



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

2024 年度版

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



1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

(1) 研究開発プロジェクトの概要

ムーンショット目標1では、2050 年の社会において生産性向上・強靱な生産性維持・安全安心とゆとりある日常生活を実現するために、誰もが自分の分身であるサイバネティック・アバター(CA)を使用することで身体・脳・空間・時間の制約から解放されて、多様な社会活動に参画し、新しい生活様式を送ることができるようになることを目標とする。

本プロジェクトはこの目標のうち主に空間・時間の制約からの解放に貢献することを目指し、ホスピタリティ豊かでモラルある対話行動を基軸とした CA を実現することを目指す。CA を使用することで、とりわけ主婦・主夫や高齢者など、時間・空間的な制約があるためにその場に行けない人々であっても新たな社会活動に参画できるようにする。災害や感染症など社会規模の問題が生じたときでも、多様な人材が CA を使用することで、その場に行けなくとも問題を素早く解決できる、大規模遠隔互助社会を実現する。一人暮らしや離島等の孤立的な生活環境に暮らす人も、CA を介して多くの専門家に見守られることで安心感のある日常生活を送ることができるようにする。

このようなアバター共生社会を実現するために、当該年度までに、高齢者や主婦・主夫等の操作者が CA によって身体・認知・知覚の能力を拡張できるための CA 自在技術の研究開発し、教育(幼稚園や小学校)や医療(病院や介護施設)、家庭といった場所で、児童や患者などに対してホスピタリティ豊かでモラルある対話行動を通して接することを可能にする、存在感 CA・生命感 CA・CG-CA、及びその操作インターフェースを実現する。そして、単に一人の操作者が一体の CA を操作するのではなく、生産性向上へと繋げていくために、一人で複数体の CA を連携・協調させて操作するための CA 基盤を開発する。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

ホスピタリティ豊かな対話行動のための CA 自在技術: CA 自在技術による能力拡張に関する代表的な成果は以下の通りである。1) 万博での本格的な展開に向けて、子ども型の移動型 CA「Yui」を開発した。「憑依」型の遠隔操作システムによって、操作者の視線、表情、全身の動きを同期し、その人らしい動きや存在感を再現可能とした。2) 人間同士の会話における発話のオーバーラップや相槌などの同時方向的な特徴をモデル化する音声対話システムとして J-Moshi を開発した。本システムは、英語のシステムをベースとし、日本語の対話コーパスを学習データとして活用することで作成された、日本語で利用可能な最初の同時双方向的音声対話システムである。3) 良質な日本語データの作成、及び、大規模言語モデルの学習原理に関する理論的研究を進め、日本語に強い大規模言語モデル「LLM-jp」を開発し、順次アップデート版を公開した。4) 日本語に特化した大規模模視覚言語モデル(VLM)「Asagi」を開発した。視覚情報に対する理解や推論について、現状の最高性能モデルと遜色のないスコアを示すモデルである。このように当該年度では、CA 本体の開発のみならず、CA の対話能力や認識能力の基盤となる技術の開発が多くなされた。

複数体 CA の連携・協調技術: 2人の遠隔操作者が様々な場所に設置された 10 台以上の異種生活物理支援 CA(移動型・マニピュレータ型・自律型など)を協調させるための連携技術を開発した。大規模言語モデルによる複数 CA の共同行為のプランニング技術、近接覚自在マニピュレーション技術、実世界検索エンジン技術、そして XR(Extended Reality) 空間でのナビゲーション操作の技術などを統合することで、家庭環境や病院環境における簡易的なタスクを実行可能とした。昨年度に開発された 100 体の CA を同時に展開するための CA 基盤について、今年度は多拠点での運用機能を実証する実験を東京・大阪・バルセロナにおいて実施し、複数の CA サービス拠点と遠隔操作場所を一括で管理できることを示した。

