGエージェントのデザインについては研究開発項目1研究開発課題1と連携しながら進めている。まず事例調査として、過去の対話システム研究の事例、テレノイドやERICAといった対話アンドロイドやロボットの調査、それに加えて近年社会的に流行しているVTuberにおける動向について調査した。これをもとにチーム内で議論を重ねた結果、特にCGキャラクターの個性と操演者の個性の関係性に注目して、3つの類型が定義可能であることを

見出した。すなわち、(1)キャラクター自身の性格や個性の表現をできるだけ抑え、誰でも自分のアバターとして利用可能な「ジェネリック型」、(2)キャラクター自身が見てすぐ分かる強く尖った個性を持ち、アバターとして使う際にも操作者はそのキャラクターの個性に合致した操演が強く求められる「キャラクター型」、(3)弱いキャラクター性を持ち、操作者もそのキャラクター性を尊重した振る舞いが求められるが、比較的自由度が高く、操演の許容範囲が広い「着ぐるみ型 (VTuber 型)」の3つである。

次にこの3種それぞれについてリファレンスとなる CG-CA の設計開発に着手した。このうち「ジェネリック型」については優先的に開発を進め、リアルな 3D-CG モデル「Rubina」(図6)とアニメ調の 2D-CG モデル「ジェネ」(図7)の2種類の CG-CA を年度内に完成させた。それぞれ図6, 図7のように、キャラクター性を控えめにしつつ性別を感じさせない中性的な見た目を重視したデザインとした。100 以上の表情パターンやフルボディの全身骨格を持ち、対面会話において高い生命感・存在感を表出するキャパシティを持つ。3D-CG モデルは Unreal Engine を用いて高精細なグラフィックスで表現され、人としてのリアルな質感と CGらしい豊かな表現力を備えている。2D-CG モデルは子どもや若年層に親しまれるアニメ調の表現で、アニメ調の豊かな表情および動作表現を持つ。これら2体のモデルの制作が本年度内で完了し、現在はシステムと組み合わせてプロジェクト内へ公開するための準備が進行している。特に 2D モデルは研究開発項目2および7のグループ内へ先行公開し、社会実験への準備と試用を進めている。なお、ジェネリック型以外の2つの類型「キャラクター型」「着ぐるみ型」についても進行中で、来年度の前半に全ての CG-CA が完成する見込みである。



図6:ジェネリック型 3D-CG アバター「Rubina」



図7:ジェネリック型 2D-CG アバター「ジェネ」

② CG エージェントの対話生成の実施

(C) CG会話における特有の誇張や強調を伴う言葉・声・動きのモデルの研究について、VTuber を対象としてCG会話の特有性の分析を行った。近年 VTuber と呼ばれる人間がCGキャラクターを操演する形の動画配信や会話コンテンツが広がりつつあるが、人間に比べリアリティが低く動作の制約が大きい CG キャラクターとの会話が広く受け入れられることから、本年度は VTuber を対象とした「in the wild なCG会話」の事例分析を行った。まずツールとしてはほとんどのVTuber が Live2D と呼ばれる平面の絵を変形させて動かす軽量の規格を用いており、キャラクターの上下左右移動(XY 平面)と表情変化しかできない中で独特の CG 会話ふるまいが用いられている傾向が見られた。次に、日本の VTuber の人気上位 30 名(合計チャンネル登録者(購読登録者)数 3430 万人、日本の総合計の 21%)の雑談配信計 15 時間を対象に Dialogue Act のタグ付けとふるまいの分析を行った。その結果、人間対人間の雑談に比べて共感と感謝が若干多いものの全体ではほぼ同じ出現傾向であるが、会話時のしぐさの大きさが約 2.5 倍大きく、乏しい実在感をカバーするために誇張や強調を伴う会話様式が好まれる傾向が確認できた。

③ CG-CA 対話システムの研究開発の実施

(D)自律動作と遠隔操作の両方が行える CG-CA システムを、MMDAgent をベースに構築した。システムは Windows で動作する CG-CA 表示・操作フロントエンドであり、外部から表情情報や動作情報をネットワーク越しに受信して CG-CA をリアルタイムに動かすことができる。また、音声認識エンジン Julius によるリアルタイム音素認識を内蔵しており、受信した音声波形をもとにリップシンクを生成しながら音声再生できる。また、自律動作システムを想定して、「挨拶」「驚き」といったコマンドを受け取ることで、対応するプリセットアクションを再生する機能を備える。操作者側のフロントエンドとして OpenFace を想定しているが拡張は容易である。本システムは 2D-CG 用であるが現在 Unreal Engine をベースにした 3D-CG 用のシステムも並行して構築中である。1 月にシステムのベータ版と最低限のマニュアル、CG-CA モデルをまとめて GitHub で限定公開しており、研究開発項目 2 および 7 の各グループのメンバーと個別に共有を行っている。

(E)また、対話システムにおいては会話の流れに合わせてキャラクターが相槌や感情表現等のアクションを行うが、これまではタスクごとに必要なアクションが個別に定義され、共通の規格や標準的な実装は存在しなかった。そこで、本研究課題では CG-CA システムの構築に先立って、案

内対話や接客対話、傾聴対話など想定される多くの対話タスクをカバーするアクションセットを定義した。策定にあたって調査・参考にした情報は以下のとおり:京大の傾聴対話研究で用いられた相槌セット、Ekman の基本表現セット(6基本表情+4追加表情)、名工大正門に設置されている案内システム「メイ&タクミ」で長年運用されている応答会話セット、CGアバターの既存プラットフォームの標準仕様(MMD / VRoid / VR Chat)、代表的なフェイシャルキャプチャーAPI の仕様(FACS/Apple ARKit)。この調査をもとに多様な対話タスクをカバーできる 34 種類のアクションセットを考案した。今年度制作に着手したすべての CG-CA はこのアクションセットに準拠するものとなる。

課題推進者:李晃伸(名古屋工業大学)

(3) 研究開発項目3:人間の知識・概念獲得の研究開発

研究開発課題1:概念理解とマルチモーダル認識の研究開発

当該年度実施内容:

① 未知・新規な状況を判断する技術開発

未知・新規な状況を判断するためには、収集されたデータに基づいて、生成モデルを作成することが重要となる。生成モデルを構築できれば、新規入力データとモデルの差分を計算することで未知・新規かどうかを判断可能となる。そこで、本年度は CA への搭載も見越した超効率的な生成モデルを構築した。我々はスパイクニューラルネットワーク(SNN)に着目した。SNN はニューロモルフィックデバイス上で超高速かつ超低消費電力で動作させることが可能である。そのため、SNN は CA 上で動作する生成モデルとして、様々な応用が期待される。本研究では、画像生成を可能とするために、SNN を用いた変分オートエンコーダ(VAE)を構築した。VAE は生成モデルの中でも安定性が高いことで知られており、近年はその品質が向上している。通常の VAE では、潜在空間は正規分布で表現され、サンプリングの際に浮動小数点演算が必要となる。しかし、SNN ではすべての特徴量が 2 値の時系列データである必要があるため、これは不可能である。そこで、自己回帰型 SNN モデルで潜在空間を構築し、その出力からランダムにサンプルを選択して潜在変数をサンプリングすることで、潜在変数がベルヌーイ過程に従うようになり、変分学習が可能となる。SNN 層のみで VAE を構築したのは本研究が最初である。この研究は、研究開発課題 4(椋田)と共同で実施した。

実験では、手書き数字データセット MNIST とファッション画像データセット Fashion MNIST、物体画像データセット CIFAR10、さらに顔画像データセット CelebA を使用した。いずれのデータセットにおいても、再構成損失やインセプションスコアにおいて、従来のニューラルネットワークと比較し、高い性能を得られることが分かった。本モデルをニューロモルフィックデバイス上で動作させることで、速度を 100 倍程度高速化でき、消費電力を 100,000 分の 1 程度に削減可能だけでなく、再構成性能においても従来のネットワークを超えるものができた。

② 未知物体や状況に関する情報を獲得する技術開発

未知物体や状況に関する情報を獲得する技術の研究と開発を開始した。本技術課題を進めるには未知な情報を言語化し質問を生成すること、質問の意図を明確に回答者に伝えること、冗長な回答の中から欲しい情報のみを適切に抽出することが重要となるために、それぞれの項目に対して、課題推進者が開発してきたアルゴリズムの問題点を見直した手法の開発に着手した。

今年度は特に視覚的質問応答(Visual Question Answering, VQA)に着目した。従来の VQA モデルは、世界の知識に対する推論を必要とする問題では、誤った推論をする傾向がある。最近の研究では、推論問題とともに低レベルの知覚情報を提供する質問で VQA モデルを訓練すると性能が向上することが示されている。これに着想を得て、本年度は、正しい推論に有用な補助的な知覚情報を積極的に獲得するための質問を生成する新しい VQA モデルを考案した。

本 VQA モデルにおいて、訓練データに含まれる回答候補数という観点からは 5000 クラスであり、VQA モデルが回答可能なクラス数ということでいえば、約 1000 クラスとなる。

③ 少数の教師情報からの知識や概念を構築する技術開発

少数の教師情報からの知識や概念を構築する技術の研究と開発を開始した。特に、本年度は研究項目(1)と(2)に関連の深い、視覚情報に関する質問から得られる回答を用いて、視覚情報の質問応答の知識を拡張する手法やシステムの構築に着手した。人間から得られる回答量はその負担

を考慮すると多くはできないため、少数の回答つまり少量の教師情報から知識や概念を効率的に構築する手法が求められる。また、逐次的に得られた回答から知識の構造を構築し再利用する必要がある。

そこで本年度は、視覚的質問生成(Visual Question Generation, VQG)に着目した。VQGは、画像から質問を生成するタスクである。人間が画像に対して質問をするとき、その目的は多くの場合、何らかの新しい知識を得ることである。しかし、VQGに関する既存の研究は、主に答えや質問カテゴリからの質問生成を扱っており、知識の獲得という目的を見落としている。そこで、我々は知識獲得の視点をVQGに導入するために、K-VQGと呼ばれる新しい知識獲得型VQGデータセットの構築を実施した。

構築したK-VQGデータセットは、既存の知識認識型データセットであるFVQAよりも大幅に大きいものであり、現時点において世界中で最も大規模かつ高品位の知識ベースのVQGデータセットである。この課題は、物事の関係性にかかわる知識獲得の試みであり、獲得した知識は直接的に分からないものを理解するZero-shot学習にも利用可能である。

課題推進者: 原田達也(東京大学)

研究開発課題2: 意味理解コーパスの研究開発

当該年度実施内容:

① 意味理解コーパスの開発に向けた大規模データの入手と整備

ここでは問診などの文字情報だけでなく、様々な情報を用いた支援を可能にする複数のモダリティ情報からなる意味理解コーパスを開発のための大規模データの入手と整備をおこなった。分野としては計画当初に予定していた放射線科などの他にうつ病等の心療内科的疾患も対象の一つとして考えている。うつ病等の心療内科的疾患の診断は、患者との対話が重要な要素を占めており、医師が行っている対話をCAが代わりに行うことができれば、医師の負担を大きく減らすことが可能となる。また、心療内科的疾患は、昨今のコロナ禍も影響し、社会的にも大きな問題となっており、この分野を支援するCAの開発は社会的にも重要である。そのため、日本心療内科学会と協力し、データの入手するための倫理審査の手続きを進めている。また、当初予定していた放射線科の症例データの抽出も並行しておこなっており、1,000症例以上の患者の基礎情報の抽出は完了した。

② 画像情報による少量のアノテーションデータを利用した診断システムの開発

医用データを扱う上での大きな問題の一つがアノテーションコストである。医用画像のアノテーションは、高精度化のためには曖昧な境界を統一されたルールのもとで実施するための時間的なコストや、専門的な知識をもつ人材を確保するためのコストといったものが、一般画像のアノテーションと比べると非常に高い。この問題は本課題で取り組む診断支援システムの開発においても例外ではない。そこで、画像情報を効果的に利用して、このアノテーションコストを削減するための診断支援システムの開発に取り組んだ。アノテーションといってもさまざまなものがあり、今回は所見文中に存在する疾患に関する情報を抽出して検出するタスクに取り組んだ。所見文中の単語同士の依存関係の木構造を獲得して幅優先探索を行うことで、疾患に関する位置の情報を抽出することに成功し、抽出したもののうちで正確に位置を抽出したものは98%と非常に正確に抽出することができた。

課題推進者: 黒瀬優介(東京大学)

研究開発課題3: 継続学習と記憶の研究開発

当該年度実施内容:

① 短期および長期記憶のメカニズムにおける基盤研究開発

基本的な相互作用の確認について、以下の分野を探索することで、基礎の構築を行っている。具体的には、人工的知覚の恒常性、長期記憶のナレッジグラフ、短期記憶と長期記憶の相互作用を利用した記憶の記録と検索のメカニズムの設計、脳の前頭連合野の前頭眼窩 (FEF) 領域のシミュレート、短期の空間記憶の設計である。また、長期記憶から短期記憶を探索するための記憶検索手法を設計した。特に、ニューラルネットワーク内の知識を直接解読する研究では秒単位で記憶を抽出することが可能である。検証テストの際、長期記憶に転送する時間は 3 分程度である。不要な情報は、新しい双方向埋め込みベースの生成モデルで 2 時間以内に忘却された。本研究の結果は International Conference on Computer Vision (ICCV 2021), The British Machine Vision Conference (BMVC 2021), IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics (JBHI)などの国際会議、論文誌で採録されている。

② 自然言語処理技術や医学関連の研究領域を直接サポートする研究開発

自然言語処理と医用画像タスクの記憶システムによるサポートについて、短期記憶メカニズムを利用し医療タスクをサポートする研究開発を行った。実験結果より、3D 腫瘍のセグメンテーションと 2D 胸部 X 線の分類の両タスクにおいて、20%以上の性能向上を達成している。さらに、疾患や病変の関係性に関する医療特化の記憶を設計し、胸部 X 線タスクをサポートする研究開発を行った。

③ 人間の個性をシミュレートする記憶メカニズムの研究開発

今年度は、ゲーム依存症の人格記憶をシミュレートする研究開発を行った。この記憶システムは CA ユーザーを対象としているため、ゲーム依存症に悩む人を代理ユーザーとして想定している。現在、インターネットゲーム障害 (IGD) の人格記憶を構築し、健常者の感情反応に 50%程度類似していることが確認されている。このモデルに基づいて、後期研究で健常者のモデルを構築することができる。

当初の計画では予見し得なかった進展を生んでいる。PM 石黒浩を訪問した際、記憶のためのニューロン表現についての議論から、この直交表現をシミュレートする人工知能アーキテクチャを設計し、ニューロンネットワークを軽量かつ競争力のある性能にすることのインスピレーションを得ている。また、このモデルをもとに、圧倒的な低消費電力を実現する人工知能チップの設計を考慮した。これらの 2 つの研究は、今年、Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI) というトップレベルの AI 国際会議で採録されている。

課題推進者: Gu Lin (理化学研究所)

研究開発課題4: 因果推論と予測機能の研究開発

当該年度実施内容:

① 複雑な非線形性を有する時系列間の関係性のモデリングに関する研究開発

時系列予測モデルを学習するには予測された系列が真の系列と似通うように、系列同士の離れ具合を損失関数として定式化し、その損失を小さくするようにモデルを学習していく必要がある。従って予測モデルの性能は損失関数の性質に依存する。

我々は行動の時系列予測における、各行動に費やされる時間は可変長であり多様である、また行動の起こる順序に意味がある、という性質に着目し、可変長系列が予測できるように生成モデルと、

固定長時系列間の距離指標である dynamic time warping の拡張を行った。具体的には生成モデルは予測される将来の行動とともに時系列の終了確率を生成し、dynamic time warping による時系列間のマッチングの損失とともに系列の終了確率が真の系列と一致するように損失を足し合わせる。

我々は行動カテゴリからなる可変長な時系列データセットを作成し、実際に予測モデルの性能評価を行った。結果的に通常の最小 2 乗誤差を使うモデルに対しては、系列長予測誤差は3割程度減少、dynamic time warping 損失は7割程度減少した。Dynamic time warping を用いた別の手法に対しては性能は同程度なものの計算速度の向上がみられた。

また、高効率なデバイスである Spiking Neural Network において時系列予測を行うための時系列生成手法を提案した(研究開発課題1(原田)との共同成果であり、時系列モデリング部での貢献)。Spiking Neural Network においては、各層の入出力が2値の時系列になるという特徴を持っている。我々は確率的生成モデルである variational autoencoder の生成に用いる潜在変数分布を別の Spiking Neural Network を用いることで2値の時系列の確率分布としてモデル化し、さらに時系列確率分布間の正則化項を kl 距離の代わりに maximum mean discrepancy を用いることで全モジュールを Spiking Neural Network により学習可能なモデルを提案した。

MNIST の画像データを時系列に符号化して行った予測実験により、通常の Neural Network を用いた時に比べて 3 割程度の予測誤差の減少と 3%程度の inception score の向上がみられた。また計算量において積の計算回数は1桁程度減少した。

課題推進者: 椋田悠介(東京大学)

研究開発課題5: 自然言語処理の研究開発

当該年度実施内容:

① CA 利用に即した汎用意味理解技術の研究開発

CA 利用時に発生する言語による情報のやり取りの状況を精査し、昨年度から CA 利用時の状況に合った意味理解タスクを検討してきた。

まず、自然言語処理の研究分野でこれまでに取り扱われてきた意味理解は、主に新聞記事などを対象として研究が進められてきた。そのため、文法的に正しい文語体で記述され、かつ、事実を不特定多数の他者に誤解なく伝えることを主目的とした文章に適した技術となっている。しかし、CA 利用時に発生する言語による情報のやり取りで扱われる文章は、口語的かつ対話的な文章が多く、基本的に 1 対 1 での会話のように比較的少数に向けて生成される文章と考えられる。こういった対象となる文章の違いは、利用するデータや方法論の違いとして検討する必要がある、単純にこれまで開発してきた意味理解研究の成果を適用するだけでは良質な結果は得られない。

これまでの自然言語処理研究において似た状況として、新聞記事ではなくブログやショートメッセージサービスのような、いわゆるユーザ生成コンテンツの場合には、その問題特有の現象を考慮しなければ良質な結果が得られないという知見がすでに得られている。このため、ユーザ生成コンテンツを対象とした意味理解の研究も、ウェブが一般化した 2000 年代以降活発に行われるようになった。今回の CA 利用時に特化した意味理解技術の開発は、ユーザ生成コンテンツに対する意味理解研究に近い設定ではあるが、いくつかの重要な相違点が存在する。例えば、CA と操作者、あるいは、CA とユーザは、事前にまたは対話を通して知識の共有がなされていることが仮定されるため、この状況を考慮した意味理解を実現する必要がある。以上の仮定される状況を踏まえ、CA 利用に即した汎用意味理解タスクとして、文章中の単語またはフレーズに対して、CA が知っている概念か

知らない概念かを特定する「用語同定タスク」を設計した。「用語同定タスク」は、従来から取り組まれている固有表現抽出/関係抽出、あるいは、ゼロ照応解析で培われた技術を中心として設計できる。一方で、言語的な外部知識(辞書やシソーラス等)を補助情報として活用することが必須となる。以上のことから、CA 利用に即した汎用意味理解の必要要件として、(i) CA 自身が知っている、或いは、知らない用語や概念を把握できる仕組みがあること、(ii) CA と操作者、あるいは、CA とユーザが事前にまたは対話を通して行なった知識の共有に基づく省略や代名詞化の外界照応問題を解決する仕組みがあること、(iii) 外界照応を解決するために、その場で与えられる文章のみならず、外部知識を持っている前提で意味理解を実行できる仕組みを持つこと、の三点を取り上げ、本課題において解決すべき要件とした。

ここで設計された用語同定タスクに対して、実験用データを作成した。設計当初は評価データのみ 3,000 文を作成する予定であった。しかし、人手でチェックする作業コストを、事前に自動で候補を列挙することによって大幅に削減することに成功した。そこで、削減した作業コスト分を更なるデータ作成に充てることとし追加で 12,000 文を作成し、合計で 15,000 文のデータを構築した。

② マルチモーダル意味理解の研究開発

前記(1)と同様に、タスクの設計と必要要件について考察した。(1)の場合では、言語情報のみを対象としているが、CA と操作者、或いは、CA とユーザが、視覚情報を代表とする各種センサー情報(暑い寒い、匂い、触覚など)を共有する設定の場合に、必要となる意味理解技術に違いが発生するかを検討した。視覚情報に限定した場合でも、上記「(i) CA 自身が知っている、或いは、知らない用語や概念を把握できる仕組みがあること」に関しては、物体検出した上でそれらの物体の知識を持っているかを検出する必要性があり、言語情報単体における既知および未知情報の管理と、それ以外の既知/未知情報の管理を同時に実施する必要がある。また、「(ii) CA と操作者、あるいは、CA とユーザが事前にまたは対話を通して行なった知識の共有に基づく省略や代名詞化の外界照応問題を解決する仕組みがあること」に関しても、視線により話者が何を指し示しているかを省略するといったことが考えられる。これらのことから、外界照応の先を視覚情報にまで拡張する必要性があると判断した。そこで、(1)で作成するデータに視覚情報から得られる物体などの情報を統合し、新たなマルチモーダルタスクとする。以上のことから、CA 利用に即したマルチモーダル意味理解に関しては、(1)で扱うタスクに対して、まずは視覚情報を追加したタスクを本課題において解決すべき要件とした。

そこで(1)で作成した実験用データに視覚情報(画像情報)を付与した。(1)で作成したデータは合計で 15,000 文となるため、本項目のデータも同様に 15,000 文のデータとなる。

課題推進者:鈴木潤(東北大学)

(4) 研究開発項目4:CA 協調連携の研究開発

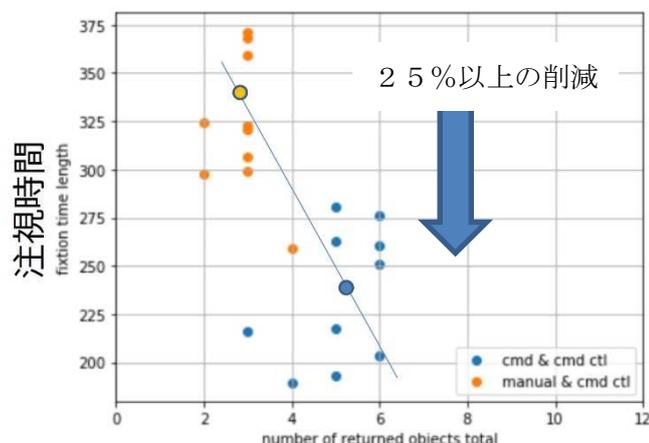
研究開発課題1:自在 CA 制御技術の基盤研究開発

当該年度実施内容:

① 自在 CA 制御技術の研究開発

一人が複数台の CA を遠隔操作することで、家庭や病室などの室内タスクを効率的に実行するための基盤要素技術を研究開発する。今年度は、前年度の CA 操作システムや学習システムの検討に基づき、システムの実装・評価実験を行った。具体的には、一人で2台のモバイルコンピュータ

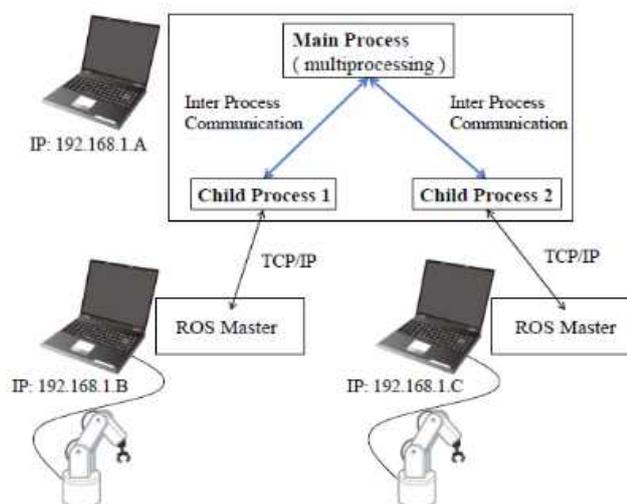
を操作し、机の上の物体を片付けるタスクについて実験を設計し、実験結果を詳細に解析した。その結果、完全な遠隔操作に比べ半自律化した CA では画面の注視量が 25%以上削減できることが示された。



② 自在 CA 制御プラットフォームの研究開発

複数台の CA(ロボット)を、遠隔操作を交えて協調させるためには、CA のハードウェアとソフトウェアを、複数台の協調、遠隔操作、半自律化といったこれまで独立に考えられて来た視点を融合することで選定・開発する必要がある。本年度は、昨年度に検討した複数台ロボットを制御する基盤システムソフトウェアを実装し、ROScore Bridge として公開した。

https://github.com/naka-lab/ros_roscore_bridge



③ インフラ整備と実証実験の実施

本研究開発課題を実施するためには、実際にタスクが想定する環境を構築する必要がある。また、開発を効率よく行うためには、この環境における開発作業をくまなく記録し、そのデータをすぐに生かせる仕組みづくりも重要である。さらには、研究開発項目 5 で開発されるシステムのプロトコルを導入することを検討し、本開発環境を大規模な実証実験に結び付ける。最終的には、他の研究開発課題の成果を統合し、構築した環境でテストを継続的に行うと共に、2025 年に開催される大阪万博などで大規模な実証実験を実施することを目指す。今年度は、開発や実験を実施するための環境構築を完了した。構築した環境の様子を以下に示す。