実証実験: 当該年度も企業と共同で卸売・小売、専門サービス業、宿泊・飲食業、生活サービス・娯楽業、教

育・学習支援業、医療・福祉、公務等の分野において多数の実証実験を実施した。代表的なものは次の通りである。1) 2024 年 9 月 10 日から 29 日にかけて 20 日間、大阪のグラングリーン大阪 JAM BASE などで大規模実証実験「アバターランド」を実施した。プロジェクト内の約半数の研究開発課題が実証実験を実施し、様々なタイプの CA(自律・遠隔操作組み合わせ型ロボット(設置型／移動型)、CG-CA)を各所に設置して、開業したばかりのグラングリーン大阪の施設、設備、店舗、イベントの案内などを一般客に対して提供した。2) 上記アバターランドの一環として、遠隔地にいる精神科患者が CA を介してグラングリーン大阪の訪問客に対して接客サービスを提供した。普段は社会的交流の機会が少ない患者が、遠隔地からでも社会活動へと前向きに参画できることを実証した。CA が精神科患者と社会とをスムーズに繋ぐ媒体となりうるという貴重な知見を得た。3) 昨年度より継続して、長崎県の離島における精神科医療の遠隔診療支援を実施した。毎週 1 時間、離島の診療所に設置された CA を専門医 2 名が遠隔操作して、診療所の医師及び看護師に対する診療支援を実施した。4) 海外での実証実験も精力的に進めた。バルセロナでは日本で開発されたモラルコンピューティングの技術などを活用して、スペインにおける CA の社会受容性について調査を行った。ドバイでは、商業施設に設置された複数体の CA を 1 人の操作者が同時に遠隔操作しながら場所案内などのサービスを提供する実証実験を行った。

生体影響調査: マルチオミクス解析などによる CA の生体影響の分析を着々と進めつつ、来年度以降に目標 1 内の他プロジェクトとの連携のもとで進めるべき課題について集中的な検討を行い、いくつかの連携課題を同定した。CA による生産性向上と生活の豊かさ(QOL 改善)を両立させるための医学的見地からのアプローチとして「インタラクティブ・ケア」の枠組みを設計し、翌年度以降の大規模な連携への準備を行った。

倫理・法的問題: CA がホスピタリティある行動をするためのモラルコンピューティングの開発を進め、CA による手渡し行動や急停止行動の評価実験によって、利用者にとって安心感のある行動モデルを構築した。バルセロナでの実証実験では、利用者からの「CA いじめ」(CA に対する暴言・挑発・妨害など)の行動を日本と同程度の確率で観察し、インタビュー分析によって動機を明らかにした。今後は、利用者による悪意のある行動を誘発させないような CA デザインの検討を進める。日本・アメリカ・スペインにおける「サイバネティック・アバターイメージ調査」の報告書を取りまとめ、アバター共生社会倫理コンソーシアムの HP 上にて公開した。各国の文化背景に応じて異なる政策や規制アプローチが必要であることを確認した。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

研究開発プロジェクトの展開: 大規模実証実験「アバターランド」では、プロジェクト内の様々な要素技術を実世界 CA において統合することとなり、研究開発課題間の連携が大いに進んだ。また、国際的なハブ都市であるドバイの研究機関と国際共同研究契約を締結し、本格的な国際連携が開始した。ドバイでの実証実験を実施するとともに、中東文化圏における CA の社会受容性についての心理学研究も開始した。

事業化: アバター共生社会企業コンソーシアムの分科会での検討を進めた。例えば、CA の医療分野での事業化をめざすヘルスケア分科会では「どこでも万博」の企画立案を行い、身体的制約のために現地に行けない子どもたちが遠隔地から大阪・関西万博に参加するためのシステム開発を行った(2025 年 4 月には CA を介してイタリア館を訪問予定)。

国際連携: バルセロナやドバイでの実証実験を継続的に進める他、企業コンソーシアムが主催する国際シンポジウムを開催し、ビジネスレベルでの国際連携が始動した。引き続きアカデミアレベルでの連携体制を拡大していくため、国際学会でのワークショップを多数開催した。

アウトリーチ: 当該年度もプロジェクトのホームページ上での動画公開を継続し、実証実験の様子などを伝える 10 本の動画を新たに制作・公開した。報道番組や新聞からの取材(計 32 件)や、アウトリーチ活動(計 55 件)を通して、社会への CA 技術の認知度を高めるために尽力した。

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 1-1: 存在感 CA の開発と CA 自在操作インターフェースの研究開発

当該年度実施内容:

(1-1-1) 存在感 CA の研究開発

企業の受付に設置された存在感 CA の操作インターフェースにおいて、カクテルパーティー効果を利用し、操作者が来客の接近を察したと感じさせる情報提示方法を開発した。呼び出し音などで知らされるより、自ら察したように来客接近を知ることができ、別作業をしながらでもストレスなく受付業務が可能である。実験の結果、25 名中 18 名の操作者が自分の状況認識能力が向上したと感じたと回答した。受付 CA の操作を身体的障がいを持つ者にも体験してもらい、意見を伺った。その結果、3 名中 2 名が知覚・認識能力が拡張したと思えると回答した。以上を合わせて、71.4%の操作者が視聴覚能力が向上したと認めることを確認した。