課題推進者:長井隆行(大阪大学)

研究開発課題2:階層的 CA 制御の研究開発

当該年度実施内容:

① 複数 CA によるタスクの階層構造を利用した制御

ロボットプラットフォームを構築し、事前定義したタスク構造モデルを用い複数台の協調も含むモバイルマニピュレーションタスクにおいて、77%の成功率となった。当初は 1 台のロボットのみを使用することを想定していたが、複数台の制御のためのライブラリを開発し、3 台のロボットの協調も実現した。さらに、タスク構造を学習するためのモデルを構築し、論文誌へ投稿した。また階層的構造化モデルに関しても、投稿準備中である。

② 学習モデル構築のためのフレームワークの開発

前記(1)のタスクの構造化モデルを簡潔に記述するため、時系列の階層構造が扱えるような方法論を定式化し、フレームワークを開発した。開発したフレームワークにより、従来 120 行程度の記述が必要な処理を 30 行程度で記述可能となった。さらに、ロボットの制御ソフトウェア ROS との連携を視野に入れ、フレームワークの拡張と基礎的な検討を行った。

課題推進者:中村友昭(電気通信大学)

研究開発課題3:生活環境対話技術の研究開発

当該年度実施内容:

① 人機連携によるクロスモーダル自在対話の実施

家庭や病院等において CA が利用者の支援を行うにあたり、薬の手渡しや物理的補助時に衝突可能性がある動作など、人間による遠隔操作やモニタリングが社会通念上求められるタスクが存在する。これらのタスクでは、動作の承認・緊急時の遠隔操作・モニタリング等をオペレータが行い、それ以外の状況では機械がタスクを遂行することが望ましい。この背景のもと、状況や確信度に応じて最適な人機連携が可能なクロスモーダル自在対話技術を構築する。

本年度は、家庭環境をサイバー空間上にリアルに再現したデジタルツインシミュレータ(DTS)を構築するとともに、1000 万枚規模の大規模画像データセットを収集した。さらに、言語データと非言語データを対応付けたマルチモーダルデータセットの構築に着手した。

② 複雑な自律連携タスクにおけるクロスモーダル自在対話の研究開発

環境中に複数の CA が存在する場合、利用者に対話しながら CA がタスクを最適に分担することが望ましい。本項目では、物理的状況・発話履歴・他 CA の状態に基づき、マルチステップの行動を計画するクロスモーダル自在対話技術を構築する。上記(1)と異なり、日用品を持ってくる等、社会受容されやすいタスクを対象とするとともに、自律性の高い複数の CA によるタスク連携を対象とする。

本年度は、家庭を模擬した DTS 上のクロスモーダル自在対話において、転移学習が可能な言語理解手法 Target-dependent UNITER を構築した。標準データセットを用いて評価を行い、相対タスク失敗率を 30%改善した。関連成果は、IEEE Robotics and Automation Letters 誌および IROS に採択された。

課題推進者: 杉浦孔明 (慶應義塾大学)

研究開発課題4:生活物理支援 CA の研究開発

当該年度実施内容:

① 生活物理支援のための適応的自在プランニング・ナビゲーション

生活環境において環境を学習し、常識的な事前学習知識と融合させながら、操作者の意図を理解してプランニングやナビゲーションを行い自在な生活物理支援を行うための人工知能およびロボティクス技術を開発することをこの研究項目の目的とし研究を行った。

当該年度では現場環境での学習に、事前学習もしくは常識的知識に基づく情報を融合させることで、新規環境導入時の学習を高速化させた。具体的には人間が常識的に有する知識を ProbLog と呼ばれる確率的論理プログラミング言語により表し、これから得られる推論結果を確率的に、場所概念モデルである SpCoSLAM による推論結果と融合させることで、新規環境で「物の置いてある場所」を高速に学習させることができることを示した。この内容は RoboCup Japan Open 2021 @Home DSPL Technical Challenge において実装しデモンストレーションを行うことで準優勝の成果もおさめた。

② 生活物理支援のための日常物体 CA 協調マニピュレーション

CA が生活環境や病室環境において生活物理支援を行うためには、置かれた物体を操作したり人に受け渡したりするのみならず、複数 CA の間で受け渡すプランニングとマニピュレーションを実現せねばならない。また、本プロジェクトが対象とする操作対象物体の種類は多様であり、また、それらが置かれる環境も多様であり、対象とする生活物理支援 CA の身体形状の種類も多様である。これらの多様性や新規環境における新規物体の存在にも対応できる適応的かつ協調的なマニピュレーション技術を開発するのが本項目の目的である。

当該年度では本グループが構築しているモバイルマニピュレータプラットフォームにおいて遠隔操作により物体把持を行う遠隔操作環境を構築し、操作者のログから把持点を学習するシステムを構築した。また生活物理支援 CA に物体認識を行わせ、そのカテゴリ情報をニューラルネットの条件情報として活用することで物体カテゴリ情報を活用させる方法を開発し、その有用性を検証した。結果として10種類以上の既知物体と3種類以上の新規物体に対して物体把持を実現した。また研究開発課題5(鈴木)の近接覚センサをロボットハンドに導入し、機械学習と融合させたシステムを構築するための準備を行うと同時に、協働を開始した。

③ 生活物理支援自在化フレームワーク開発と実証

多様な CA を自在化するための知能開発を効率化する生活物理支援フレームワークを開発する。本プロジェクトにおいては単一の生活物理支援 CA を開発するのではなく、多様な CA が協調し連携することを前提とする。これは生活物理支援 CA を自在化する開発を、様々に異なる環境で行動する、様々に異なる身体性を持つ生活物理支援 CA において行わねばならないことを意味している。本研究項目では、この開発を効率化するために CA の生活物理支援自在化フレームワークを開発する。

当該年度では生活物理支援自在化フレームワークを利用した CA により、具体的な生活物理支援タスクを1つ以上実現することを目標とし、これを達成した。具体的には WRS2020 愛知大会(経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 、新型コロナウイルスの影響で 2021 年 9 月 9 日(木)～12 日(日)に実施、<https://wrs.nedo.go.jp/aichi/>)のサービスカテゴリー「フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ」で定義されたタスク群に適用し、これらのタスクを達成し総合優勝(経済産業大臣賞)を始めとする四つの賞を受賞した。

また研究開発課題2(中村)と連携し確率的生成モデルに基づきロボットの知能化を促進する SERKET を生活物理支援自在化フレームワークに内包させていく共同研究を開始し、初期的な検討を進めた。

課題推進者:谷口忠大(立命館大学)

研究開発課題5:CA 触覚マニピュレーションの研究開発

当該年度実施内容:

① 触・近接覚センサに基づく自在操作技術の開発

前年度に製作した第 1 段階の触覚センサ搭載グリッパに引き続き、第 1 段階の近接覚センサ搭載ロボットハンドを製作した。本ハンドは、既成のハーモニック・ドライブ・システムズ社の指ユニットを用いて構成されたものであり、本開発においては、その指先部品として専用設計の近接覚センサを搭載した。構造的な工夫として、各指先から広範囲の近接領域を検出するための球冠状の指先形状に内蔵可能とし、さらに透明樹脂による被膜を行うことで、防水性と耐久性を確保するとともに、ゼロ距離まで検出可能な(すなわち触覚機能を内包した)近接覚センサとした。

また、新規技術として、近接状態にある対象物との位置・姿勢のリアルタイム測定に基づいて、把持を実行した場合の力学的な安定性を予測する手法を開発した。これまで、遠隔操作者にとって CA のハンドと対象物の位置関係がわかりにくい場合であっても、近接覚センサに基づく補正動作によって意図せぬ衝突を回避することはできた。今回の手法によって、以上に加えて、対象物とハンドの位置関係が把持に適したタイミングで自ずと把持が実行されるようにすることができるようになった。

評価実験として、遠隔操作を簡易的に再現した環境において、被験者がコントロールパッドでハンドを制御して物体把持を行う実験を行った。ハンドや把持対象物を直接視認できる条件では、近接覚センサ情報に基づく補助によってタスク所要時間が約 17%削減された。一方、CA の頭部および手首に搭載したカメラ画像のみを見て操作しなければならない条件では、近接覚センサ情報に基づく補助はタスク所要時間を約 48%削減した。今後、被験者を増やして詳細な評価を行う予定である。

このほか、研究開発項目4の他の研究開発課題に対して CA プラットフォーム用の近接覚センサの提案や提供を行い、連携開発を進めた。

課題推進者:鈴木陽介(金沢大学)

研究開発課題6:侵襲型 BMI による CA 制御の研究開発

当該年度実施内容:

① 侵襲型 BMI による CA 制御の研究開発

令和 3 年度は課題推進者の平田らがこれまでに開発してきた侵襲型 BMI システムを用いて CA を操作する方法の開発を進めた。

侵襲型 BMI を用いたアバター遠隔操作の基本設計に関しては、基本設計コンセプトとして侵襲 BMI で随意制御を行い、CA で自律制御を行い、両者を調和制御することで総合性能を向上させることとした。BMI による制御は人間の脳活動で CA を直接制御するため、随意的ではあるが、手の姿勢など微細な制御には不利である。一方、CA 側での自律制御は微細な自動制御には有利であるが、自律的であるがために随意性に欠ける面がある。人間の脳活動による BMI 制御と CA の環境認識による自律制御を調和させ、両者の利点を活かして、欠点を相補うことにより、全体として高い性能と自然な操作感の両立を目指すこととした。BMI と CA の調和制御を下記の式で表現することとした。

$$v_{cmd} = w_p \times v_p + (1 - w_p) \times v_a$$

評価関数(性能、操作感) \Rightarrow max

v_{cmd} : 調和制御出力 v_p : BMI による随意制御出力 v_a : CA による自律制御出力

w_p : 重み

CA の上肢機能(操作)に関しては、すでに保有する多関節ロボットアームをロボット制御開発環境 ROS 上に構築した逆運動学により速度制御することとした。この際、BMI 随意制御には、サポートベクター回帰にて頭蓋内脳波から推定された手関節位置の速度を用いることとした。また CA による自律制御では、3 次元物体自動認識により認識し対象物とその位置を目標として速度制御することとした。3 次元物体自動認識は、2 次元動画像から物体をリアルタイムで自動認識するシステム(YOLO v4)と depth camera (Real Sense 435)の位置情報を ROS 上で統合することにより実現する計画とした。この 3 次元物体自動認識にもとづいて認識した対象物を、ロボットハンドにより把持・把持解除するためには、ロボットハンドの姿勢を微細に制御する必要があり、これを CA により自律制御する方針とした。CA の下肢機能(移動)に関しては、同じ研究開発課題1(長井)と連携し、上記の調和制御を基本コンセプトとして開発する方針とした。

CA の仕様策定に関しては、このコンセプトのもと、CA の仕様として、サイバー空間上の CA と実空間上 CA を想定し、ロボット制御開発環境 ROS に上肢 CA のモデルを実装した。サイバー空間上の CA に関しては、他の研究開発項目で開発されているものを活用する方針とした、実空間上 CA としては、当面、現有するロボットアームで開発を ROS 上で進めるとともに、研究開発課題1(長井)と連携して HSR 等の全身型 CA を導入する方針とした。

ROS への CA モデル実装に関しては、先述の方針のもと、ROS に上肢 CA モデルの実装を進めた。まず、保有する多関節ロボットアームを逆運動学により速度制御するシステムを ROS 上に実装した。BMI 随意制御には、サポートベクター回帰にて頭蓋内脳波から推定された手関節位置の速度を用いた。また CA による自律制御では、3 次元物体自動認識により認識し対象物とその位置を目標として速度制御する方式を実装した。3 次元物体自動認識は、2 次元物体リアルタイム自動認識システム YOLO v4 と depth camera (Real Sense 435)の位置情報を ROS 上で統合して認識するシステムを開発し、実装した。さらに、対象物の認識結果にもとづいて、ロボットハンドの姿勢を微細

に自律制御して、対象物を把持、移動、把持解除できることを実証した(下図)。頭蓋内脳波からCAの速度を推定するには、脳波のフィルタ処理に必要な区間の関係上、56msを要するが、本調和制御の処理全体に要した時間は3.2msとリアルタイムに制御できることを実証した。CAの下肢機能(移動)に関しては、研究開発課題1(長井)と連携し、調和制御を基本コンセプトとして開発を進めた。HSRをROS上で目標地点まで調和制御する方法を開発し、これを筋電信号で随意制御できることを実証した。



3次元物体認識システムに関しては、これまでは物体にタグを張付して認識させる方式を採用していたが、新たにYOLOを導入することにより、タグなしで物体をリアルタイムに正確に認識できるようになり、汎用性を向上できた。

課題推進者: 平田雅之(大阪大学)

(5) 研究開発項目5: CA 基盤構築の研究開発

研究開発課題1: CA 基盤構築及び階層的 CA 連携と操作者割り当ての研究開発

当該年度実施内容:

① CA 基盤の構築

CA 基盤初期プロトタイプを構築し、シミュレーション環境、実社会環境での動作を確認した。昨年度策定した仕様に基づき、CA と CA 操作者を接続し、映像・音声ストリーム、CA 操作コマンド、CA 側からのセンサデータの送受信を実現する安定・低遅延な手法、および大規模実証を想定したシステムの仕様で安価に実現可能な構成を模索し、実現した。このプロトタイプには、CA 操作者同士が情報共有可能な黒板システム、映像・音声・操作コマンド等を蓄積するシステム、CA と CA 操作者の接続を管理するシステムが含まれる。これらのシステムを、10 人の CA 操作者を対象として、100 台の CA を模擬したプログラムを接続するシミュレーション環境での実験と、10 台の設置型 CA を接続する実社会環境での実験により動作することを確認した。

② 階層的 CA 連携層の構築

設置型 CA と移動型 CA に対応する CA データベースの初期プロトタイプを構築した。昨年度策定したデータベース仕様に基づき、データベースを構築し、設置型 CA (ATR 所有のアンドロイド、ヴイストン社製ロボット Sota) と移動型 CA (DoubleRobotics 社製 Double3、ATR 所有の移動型 CA Teleco) のレコードを作成した。CA サービスデータベースについても、同様に、昨年度のデータベース仕様に基づいて、模擬 CA サービス(受付、案内、見学)に対応するレコードを作成した。これらのデータベースを組み合わせて利用することで、活用可能な CA の組み合わせで、対象とする模擬

CA サービスが実行可能かどうかを判断できることをシミュレーションにより示した。

③ 操作者割り当て遠隔操作層の構築

CA 操作者データベース初期プロトタイプを構築した。昨年度策定した仕様に基づいて CA 操作者データベースを構築し、ATR 受付実証に参加している CA 操作者としての実験被験者 4 名を対象にレコードを作成した。このデータベースと、CA データベース、および CA サービスデータベースを組み合わせることで、提供する CA サービスに対して適切な操作者を割り当てることができることをシミュレーションにより示した。

④ CA 基盤機能実証実験

模擬 CA サービス提供場所(広域単地点・低顧客密度)として、一般企業(ATRを含む2社)のエントランスおよび共有スペースにおいて、項目(1)で構築した CA 基盤初期プロトタイプを活用し、受付・案内の模擬 CA サービスの実施を通じて、CA 基盤の機能実証実験を実施した。設置型 CA 2 種類(ヴイストン社製ロボット Sota、CommU)、および模擬 CA(CA を模擬したノート PC 上のプログラム)を接続し、CA 基盤初期プロトタイプを活用して映像・音声のストリームを介した基本的な通信が可能であること、CA に動作指令等を送ることができること、動作指令等の履歴を蓄積できること、接続セッションを管理出来ること、などを確認した。

課題推進者:宮下敬宏(国際電気通信基礎技術研究所)

研究開発課題2:利用者モニタリングと経験管理の研究開発

当該年度実施内容:

① 利用者・CA モニタリングの研究開発

利用者・CA モニタリング層では、利用者や CA の活動を CA 自体の持つセンサおよびセンサネットワークの計測データとして収集する仕組みを構築する。計測したデータは CA 経験管理層において対話データベース、タスクデータベースに蓄積され、研究開発課題1で定めるプロトコルを介して、他の研究開発項目が利用することが可能になる。本研究開発課題で想定される全ての CA 活動条件において、操作者が操作時に参照する利用者・CA の活動と操作者の操作履歴を含むモニタリングデータを記録する。

本年度は研究開発課題1と共同で ATR 玄関において CA 受付実証実験を継続的に実施し、その中で1人の操作者が1体の CA を操作する条件における利用者・CA の活動モニタリングを行った。約6か月間(105日間)の実験期間内に1人一回当たり最大4時間、合計209回にわたる利用者・CA 活動および CA 操作のモニタリングデータを記録し、CA 経験管理の機能検証に必要なデータを取得した。

② CA 経験管理の研究開発

CA 経験管理層では、利用者・CA モニタリング層で得たデータを活用して操作者の操作効率を向上させるために、同一タスク内および異種タスク間の CA 活動の類似性を利用したモニタリングデータ(CA 経験)の蓄積を行い、蓄積データの検索によって新たな利用者・CA 活動に対する適切な操作候補群を抽出することが可能な対話データベース、タスクデータベースを構築する。

本年度は、CA 受付実証実験および別途実施した被験者実験において1人の操作者が1体の CA を操作する条件においてのべ100体以上の CA 操作に相当する230回を超える利用者・CA 活動および CA 操作のモニタリングデータを取得し、取得データに基づくシミュレーションによって、1人の操作者が1体の CA を操作する条件において取得データ内にみられる CA 活動の類似性を利

用した操作負荷の削減効果を確認した。

課題推進者:内海章(国際電気通信基礎技術研究所)

研究開発課題3:CA 及び CA 基盤標準化

当該年度実施内容:

① CA のサービス機能仕様の記述方法の国際標準化

OMG の技術部会の一つ Robotics DTF (Domain Task Force)では、ロボット技術のモジュール化に関する国際標準化が進められている。これまでに策定された RTC (Robotic Technology Component) 1.1 仕様では、ロボットの機能モジュールを分散コンポーネントとして実装するための仕様が定められ、RoIS (Robotic Interaction Service) 1.2 仕様では、対話サービスのためのロボット機能コンポーネントの仕様記述方法および具体的な共通コンポーネントの仕様が定められている。

現在 OMG Robotics DTF では、RTC および RoIS 仕様の拡張に向けて、ロボットサービスの機能要件を記述するためのオントロジ RoSO (Robotic Service Ontology)の策定に取り組んでおり、今年度、本研究項目では、CA のサービス機能仕様記述方法の国際標準化に向け、ここに CA のサービス機能を記述するための仕様を提案し盛り込む活動を進めた。プロジェクトで構築が進められている CA のサービス機能の詳細を把握するため、定期的に研究開発課題1(宮下)や研究開発課題2(内海)のメンバーからのヒアリング調査を行い、ATR 受付サービスシステムを題材としたアバターサービスのシナリオ抽出や通信仕様の確認等を行った。その調査結果を詳細に分析することで、RoSO1.0 initial draft へ反映させた。また、3 か月ごとに開催される OMG の Robotics DTF 会議(今年度は全てオンライン開催)に参加し、関係者への提案仕様の説明、議論を行った。これらの活動により、RoSO1.0 initial draft の作成が進んだ。

当初の OMG のスケジュールでは、RoSO Initial Draft の提出期限が 2022 年 5 月中旬で、6 月の OMG 技術会議にて各提案者から提案内容プレゼンテーション、議論が行われる予定であったが、Covid-19 の影響で Robotics DTF の現地開催が難しい状況であることから、OMG において、これらが 3 ヶ月延長される見込みとなった。これを受けて、我々は、提案仕様のさらなる見直し・充実を図り、完成度が高い Initial Draft 文書の提出を目指す。

② CA 基盤のプラットフォーム仕様の国際標準化

前述の RTC 仕様および RoIS 仕様の下位レイヤ部分は分散コンポーネント技術として定義されており、これらの技術の上にロボット機能プラットフォーム仕様を定義することができる。OMG では RTC および RoIS 仕様の拡張に向けたロードマップにおいて、RoIS 仕様の中間層を RoSO として定義した上で、下位レイヤとしてのプラットフォーム技術と、上位レイヤとしての具体的なコンポーネントの定義を再検討することを示している。そこで、本研究項目で研究開発を進める CA 基盤のプラットフォーム仕様について、研究開発項目7で実施する社会実証実験やアバター共生社会企業コンソーシアムの関係者とも議論をしつつ、検討を進めた。具体的には、社会実証実験の様子を見学し、国立精神・神経医療研究センターの熊崎先生らのグループとメンタルヘルス領域におけるアバターのプラットフォーム仕様について、共に検討していく場を設けた。また、アバター共生社会企業コンソーシアムのシンポジウムに参加し、アバターユーザの意向の把握に努めた。これらの活動を通して得られた知見に基づき、RoIS2.0 の RFP に盛り込む内容の整理・検討を進めた。

③ CA 機能および操作インターフェース機能の国際標準化

OMG RoIS の上位レイヤとして定義したロボット対話サービスの共通コンポーネント機能と同様に、CA が必要とする機能および操作インターフェースが必要とする機能の実現にあたっては、機能のモジュール化とその定義を行う。前項と同様に、OMG においては RoIS の改訂を進めるにあたって、RoSO を利用して上位レイヤを再定義することを検討している。そこへモジュール化した CA 機能の定義を提案して国際標準化を進めるために、研究開発項目7で実施する社会実証実験やアバター共生社会企業コンソーシアムの関係者とも議論しつつ、検討を進めた。前項同様、社会実証実験の様子の見学、国立精神・神経医療研究センター熊崎先生らのグループとのメンタルヘルス領域におけるアバタープラットフォーム仕様を共に検討していく場の設置、アバター共生社会企業コンソーシアムシンポジウムへの参加を通じたアバターユーザの意向把握などの活動を通し、それらで得られた知見に基づき、RoIS2.0 の RFP に盛り込む内容の検討を進めた。

課題推進者: 吉見卓(芝浦工業大学)

(6) 研究開発項目6: 生体影響調査

研究開発課題1: 生体応答統合解析

当該年度実施内容:

① マルチオミクス解析を実施するための研究基盤の構築

京都大学の研究室においては、(i) 末梢血を流れる免疫細胞における個別の遺伝子発現を測定する系、(ii) 免疫細胞における網羅的な遺伝子発現を計測する系、(iii) 血漿由来の親水性代謝物を測定する系、そして、(iv) サイトカインやホルモンを測定する系を立ち上げた。(i)-(iv) の系を組み合わせることで、多階層の分子を測定・解析するマルチオミクス解析の予備的検討を計画通りに実施した。なお、(i) は次年度以降も京都大学にて、(ii)-(iv) は東北大学にその機能を移管する。

東北大学の研究室においては、研究室のセットアップに取り組んだ。R4 年度以降に (I) 遺伝子発現の網羅的計測、(II) 親水性代謝物の計測、(III) ホルモンやサイトカインの計測を実施するための基盤を構築した。

② 遠隔対話システムや従来アバターの利用者に対するマルチオミクス解析

予定通りオミクス解析を実施した。研究開発課題2(和泉)、4(住岡)、5(中江)と連携し、遠隔対話システムの利用が生体に与える影響を調査した。本実験の過程で同定しつつある物質の変動の意義や、これらの物質が生体影響を評価するマーカーとして機能しうるかを明らかにしていく予定である。

③ CA 利用者および操作者に対するマルチオミクス解析

予定通り予備検討を実施した。実験室環境を整備した上で、安定的に計測を実施できる条件を検討した。この検討を、次年度以降の CA 利用の生体影響の解明へとつなげていく。

④ 新しい遠隔対話システムに関する調査研究

昨年度同様に情報を収集し、やはりゲームの利用が従来アバターの生体影響を調べるために有用であることがわかってきた。候補として上がっているゲームについて、研究開発課題4(住岡)と共同で実験系への落とし込みを計画している。

課題推進者: 河岡慎平(京都大学・東北大学)

研究開発課題2: バイオマーカー探索

当該年度実施内容:

① 超網羅的なメタボローム解析システムの開発

血液中には約 1,000 種の既知代謝物および 2,000 種以上の構造未知の代謝物が含まれることが想定されている。生体内の代謝物総体 (メタボローム) は遺伝学的あるいは環境的要因の変化に伴い大きく変動するため高解像度の分子フェノタイプ解析法として広く知られている。今年度は各種クロマトグラフィー高分解能タンデム質量分析 (LC/HRMS/MS) 技術の高度化を行うことで、ヒトの血漿に含まれる未知代謝物 2,000 種以上のノンターゲットメタボローム分析法の基盤技術の構築に成功した。