上述の身体的障がいを持つ者の体験では、対話に伴う動作能力についても同時に意見を伺った。その結果、3 名中 2 名が自分の動作能力が拡張したと思える、という感想を述べた。音声から発話内容・声量・感情情報を分析して自動で動作生成する存在感 CA のシステムを開発した。3 名の参加者による評価を行ったところ、全員が動作能力の向上を感じる結果であった。したがって対話に伴う動作能力についても、目標であった 70%以上を達成した。

(1-1-2) CG-CA の研究開発

CG-CA の複数人対話における視聴覚機能を拡張するため、センサデータから現実を反映した CG 空間を再構成することで、遠隔の情報をリアルタイムに編集した結果を操作者に提示するインターフェースを開発した。操作者が受け取る情報にキュレーション(情報の選択、編集、整理)を行うことで、視聴覚機能の拡張を目指した。評価実験において CG キュレーション有/無のインターフェース、RGB 画像に基づくインターフェースで比較したところ、「対話内容の把握」「位置関係の把握」において、CG キュレーション有のインターフェースのスコアが最も高かった。つまり、視覚機能と聴覚機能ともに CG キュレーションにより拡張されたと言える。CG 空間に基づくインターフェースは、第三者視点から見た操作インターフェースであり、人間の視覚能力を超えたインターフェースである。その CG 空間に基づくインターフェースが RGB 画像に基づくインターフェースの性能を超えたということは、操作者が CG 空間によるインターフェースによって、人間を超えた能力を獲得できたことを示している。

(1-1-3) CA 自在操作インターフェースのシステム開発

大規模言語モデルを利用して、2 人の操作者が 6 台の接客ロボットを遠隔操作するインターフェースを開発した。音声認識結果をそのまま表示するのに比べ、接客ロボットから操作者へ対話を引き継ぐ際に対話を要約することの有用性を、「生きているミュージアム NIFREL(ニフレル)」(<https://www.nifrel.jp/>)における実証実験を通して確認している。

新たに構築したマルチモーダル対話破綻検知モデルによって接客ロボットの対話破綻を検知し、破綻理由とともにアラートを出すインターフェースを実装した(図 1-1)。NIFREL における実証実験を通して、実装したアラートインターフェースの有用性を確認した。

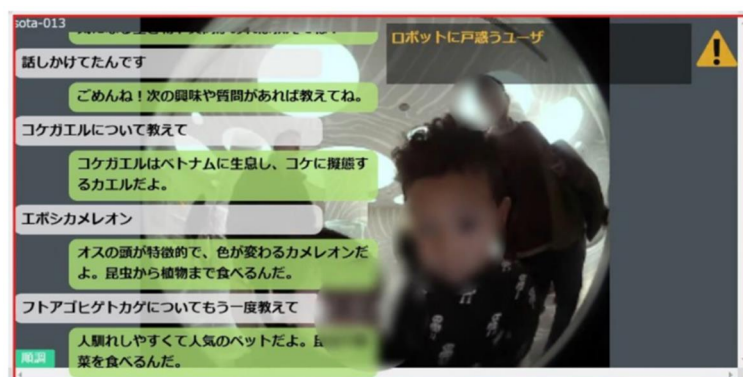


図 1-1 対話破綻を検知する操作インターフェース

課題推進者:石黒浩(大阪大学)

研究開発課題 1-2: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:

(1-2-1)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のためには、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。当該年度では、利用者の発話に対して操作者が適切に応答するために必要であると考えられる情報、すなわち、利用者の視線、感情状態、発話・傾聴状態、ターンテイキングなどの情報を実時間で提示するシステムを用いて、操作者が高臨場感を保ちながら操作できたと感じることを、認知心理実験によって確認すること目的として、CA と利用者 2 名の、5 者対話状況にも利用できるプロトタイプシステムを作成した。当該プロトタイプシステムを利用した実験を実施し、利用者が実用上問題なく利用できることが、確認された。

(1-2-2)複数 CA を円滑に操作するための情報提示インターフェースの研究開発と適応に関する認知的理解

CA が複数体になると、操作が行われていなくても、CA に現地の状況にある程度合致した振る舞いが求められ、これを実現するために CA には非操作時において一定の自律性が実装されることになる。そのため、複数体 CA 遠隔操作では、利用者の情報に加えて、CA の状態も適切に提示する必要がある。また、操作者が異なる状況にいる CA の操作から復帰した際に、円滑に再度対話に加わるためには、非操作時に発生した事象を瞬時に理解する必要がある。このためには、非操作時に起こった事象のヒストリーを、操作復帰に際して適切な方法と情報量で、操作者に提示する技術が求められる。当該年度では、操作者が異なる状況にいる操作から復帰した際に、非操作時に発生した事を瞬時に理解し、円滑に対話に加わるために必要な情報を提示するシステムのプロトタイプを作成し、フィールド実験により操作インターフェースとして十分に利用可能であることが示された。