② 遠隔対話システムや従来アバターの利用者に対する超網羅的なメタボローム解析

本項目では、遠隔対話システムやゲームなどの従来アバターの利用が人間の体にどのような影響を与えるかを、上記項目(1)で開発した超網羅的なメタボローム解析手法を用いて調査する。本解析においては、研究開発課題1 (河岡)、3 (春野)、4 (住岡)、5 (中江)において採取する各種体液検体を使用する。

今年度は、二人の人間が一对一で遠隔対話システムを利用したときの影響について昨年度開発したワイドターゲットメタボローム分析法を用いて評価した。メタボローム解析には、5 組 (男 4 名/女 6 名)×会話 (対面/Zoom)×採血時期 (前/後) = 40 検体、を測定試料として使用した。ヒト血漿試料からは、149 種の親水性代謝物、48 種の生理活性脂質 (ステロイドなど)、570 種の脂質分子、合計 767 種のメタボローム情報が得られた。取得した定量的なメタボローム情報を用いて階層クラスター解析を実施したところ、全体の傾向として、会話の前後の変化よりも、個人差の方が大きいことが分かった。これは、対面および Zoom 会話を通して、人体には共通するきわめて大きい代謝変化が起こっていないことを示唆するものである。続いて、血中の代謝物プロファイルの個人差をなくし、会話の前後での各代謝物の変動率を指標に探索した。その結果、対面会話あるいは Zoom 会話の前後で統計的に有意に変動する数種類の代謝物を見出した。さらに、各代謝物の変動率のデータを用いた部分的最小二乗回帰判別分析 (Partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)を行うことで、対面会話と Zoom 会話の影響の違いを識別可能な 20 種のバイオマーカー候補代謝物の発見に成功した。

③ CA 利用者および操作者に対する超網羅的なメタボローム解析

今年度は、CA を利用したときの影響について昨年度開発したワイドターゲットメタボローム分析法を用いて予備検討を開始した。具体的には、アバター (Hugvie) を使用した前後での血中代謝物の変化について 7 検体の血漿試料を用いたメタボローム分析を完了させた。現在、対面会話や Zoom 会話で変動した代謝物との差異を含めて考察を深めている。

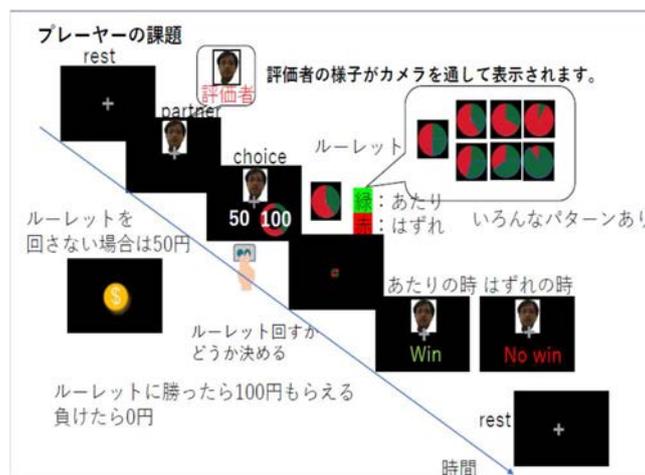
課題推進者: 和泉自泰 (九州大学)

研究開発課題3:脳反応計測

当該年度実施内容:

① 脳反応解析を実施するための研究基盤の構築

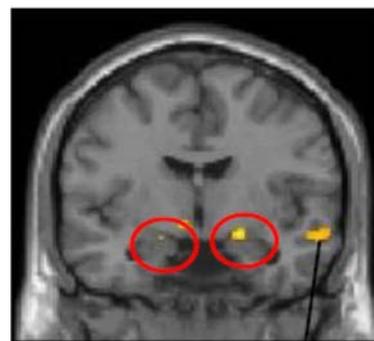
MRI 装置内の Zoom 会議を模した状況で被験者に様々な確率と金銭の条件を提示し、ギャンブルするか安全なオプションを選択するかを意思決定を行わせた(下図)。この課題には観察者がいて、各試行においてギャンブルに勝つと賞賛の表情、逆に負けると侮辱の表情を動画でフィードバックした。主に、フィードバックがヒトの表情の場合と CG アバターの場合を比較した。本課題において、主観評定、視線の動き、行動変化を計測し、実際に 30 人の被験者から fMRI データを取得した。



② 遠隔対話システム/CA 利用者および操作者に対する脳反応解析

まず 30 人の被験者の行動から、CG アバターが評価者となる場合はヒトが評価者の場合よりも、ギャンブルを選択する確率が高くなることが分かった。さらに、同じアバターであっても、少女アバターではゾンビアバターよりもギャンブル率が高かった。これらの観察は、CG アバターを用いることでヒトの表情が意思決定に対して持つネガティブな影響を低減できる可能性を示唆する。

次に fMRI データの解析を行った。侮辱表情のフィードバックをヒトとアバターで比較したところ、ヒトの場合で優位に扁桃体の活動が高かった。また、ギャンブルの成功確率は低い成功すると金額の大きい条件の意思決定時にヒトとアバターを比較すると、ヒトの場合に扁桃体の活動が有意に高かった(右図)。これらの脳反応計測データはヒトが評価者であるときに被験者が選択する安全な意思決定オプションが扁桃体の活動により生み出されることを示唆する。被験者には評価者の実体は同一であり、その外見がヒトかアバターか違うだけであることを教示している。そのような状況でも扁桃体の活動が異なり、意思決定が変わることは興味深い。



課題推進者: 春野雅彦(情報通信研究機構)

研究開発課題4:CA を用いた生体反応実験

当該年度実施内容:

① 遠隔対話システムや従来アバター、CA を利用する実験と CA インターフェースの構築

予定通り血液を伴う実験を実施した。研究開発課題1(河岡)、2(和泉)、5(中江)と連携し、20 人の被験者に対して、親しい間柄の2人でペアになってもらい、それぞれのペアに对面での対話、

zoom を用いた対話を行ってもらった実験を行い、その前後における血液を採集する実験を行った。対話においては、親密感を高める質問を用意し、それを互いに質問しあう形で2時間行った。その前後で採血を行う実験を行った。また、研究開発課題1(河岡)と協力しながら、従来アバターを操作したときの生体影響調査として、従来アバターとして、ビデオゲームの生体影響に関する予備検討を行った。ビデオゲームを4時間行い、その前後での血液検査を伴う実験を延べ8人の人間で行った。これらの実験を基に他のグループで血中内物質の分析が進められた。

また、対話中の複数の行動・生体信号を同時に計測するための行動・生体信号同時計測システムを構築した。これにより脳波や脈拍、皮膚体温などの生体信号に加え、音声や動画、姿勢を同時に計測することができるようになり、対話中の行動が生体に与える影響を検討できる準備が整った。さらに、従来アバターや CA 利用時に生体に影響を与えうる要素を検討するための対話シミュレータを開発した。

② 遠隔対話システムや従来アバター利用者に対する行動・生体信号解析

予定通り遠隔対話システムや従来アバターを利用したときの行動・生体信号解析を実施した。今年度前半に開発した行動・生体信号同時計測システムを用いて、受付業務において遠隔操作型アンドロイドを使用した際の操作者の行動、生体信号データを延べ 60 名分収集した(図8)。そのデータを用いて、生体信号変化の予測などの検討を行った。また、受付業務のパフォーマンスに影響を与えうる操作者の認知負荷が生体に与える影響を調査するために、開発した対話シミュレータを用いて、いくつかの状況での操作者の行動・生体信号を 25 名分収集し、認知負荷の状態を分析した。

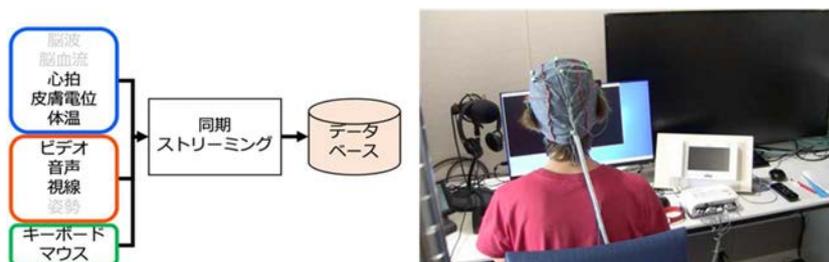


図 8 行動・生体信号同時データ収集システムを用いたデータ計測

③ CA 利用者および操作者に対する行動・生体信号解析

予定通り、延べ 5 人の予備検討を行った。具体的には、研究開発項目1研究開発課題1(石黒)が開発している Sota100 システムを用いて、保育園に設置した Sota を遠隔操作してもらいながら、登園時の声掛けや健康チェックを行う業務を高齢者に行ってもらい、その際の行動・生体信号計測と解析を検討した。高齢者には、NIRS や視線計測装置、腕時計型の生体信号計測装置を装着してもらい、実際に業務を行ってもらった。その結果、正確な計測にはヘッドセットなど、遠隔操作に必要なシステムだけでなく、フェイスガードなど新型コロナ感染予防装具も考慮しながら行動・生体信号計測用装置の選定をする必要があることが確認できた。採血も行いながら詳細な行動・生体信号の計測を可能にするための倫理審査も承認されており、来年度には採血も行いながら本格的に計測を進める。

課題推進者:住岡英信(国際電気通信基礎技術研究所)

研究開発課題5:ホルモン検査と健康基準策定

当該年度実施内容:

① 遠隔対話システムや従来アバターの利用者に対するホルモン測定

2人の人間が1対1で遠隔対話システムを利用したときの影響を調査するため、周囲の環境に影響を受けないための空間を構築した。環境ノイズが除去された空間を構築するためのシールドルームを設置し、遠隔対話システムを利用している被験者に対するホルモン測定を行った。2022年2月までに、22名(44検体)についてホルモン測定を行い、全44名(82検体)について分析を行った。分析の結果、対面条件の方がコルチゾールが減少することが分かり、対面で話す方がよりリラックス効果があると考えられた。成長ホルモンについては、会話によって減少することを認めたが、この変化が何を示すのかについては今後検討する。オキシトシンは、仲のいいもの同士の会話であってもどちらの条件でも変化を認めず、本研究デザインでは有用なマーカーではなかった。エンドルフィン是对面での会話で上昇傾向を認めていることから、対面条件の方がより会話が気分良く行えている可能性はあると考えられた。

またホルモン測定と同時に心理アンケートも実施した。その分析の結果、対面条件では抑うつ・不安を軽減する効果がより強く表れる可能性が示唆された。これはホルモン検査でコルチゾールの減少を対面条件だけで認めていることに一致する。

② CA利用者および操作者に対するホルモン測定

CAによって生じるストレスを評価するため、28名34検体について予備検討を行った。会話前と後、同じ相手に対して2回行う実験デザインの時には、合計4回の検体を採取した。測定したホルモンは、エンドルフィン、コルチゾール、成長ホルモン、オキシトシン、DHEA-S、テストステロン、エストラジオールであった。これまでのところ、いずれのホルモンに関しても何か意味があると考えられる変化を認めていない。

課題推進者:中江文(国際電気通信基礎技術研究所 4/1 着任)

(7) 研究開発項目7:実社会実証実験

研究開発課題1:企業連携実証実験基盤の開発・運営と企業コンソーシアムの活動支援

当該年度実施内容:

① 実証実験基盤(公開版 CA 基盤(ミドルウェア)、CA、センサシステム)の構築

研究開発項目5と連携して、CA基盤初期プロトタイプをATRでの企業エントランスでの受付実証実験に活用できるように、操作者1名、設置型CA1~3台で活用できるように調整し、実験で活用できることを確認した。センサシステムとしては、2次元LiDARおよび3次元LiDARを活用した人位置計測システム、ネットワークカメラシステム等を、ATR以外の機関へ提供できるよう運用体制を整えた。CAとしては、移動型CA(Double Robotics社製Double3)、設置型CA(ATRが所有するアンドロイド型ロボット、ヴイストン社製ロボットSota、CommU)などの異種CAがCA基盤に接続可能であることを確認し、また同種CAとしてSota3台が接続できることを確認した。同様に外部機関へ提供できるよう運用体制を整えた。これらを活用して接客サービスが可能であることを確認した。さらに、移動型CAと設置型CAの機能を併せ持つ移動型CA標準プロトタイプを5体試作した。これらを実証実験で活用し、次年度以降の量産型CAの仕様策定に繋げる。

② 実証実験拠点の構築

大阪市内の拠点として、従来よりロボットなどを活用した社会実証実験を実施している複合商業施設であるアジア太平洋トレードセンター(ATC、大阪市住之江区)を一時的な拠点として整備した。また、次年度に構築を計画している東京の拠点として、今後の社会実証実験のしやすさから、水道橋駅にあるベンチャー企業向けインキュベーションオフィス IGNIS(東京都千代田区)を候補として選定し、運営会社と交渉を開始した。コロナ禍の影響により、企業と連携した外部での実証実験の実施は困難であったため、昨年度構築した実証実験拠点スモールセットを活用して、ATR エントランスでの受付実証実験を長期的(6ヶ月以上)に継続して実施し、拠点に必要な機能、機器等を整備した。また、次年度以降に実施する企業連携実証実験のための予備的な実験を、大阪、東京、それぞれにおいて実施し、拠点および実証実験基盤に必要な機能、機器等を検討した。

③ 企業連携・実証実験運営

企業連携・実証実験運営を進めるため、アバター共生社会企業コンソーシアムを設立した(2021年8月に設立、会員数: 68 法人(2022年3月末現在))。本企業コンソーシアムの情報会員から、自社事業での CA 利用を検討したい企業を募り、3つの分科会(ヘルスケア・医療分科会、教育支援分科会、IT インフラ分科会)を立ち上げた。2021年度は、企業コンソーシアム全体のシンポジウムを2回、分科会を4回実施した。全体シンポジウムでは本プロジェクトの成果と関連分野動向を共有すると共に、CA 関連事業を既に実施している企業を事例として紹介した。分科会では、それぞれの分科会に参画した企業(合計12社)と、各分野での事業事例(ヘルスケア・医療で30事例、教育支援で20事例、IT インフラで20事例)を検討し、CA サービス実証実験企画を検討した。受付・案内サービス、および接客サービスについては、ATR での受付案内実証実験を継続的に実施して、その内容をコンソーシアム参画企業等に紹介し、各企業の業種・業態での受付・案内・接客サービスを検討した。ただし、コロナ禍の影響により実証実験の企画検討、予備検証までは実施できたが、本実験はやむを得ず次年度に延期した。

課題推進者:宮下敬宏(国際電気通信基礎技術研究所)

研究開発課題2:発達障害・うつ病患者実証実験研究

当該年度実施内容:

① 発達障害者に最適な表情・動作の設定を自動調整できる CA の開発

発達障害患者はヒトとのコミュニケーションが苦手である一方で、CA に対しては自己開示可能なケースが少なくない。一方で、発達障害者はロボットの表情、動作との相性から受ける影響が大きく、発達障害者にロボットを使用するにあたり、発達障害者の個性を考慮し最適な表情・動作の設定を自動調整できる CA の開発は喫緊の課題となっている。

本項目においては、発達障害者の発達障害症状評価、認知機能・言語能力・適応行動・感覚特性といった患者情報を収集する。発達障害者に CA とインタラクションしていただき、個々の患者の特性・状態に最適なパラメータを設定し、患者情報・会話及び生理データ・個々の発達障害者に最適なパラメータから成る“データベース”を構築する。構築したデータベースを基に個々の患者に最適なパラメータをモデル化する。その結果に基づき、特徴的な要素を検出し、個々の被験者臨床データに対応した表情・動作の設定を自動調整できるようにプログラムを開発する。

当該年度は発達障害者60名分の患者情報およびCAとのインタラクション時の会話及び生理データを収集した。また発達障害児が通う教育施設で多数の実証実験を行った。

② うつ病患者の精神症状に合わせた最適な表情・動作の設定を自動調整できる CA の開発

うつ病患者は過去の暗い話などネガティブな会話の内容については、ヒトより CA に自己開示可能なケースが多い。一方で、うつ病患者は精神状態により CA の表情、動作から受ける影響が大きく変化するため、うつ病患者に CA を使用するにあたり、患者の精神状態により随時最適な表情・動作の設定を自動調整できる CA の開発は喫緊の課題となっている。

本項目においては、うつ病患者の当日の精神状態についての情報を収集する。CA とインタラクションしていただき、個々の患者の精神状態に最適なパラメータを設定し、患者情報・個々の患者の精神状態・個々のうつ病患者に最適なパラメータから成る“データベース”を構築する。構築したデータベースを基に個々の患者に最適なパラメータをモデル化する。結果に基づき、特徴的な要素を検出し、個々の被験者の精神状態に対応した表情・動作の設定を自動調整できるようにプログラムを開発する。

当該年度はうつ病患者 60 名分の精神状態についての情報および CA とのインタラクション時の会話及び生理データを収集した。また実証実験を多数行った。

課題推進者:熊崎 博一(長崎大学 4/1 より着任)

研究開発課題3:高齢者実証実験研究と企業コンソーシアムの運営

当該年度実施内容:

① 高齢者用遠隔操作インターフェースの開発と改良

令和3年度は、年度後半の実証実験に向け、高齢者向け遠隔操作システムのプロトタイプを実装した。遠隔操作者の割り当てや CA の半自律制御によるシステム補助を最終的に行うことを念頭に、CA からの映像・音声配信、操作者からの映像・音声配信には Selective Forwarding Unit (SFU) を介して WebRTC による実装を行うとともに、遠隔操作クライアント・CA の制御に MQTT over SSL もしくは MQTT over WebSocket による実装を行った。遠隔操作クライアントのインターフェースは Web ブラウザ/Javascript により実装し、後述(2)の実験に参加した高齢者の意見を参考に、適宜改善を進めた。下図にインターフェースの例を示す。



インターフェースの評価に関しては、項目(2)の実験に参加した高齢者を対象に、アンケートおよび聞き取り調査を行った。参加者ほぼ全員がロボットを操作して楽しかった、面白かったと回答し、相手が楽しそうな反応を返すのでうれしい、ロボットになりきって相手と話すことが楽しい、など高評価が得られた。他方、遠隔操作システム自体については、遠隔操作によるタイムラグ、ロボットの声で話すための音声認識による遅延、ロボットの話しているタイミングが分かりにくい、マウス操作が難

しい、ボタンが多く操作が難しい、などの感想が得られた。このような点については、引き続き改良方法を検討していく必要がある。

② 実証実験のデザイン・実施・評価

令和3年度は、上記(1)で開発した遠隔操作システムを用いて、以下の実証実験を実施した：

- ・児童への絵本の読み聞かせ(7月、堺市泉が丘駅)
- ・区役所、地域の案内(7-8月、12月、堺市南区役所)
- ・大型児童館での館内案内(8月、11月、堺市泉が丘駅)
- ・小学校での認知症サポーター養成講座支援(11月、2月、堺市上神谷小学校、若松台小学校)
- ・小学校での授業支援(11月、3月、堺市桃山台小学校)
- ・糖尿病クリニックでの療養指導(9月～、金沢市内クリニック)

下図に、小学校での授業支援の様子を示す。



図：小学校での実験の様子。小学校に設置した CA8 台(図左)に対して、別の場所(モール内の貸会議室)から高齢者が遠隔操作を行った(図右)

一連の実験において、絵本読み聞かせ、館内案内、授業支援、療養指導など様々なタスクが対象とされたが、いずれについても問題なく実行できている。特に糖尿病の療養指導は専門性が高い内容であるが、画面の指示に従うことで実行できるよう、専門の医師・看護師と検討、開発を進めているものであり、スキル・経験が不十分なナースや、外来での指導と比べても高い効果が得られているものと思われ、効果の検証を進めている。

課題推進者：西尾修一(大阪大学)

研究開発課題4:5G 通信環境の研究開発

当該年度実施内容：

① 5G 通信システムの構築の実施

2021年12月にローカル5G用無線局の免許を取得し、スタンドアロン(SA)構成を用いた5G通信システムの運用を開始した。実効スループットと通信遅延を計測およびアプリケーション動作試験を実施し、2022年1月18日から2022年3月18日までの2ヶ月間の連続稼働を確認した。実効スループットは、アップリンク通信速度が45Mbps、遅延は30msであり今後向上を図る。

また、オープンソースソフトウェアであるOpenAirInterfaceをベースとし、約1万行の修正と機能追加を行い、SA構成による自作の5G通信システムを構築した。機能追加により

- ・100MHz帯域(273リソースブロック利用)
- ・アップリンク用スロットの拡大(最大4スロット)

- ・端末の離脱確認、再接続処理
- ・フレームロス率に応じた変調方式および符号化率の変更

が可能となっている。これらの機能拡張によって、5G 対応スマートフォン接続時のアップリンク通信速度が 150Mbps に向上し、116 時間維持できることを確認した。ダウンリンク通信については、7 日間の動画ストリーミングが可能であることを確認している。

自作の 5G 通信システムは、5G コア部に Open5GCore を用いた系統 1 と Open5GS を用いた系統 2 の 2 種類を構築している。Open5GCore に対して試験機を用いて接続負荷試験を実施し、一部のソフトウェア修正を加えることで 1000UE の同時接続が可能であることを確認した。1000UE は試験機のライセンスによる上限である。

自作の 5G 通信システムを用いて、CA 通信帯域の予測・割当アルゴリズムの研究開発を実施した。移動する CA の存在確率計算を MEC サーバで行い、0.5ms 周期で存在確率に基づいてリソースを割り当てることに成功している。

課題推進者：村田正幸(大阪大学)

(8) 研究開発項目 8: アバター社会倫理設計

研究開発課題 1: アバター社会倫理設計コンソーシアム運営とアバターコミュニケーションの研究

当該年度実施内容:

① 話者動画データの収集とデータセットの作成

独自のデータとして、日本、インド(使用言語は英語)、フランス、ドイツの4か国の話者データを収集するために動画サイトからビデオを各 100 以上収集した。ビデオ内には話者以外のものが写っていたり、資料映像が流れるシーンなどがあるため、これらをデータセットから除外するため、不要部分のアノテーションを行い、データの整備を行った。この作業は約 7 割のビデオについて完了している。さらにこれらに対し、OpenPose による姿勢データを取得した。図9に収集したデータの一部を示す。さらに、データのフォーマットなどを調整し、米国 CMU で作成された話者データ PATS と統合できるようにした。これにより 5 カ国、500 以上の YouTube ビデオから話者データを取得できる環境が整った。



日本話者



インド話者

図 9 : 収集した動画の例

② 話者の印象と動作との関係の調査

今年度は、個人による印象の違いに着目し、非言語行動の特徴を学習するモデルについて検討し、印象が異なる個人と非言語行動との関係を調査した。PATS データセットを用いて個人の動作特

性を学習する Style Transfer モデルについて検討し、予備調査的に学習モデルを作成した。その結果、Style Transfer の手法は動作の個人特性の学習に有効であることが確認できた。

課題推進者: 中野有紀子(成蹊大学)

研究開発課題2:モラルコンピューティングの研究開発

当該年度実施内容:

① 移動型 CA のモラルコンピューティングの研究開発

移動型 CA に関して生じるモラルに関する問題について、CA 自身がその行動の適切さを判断し、不適切な場合には適切な行動に変更したり、その操作を無効にしたりするというモラルコンピューティング機能の研究開発に取り組んでいる。本年度はこのために、規範となるようなモラル行動の学習技術の構築に向けて、データセットの構築に取り組んだ。

移動型 CA の基本的なシステムを実装したうえで、参加者が絵画展の来場者役となる場面を設定して、データ収集実験を行った。実験参加者の一人が CA を使って絵画展を見学した。その際、CA のカメラから周囲状況を把握しつつ、ジョイスティックにより CA を操作した。CA を使用した参加者 25 名の操作データを収集した。収集した操作データには、適切な良い操縦場面と、不適切な操縦場面(例えば、CA が周囲の人に近づきすぎてパーソナルスペースを侵害したり、後方走行や高速走行など危険な動作をしたりするなど)の双方を含む。CA 制御の適切さは、オペレータによって個人差が大きい様子も見られた。これらの 25 名の操縦について、データのラベリングを行い、CA の適切な行動(規範となる行動)と不適切な行動の場面を 100 件以上同定し、モラル行動の学習に使えるためのデータセットを構築した。

データセットの構築のため、人々と CA が同じ空間で移動する場面を準備し、その場で起きた状況をデータ化した。ショッピングモールや博覧会など、近い将来に CA が利用されそうな場所において、人々と CA が自由に移動する場面を対象とした。そのような忙しい場所で壁に貼られている情報を確認する、歩きスマホをする、などの行動は日常生活の中でよく観察される。そこに CA が参加して移動型 CA との生活の中で自然的に起こる場面を対象に、データ収集実験を行った。合計で 25 人の参加者が、通行人がいる状況において CA を操作し、CA から見える場面、参加者の顔の表情、操作の命令記録、部屋全体の状況、など様々なデータを収集した。収集後にラベル付することで、20 人以上の良い操縦行動・悪い操縦行動を収集することができた。



図:絵画展場面での CA 操縦データ収集における不適切な操縦場面の例(左)と自由に移動する場面におけるデータ収集の様子(右)

② CA が対話する際のモラルコンピューティングの研究開発

CA が対話に用いられる時に生じるモラルの問題について、CA 自身がその行動の適切さを判断し、不適切な場合には適切な行動に変更したり、その操作を無効にしたりするというモラルコンピューティング機能の研究開発に取り組む。本年度はこのために、モラルに関する問題状態を検出する技術の構築に向けて、データセットの構築に取り組んだ。以前に行った、ショッピングモールでのフ

ワールド実験のデータから、来訪者がロボットに話しかけた発話を収集することでデータセットを構築した。データは、複数の視点からのカメラ画像とロボットに搭載されたマイクによって記録されている。そのうちの、約 21 時間の映像を分析し、今回の分析対象となるようなものとして 1701 の発話候補を抽出した。次に、3 人のコーダーがこれらの発話を聞き、どのような態度が表されているか、言語的内容が理解可能かをラベル付けした。言語的内容が理解できない発話や、ラベル付けされた態度がコーダの間でコンセンサスが得られない発話を削除した。結果として、1403 のラベル付けされた発話を得た。755 の中立的態度、321 の冗談的態度、327 の攻撃的態度である。

課題推進者: 神田崇行(京都大学)

研究開発課題3:モラル行動の研究

当該年度実施内容:

当該年度は、前年度に引き続いて、アバター社会において生じる可能性のある倫理的問題について、人間と CA のモラル行動、モラルインタラクションの観点から探求を行なった。また前年度に特定した倫理的課題について複数のステークホルダー間の議論を行った。とりわけ「アバター社会倫理設計コンソーシアム」の主催するイベントにおいて、企業や市民、倫理学者、教育者などの多様な人々と議論をしながら人間と CA のモラル行動に関するアバター社会倫理について考察した。以下、各イベントにおいて得られた知見を記す。

アバター社会倫理設計コンソーシアムのミーティング(二回実施)では、自律的なアバターによる犯罪や非倫理的行為についての処罰の可能性などについて議論し、アバターに対する所有者の依存関係などに依存して変わるだろうという結論を得た。またアバターのサービスが終了したときのデータポータビリティの必要性についても議論し、データポータビリティはユーザーにとって望ましいものであるが、競争法的な観点からは必ずしも望ましいものではないという議論になった。

モラル行動研究のためのワークショップ等(三回実施)では、アバターやメタバースの可能性について、様々なアイデンティティを試したり、色々な社会の在り方を実際に実験できる場であるという期待が持たれていることが分かった。また VTuber に関する権利について、著作権や人格権、肖像権、パブリシティ権などが拡張される可能性があることが分かった。ビデオゲームに関する倫理的問題や依存などの危険性はアバターなどについても同様に取り組むべきであることが分かった。

市民を招いた対話イベント(二回実施)では、一般の人々の感覚として、自分とは違う属性(ジェンダーなど)を持ったアバターを持つことが興味深いと感じられることが分かった。また障害者などの支援への期待の大きさや、反面、アバターの表象に関するジェンダー問題への懸念の大きさが実感された。

倫理学者等を招いたモラルハッカソン(一回実施)では、将来の倫理の形として、科学的知見に基づきながら、現実的に人々の生活を充実させるための道徳を広めていく必要がある、ということが論じられた。

課題推進者: 久木田水生(名古屋大学)

研究開発課題4:プライバシー問題の研究

当該年度実施内容:

① CA の利用とプライバシー

法的課題として、(A)CA の法人格性、(B)CA に関するプライバシー理論、(C)CA となりすまし、(D)CA とプロファイリングの論点を見だし、その成果は人工知能学会誌の第 36 巻 5 号に「サイバ

「ネティック・アバターとプライバシー保護を巡る法的課題」というタイトルにて公表した。CA とプライバシーを巡る論点は他にも考えられるが、当面の主な検討課題は抽出できたと考えられる。

② CA のなりすましとプライバシー

CA のなりすましについては、上記の人工知能学会誌にて一部検討を行った。また、総務省情報通信政策研究所 AI 分科会にて、2022 年 1 月 27 日、CA のなりすましにより想定される被害、CA がなりすましを受ける場合と人間がなりすましを受ける場合の違い、メタバースにおいて講じるべき事前・事後の対策などに関する研究成果を報告した。加えて、ジュリストの対談企画に参加し、(1)及び(2)に関する課題を紹介し、AI と法の研究領域における第一人者(小塚荘一郎先生、上野達弘先生、中崎尚先生、茂木信二先生)と対談を行った。令和 3 年度の研究によって、CA のなりすましを巡る主要な課題を抽出し、現時点において考え得る対応策は考察できたと考えられる。

課題推進者: 石井夏生利(中央大学)

研究開発課題5:アバター法の研究

当該年度実施内容:

① 法制度(法令その他の規範)及び個別の検討課題抽出の実施

いわゆる「ロボット法」として研究が醸成されてきた知見に基づき、サイバーフィジカル社会に適用される「アバター法」ともいうべき特有の新たな法的論点について、CA を有体物と無体物に分類し、それぞれの環境下で起こる法的課題を抽出し、新たな法整備やガイドライン等の規範策定も含めた提言を行った。

また、各種実証実験の実施に伴う課題確認のための各研究グループとの連携及び検証として、「アバターモラル体験会」を実施した。アバター利用におけるモラル問題を検討する実証実験として、通常の利用方法のみならず不快な言動を発するなどの利用を試行し、操作者や利用者が主観的及び客観的にどのように感じるかを検証した。当該検証に基づき、アバターが社会利用される際に想起される倫理的・法的問題を把握し、各研究グループにおいて実施する実証実験においても汎用的に想定し得る問題を抽出した。

② CA の法的位置づけの明確化

CA の存在についての法解釈の明確化を行うことにより、社会制度の構築に向けた具体的な取り組みを実施するため、古代ローマ法から現代にいたるまでの代理権に関する議論、電子法人格や、電子エージェントに関する国内外の議論や法的枠組みを踏まえ、「個人CA」と「法人CA」に関する法的課題の整理を行った。また、特に CA の存在証明、認証に関連して、「顕名CA」と「匿名CA」さらに「連結可能匿名CA」「連結不可能匿名CA」を体系的に整理し、CA の利用に伴う法令遵守に必要な基準(法解釈の明確化)に向けた検討を行った。

③ 国際的な動向の調査と分析

2021 年 4 月 21 日に公表された EU の「AI 整合規則提案」について、AI の適合性評価と認証という観点からの分析と研究を行い、今後の CA の社会受容に際し、世界市場における CA の上市や第三者機関による認証制度の動向と、CA の認証に関する国際的な枠組みの策定においての日本の対応のあり方について検討と提言を行った。

課題推進者: 新保史生(慶應義塾大学)

研究開発課題6:アバターの社会実装課題研究

当該年度実施内容:

① 特定の社会的地位にある人物 CA の社会実装に向けて検討が必要な課題の抽出と検証

歴史上の人物、公人や公職に従事する人物や著名人など、特定の人物のアバターを利用する際に検討が必要な課題と、公的な業務に従事するにあたって検討が必要な事項と課題に関する研究については、選挙におけるアバター利用の可否について公職選挙法上の検討を行い、その結果を論文「インターネット選挙運動に関する近時の論点」月刊選挙 75 巻 2 号(2022 年 2 月)11-19 頁で公開した。当該誌は、議員や議会事務局関係者、選挙管理委員会関係者など、選挙の関係者が購読することが多い専門誌である。

議会において利用する際に問題となる点については、都道府県議会議長会デジタル化専門委員会において意見交換を行い、その成果は都道府県議会議長会デジタル化専門委員会の報告書(令和 3 年 6 月)において新たなデジタル技術の活用の必要性として言及されている。また「都道府県議会におけるデジタル化の推進」神奈川県議会議会改革検討会議(2022 年 3 月 23 日・神奈川県議会)においても、県議会におけるデジタル化に際してアバター利用の可能性について紹介し、出席者と意見交換を行った。

課題推進者:湯浅壘道(明治大学)

3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

(1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

代表機関のPM支援体制チーム

PM支援体制チームは小泉智(国際電気通信基礎技術研究所(株)客員研究員)・上野ふき(大阪大学大学院基礎工学研究科特任助教)・橘英希(同)・立花達也(大阪大学経営企画オフィス特任助教)の他、大阪大学大学院基礎工学研究科の研究協力係や契約係の職員によって構成される。主に小泉がプロジェクト計画・進捗管理等の技術補佐を、主に橘が課題推進者との連絡・調整・とりまとめの事務的補佐とJSTとの諸連絡・調整を、主に立花がプロジェクト知財に関する補佐を、主に上野が広報・アウトリーチに関わる補佐を担当している。阪大の事務職員は経理関係の補佐やJSTとの諸連絡・調整を担当している。また阪大の事務職員は、実施規約で定義される「連携機関」との連携に係る手続きについて課題推進者用フローを作成するなど、研究開発機関と外部機関との連携に係る事務補佐も担当している。また、2022年1月より、独立行政法人工業所有権情報・研修館が実施する知的財産プロデューサー派遣事業のもと、知的財産に関する専門家が知的財産プロデューサーとしてPMの研究室に派遣された(2022年1月～3月は一人、2022年4月以降は二人の派遣)。

重要事項の連絡調整

第二回運営会議(PMを議長とし、課題推進者・代表機関・研究開発機関・JSTが参加)を2022年2月28日に開催した。実施規約に研究開発機関等と連携機関との共同研究契約等について条文を追加、明記した(第18条第3項)。また、令和4年度より新たに駒谷和範先生が課題推進者として参加すること、及び、課題推進者熊崎博一先生の異動に伴い長崎大学が新規の研究開発機関として参加することの承認がなされた。また、アバター共生社会企業コンソーシアムとアバター共生社会倫理コンソーシアムのメンバー報告がなされた。最後に、各課題推進者より連携機関の参加報告がなされた。

研究開発機関における研究の進捗状況の把握

PMによる全課題推進者への第一回サイトビジットを2021年5月から6月にかけて行い、課題推進者のこれまでの研究成果をもとに本プロジェクトにおいてどのように研究開発を展開するのか、その見通しを確認した。原則としてオンラインで行い、数名についてはオンサイトで行った。また、課題推進者には任意のサイトビジットに参加することを積極的に推奨し、もって課題推進者間の今後の連携のさらなる発展を促した。実際、このことを契機として、研究開発項目3と研究開発項目4との共同研究が具体的に進行し始めた。また同様の第二回サイトビジットを2021年12月に実施し、各課題推進者の研究開発の進捗状況を確認した。

2022年1月4日及び5日の二日間にかけて、全課題推進者が一斉に集う研究発表の場として第一回課題推進者会議を実施した。課題間連携を積極的に促進させることを目的に課題推進者には可能な限りオンサイトでの参加を呼びかけた。全課題推進者に発表の場を設け、互いに研究開発の進捗状況を確認し合ってもらった。なお、本会議が本研究開発プロジェクト発足後初めて全課題推進者が一同に会した場となった。最後の全体討論ではプロジェクト全体の目指すべき方向性や広報活動のあり方について課題推進者全員でディスカッションをすることができた。

また、各研究開発項目のグループリーダーからなるグループリーダー会議を月一回程度開催し、グループ毎の進捗状況を確認するとともに、グループ間連携を議論した。

研究開発プロジェクトの展開

本プロジェクトでは研究開発課題同士が研究開発項目内のみならず項目を越えて連携することを強く推奨している。異分野同士の研究交流の促進は研究課題の発見・明確化・解決へと繋がり、プロジェクト

全体の進展に寄与すると考えられるからである。今後想定される項目外連携の事例は CA の技術開発を担当する研究開発課題と生体影響調査を担当する研究開発課題との連携であり、これにより一般の人にとっても操作性が高く健康に安心な CA の研究開発が進展することであろう。すでに実施されている連携例としては、研究開発項目3が開発する高度な知識獲得技術の、研究開発項目4が開発する複数操作 CA への実装などが挙げられる。なお、研究開発体制の構成上、このような連携は自然と生じるようになっていくことを付記しておく。項目ないし課題ごとに異なるモダリティの研究開発に取り組みさせることで（例えば研究開発項目2では音声対話・研究開発項目3では知識・概念）、モダリティごとの要素技術を単一の CA において統合させようとする際には、必然的に連携が生じる仕組みとなっている。

2021年11月及び2022年3月に実施された第一回及び第二回の統合実証実験デモでは、研究開発課題毎に開発した要素技術を一つの CA へと統合させた成果を、萩田 PD をはじめとする JST のスタッフにご覧いただいた。例えば、研究開発項目4内の要素技術を統合させた遠隔操作移動 CA による片付けタスクの遂行、研究開発項目7と研究開発項目1の技術を連携させた CA による遠隔受付業務などをご覧いただいた。

以上のように本プロジェクトは連携を推奨しつつも、同時に、研究開発体制の構成の工夫上、課題推進者間での競争意識が自然と高まるようになっていくことを追記しておく。その工夫とは、いくつかの研究開発課題について課題が微妙にオーバーラップするようになっていくことである。例えば、研究開発項目8内の研究開発課題5と研究開発課題6は、どちらも将来の CA 利用における法整備の問題に取り組んでいる。これら二つの課題は当然ながら異なるアプローチを採るが、同一のテーマに取り組むことによって自然とお互いに切磋琢磨する関係を作れるようになっていくのである。

研究開発課題の追加については、令和3年度より新たに三つの追加があった。第一に研究開発項目1研究開発課題3(仲田)である。本課題では子どもらしい外見を擁する移動型 CA の研究開発に取り組む。これにより万人にとって親和性が高くホスピタリティある CA が実現する。第二に研究開発課題4研究開発項目5(平田)である。本課題では侵襲型のブレインマシーンインターフェースによる CA 操作システムの研究開発に取り組む。これにより筋萎縮性側索硬化症等による重度の身体障害を抱える者でも CA を操作することを可能となる。第三に研究開発項目8研究開発課題6(湯浅)である。本課題では歴史上の人物や公職に従事する人物が CA を利用する際に生じると予想される法的問題の整理・検討を行う。これにより特に著名人による CA 利用における社会実装問題が解決される。

なお、本年度は研究開発課題の廃止やプロジェクト全体にわたる再構成は実施しなかった。

(2) 研究成果の展開

知財戦略

上述のように、全課題推進者における知的財産情報を高度に活用した研究戦略及び知的財産戦略の策定のために、知的財産プロデューサーの派遣事業を活用した。知的財産プロデューサーには、本プロジェクトの全課題推進者について知財調査、知財発掘、事業化検討、そして戦略策定の協力を要請した。これにより、各課題推進者が有する個別知財を統合し、多角的で強力な特許を産み出すための知財戦略を策定のための基盤が整った。

令和三年九月の時点ではプロジェクト全体での特許出願状況が低調であったことから、全課題推進者に対して当該時点で特許出願の見込みのある知的財産をリストアップするように要請した。その結果、二〇件の出願可能な知的財産があることが分かった。結局、令和三年度ではプロジェクト内で計七件の特許出願があった。令和四年度以降は知財プロデューサーとの協力体制のもとさらなる特許出願件数を目

指していくとともに、課題推進者間の連携のもと統合的な知財での特許出願を目指す。

技術動向・市場調査

PM が AVITA 株式会社の設立に関連して、ロボットアバター及び CG-CA に関する技術動向・市場調査を網羅的に行い、その結果を研究開発の場面で活用している。とくに、海外でメタバースと呼ばれる仮想空間においてアバターを用いて活動する仕組みが作られつつある。特にメタ社(旧フェイスブック社)のメタバースは注目を集めている。ただしメタバースは人々が出会う仮想空間コミュニティとして設計されており、そこで人々が本格的に労働できる環境にはなっていない。本プロジェクトが目指す仮想空間と現実空間の融合形態としての仮想化実世界とは異なる理念を有するものである。

事業化戦略

最も重要な取り組みとして、PM 自身が AVITA 株式会社を設立し、とりわけ CG-CA の事業化に取り組み始めた。

また、企業との連携を目的として二つのコンソーシアムを設立した。第一に、研究開発項目7研究開発課題1の主導のもとで、アバター共生社会企業コンソーシアムを設立した。その主目的は、業種ごとに分科会を設置し、いかに CA 技術を各種の事業に導入するかについて議論することである。導入のデザインが定まれば、課題推進者と企業は共同研究契約を結び、実証実験を実施していくことになる。そして、第二に、研究開発項目8研究開発課題1の主導のもとで、アバター共生社会倫理コンソーシアムを設立した。その主目的は、CA 技術を社会に実装した場合に生じると想定される倫理・法的・社会的問題について企業と議論をしながら、社会に対して CA 利用にまつわる社会倫理の提案を行うことである。こうして、企業との連携のもと、本プロジェクトの技術を事業化していくにあたっての基盤は整った。

また、いくつかの研究開発課題では実証実験を企業との共同で積極的に実施している。大きく分けて、教育、福祉、小売り、派遣業、医療、介護の分野での実証実験が実施済みないし進行中である。また、複数の研究開発課題が連携しながら実験を実施している場合もある。

(3) 広報、アウトリーチ

ホームページ作成

本プロジェクトの概要や活動実績を伝えることを目的とするウェブサイト(<https://www.avatar-ss.org/>)を作成した。英語版も作成した。プロジェクト全体の体制とともに個々の研究開発課題の内容も紹介している。活動報告や成果報告についても積極的に情報発信している。

テレビ出演

PM が NHK 大阪放送局の番組「ぐるっと関西おひるまえ」のコーナー「体感！未来ノゾキミ Lab(ラボ)」など、計六回のテレビ出演を行った。また英語の Podcast 番組にも二回の出演を行った。

新聞・雑誌取材

PM が日本経済新聞などの大手新聞社から計四回の取材に応えた。課題推進者の谷口も大手新聞社一社からの取材に応じ研究開発の成果を社会へと周知した。また課題推進者の宮下は Web 掲載のインタビュー二件にて企業コンソーシアムの存在を社会へと周知した。その他 PM は各種の雑誌や海外新聞社一社から計七回の取材に応じ、社会への積極的な情報発信を行った。

プレスリリース

プロジェクト全体では計十一件のプレスリリースを行った。石黒が PM として行ったものが一件(AVITA 関連)、課題推進者として行ったものは八件(主に実証実験の周知)であった。その他には課題推進者の西尾のもと堺市が共同実証実験にて会見を行い、課題推進者の村田が大阪大学でのローカル 5G の無線

局免許取得の旨を発信した。

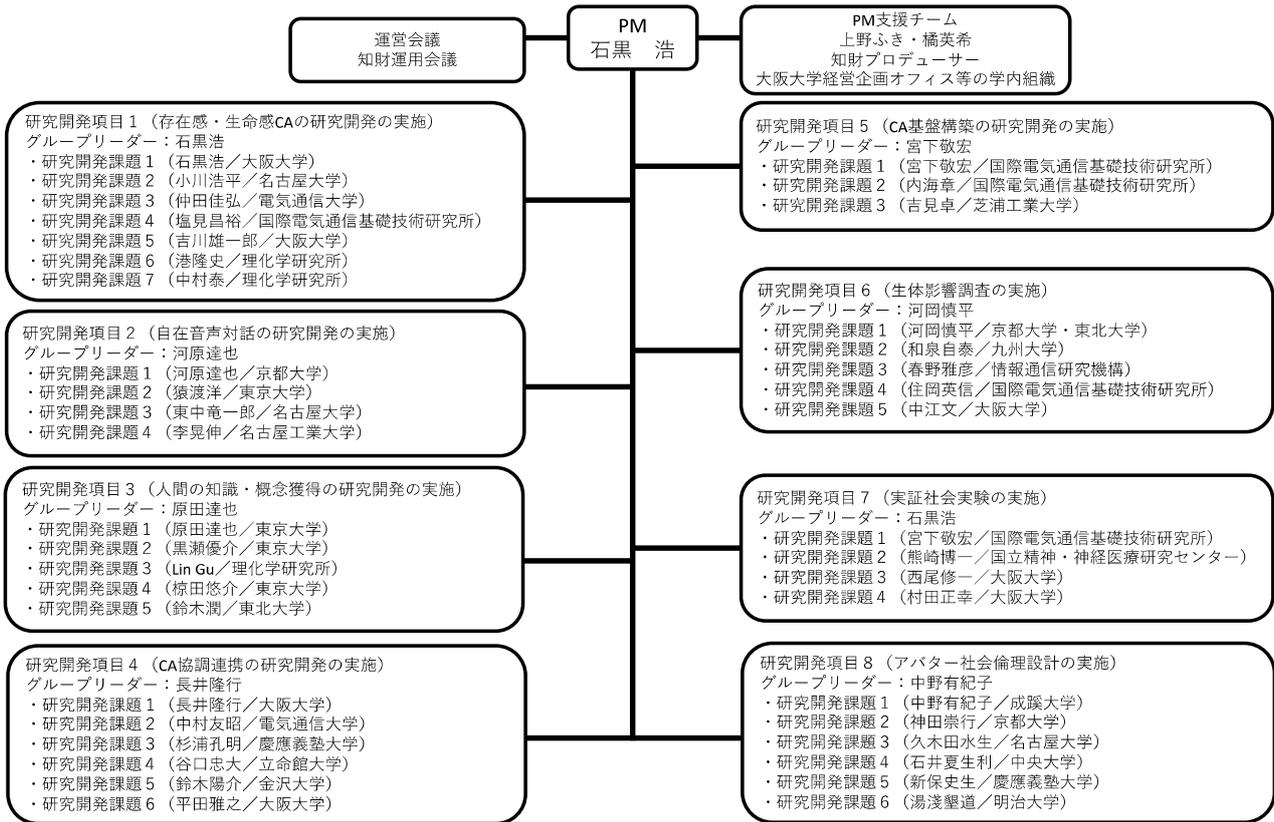
アウトリーチ

当該年度で最も大きなアウトリーチ活動は一般に公開されたシンポジウム「MS 理想と現実」(ハイブリッド開催)であった。PM と課題推進者の新保が報告とパネルディスカッションを行った。オンサイトの参加者は3月31日のコロナ禍のなか53名にのぼった。研究開発項目8からは課題推進者の中野と久木田がプロジェクト外部の有識者を招き積極的にワークショップ(二回)や講演会(四回)を実施した。その他、公立高校での研究紹介など計18件のアウトリーチ活動を行った。

(4) データマネジメントに関する取り組み

本研究開発プロジェクトで獲得・収集する研究データは、代表機関が推進する Society 5.0 のプロジェクトと連携し、CA システムを通して得られる多様なデータの再利用に取り組んだ。代表機関の方針と形式にしたがってデータの収集およびデータの二次利用のための交渉の許可を被験者から取得している。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



知財運用会議 構成員と実施内容

構成員：

PM、グループリーダー、発明者となる課題推進者、知財プロデューサー、
必要に応じて代表機関、研究開発機関、大阪大学共創機構イノベーション戦略部門知財戦略室

実施内容：

該当知財に関する知財戦略、出願に関する協議及び計画の立案
知的財産の権利化や標準開発の支援体制の構築

運営会議 構成員と実施内容

構成員：

PM、課題推進者、代表機関、研究開発機関、科学技術振興機構、必要に応じて外部有識者

実施内容：

研究開発プロジェクトの運営方針の協議、実施規約の改正、重要事項の連絡・共有

5. 当該年度の成果データ集計

| 知的財産権件数 | | | | |
|----------|----|-----------|----------|----|
| | 特許 | | その他産業財産権 | |
| | 国内 | 国際(PCT含む) | 国内 | 国際 |
| 未登録件数 | 7 | 0 | 0 | 0 |
| 登録件数 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 合計(出願件数) | 7 | 0 | 0 | 0 |

| 会議発表数 | | | |
|--------|-----|----|-----|
| | 国内 | 国際 | 総数 |
| 招待講演 | 49 | 18 | 67 |
| 口頭発表 | 61 | 30 | 91 |
| ポスター発表 | 4 | 7 | 11 |
| 合計 | 114 | 55 | 169 |

| 原著論文数(※proceedingsを含む) | | | |
|------------------------|----|----|----|
| | 国内 | 国際 | 総数 |
| 件数 | 9 | 35 | 44 |
| (うち、査読有) | 5 | 35 | 40 |

| その他著作物数(総説、書籍など) | | | |
|------------------|----|----|----|
| | 国内 | 国際 | 総数 |
| 総説 | 6 | 0 | 6 |
| 書籍 | 2 | 0 | 2 |
| その他 | 0 | 0 | 0 |
| 合計 | 8 | 0 | 8 |

| 受賞件数 | | |
|------|----|----|
| 国内 | 国際 | 総数 |
| 7 | 5 | 12 |

| |
|-----------|
| プレスリリース件数 |
| 11 |

| |
|------|
| 報道件数 |
| 16 |

| |
|-------------------|
| ワークショップ等、アウトリーチ件数 |
| 18 |