課題推進者:小川浩平(名古屋大学)

研究開発課題 1-3: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:

(1-3-1) 移動可能な存在感 CA の基本プラットフォームの研究開発

移動可能な存在感 CA を 3 体開発した。2 体は完成しており、これらを使用して、来年度、大阪・関西万博の会場において半年間の実証実験を行う。ヘッドマウントディスプレイに搭載されたセンサによる表情とジェスチャ

認識により、操作者の上半身の動きに同期して CA を動かすための操作インターフェースを完成させた。頭部、腕部、手、腰の各自由度を操作できる。開発した CA を用い、屋内環境で、移動、人との対話、一緒に写真を撮るタスクを実行できることを確認した。

(1-3-2) 万人と親和的に関われる子どもらしい存在感 CA のためのシステムの研究開発

開発した存在感 CA は、身長が 120cm で子どもの見かけを持っている。この子どもらしい存在感 CA を利用することの利点を明らかにし、また、見た目が異なる操作者でも違和感なく操作できるようにするための研究開発を行った。

大人の実機 CA との直接比較が難しいため、子どもらしい CG-CA と大人の CG-CA を活用し、外見の違いが利用者に与える影響を調査した。視聴者に CG-CA が発話する動画を提示し、内容への共感や意見の変化を測定する実験を、約 300 名を対象に実施した。その結果、CA の外見によって顕著な意見変化の差は確認されなかった。意見の変化自体も全体で 20% 未満と少なく、話題の選定や提示方法に改善の余地があると判断された。また、CA の「子どもらしさ」が視聴者に十分伝わっていなかった可能性もあり、音声や動作を含めた一貫したデザインの必要性が示唆された。今後は、より明確に子どもらしさを伝える CA 設計と、実際にインタラクションを伴う対話形式の実験によって、受容性への影響を再検証する予定である。

また、CA と操作者とは外見が異なる場合、従来の表情同期では、実験者が構造的特徴に基づいて表情を対応させており、意図した表情の実現は保証されていなかった。これに対し、実機 CA にランダムな入力を行って表情を表出させ、それと同じ表情を操作者に模倣させた上で、そのときの操作者の表情データと CA 入力の対応をニューラルネットワークで学習させた。これにより、操作者の意図した表情を CA で再現することが可能となった。従来の手法との比較実験により、CA の表情が操作者の意図に沿っているかどうかを評価した。

課題推進者：仲田佳弘（電気通信大学）

研究開発課題 1-4: 抱擁型生命感 CA の研究開発

当該年度実施内容：

(1-4-1) 抱擁型生命感 CA に関する基礎的研究開発

当該年度は、子ども（自閉症児も含む）を対象に、抱擁型生命感の有効性を検証する実験を進めた。具体的には、抱擁型生命感 CA を用いて、英語学習支援や読み聞かせを行う状況において抱擁型生命感 CA が子どもたちと関わりあう実験に取り組んだ。

キッズルーム実験室（図 1-4-1）や保育施設（図 1-4-2）での実験を延べ 1 か月以上にわたって行い、これまでに 89 人の被験者を対象とする効果検証を行った。キッズルーム実験室では、47 人の子どもたちに本の読み聞かせや英語学習支援を行い、83.0% の子どもたちが最後まで抱擁型 CA と関わる事が出来た。その様子を観察していた保護者らからアンケートを採集した結果、安心感に関わるアンケートの中央値を有意に超える結果が示された。保育施設でも、42 人の子どもたちに本の読み聞かせや英語学習支援を行い、95.3% の子どもたちが最後まで抱擁型 CA と関わる事が出来た。目標であった 70% を超える成果を示すことが出来た。



図 1-4-1 キッズルーム実験室の実験風景



図 1-4-2 保育施設での実験風景

(1-4-2)抱擁型生命感 CA 操作者支援技術に関する研究開発

遠隔地から CA を操作するオペレータに被接触感覚を想起させることが出来れば、より高い臨場感やその場にいるような感覚をもたらし、没入感の高いインタラクションの実現に貢献できる。これまで視覚・聴覚が個別にもたらす被接触感覚の効果は示されていたものの、それらを統合したときの影響については明らかになっていなかった。そこで当該年度は、視覚誘導性被接触感覚および聴覚誘導性被接触感覚を統合し、視聴覚誘導性被接触感覚を想起させる UI を開発し、視聴覚情報から被接触感覚を想起させるための要素による影響を検証する実験を行った。具体的には、ユーザがディスプレイに表示された CA に触れた際に、その部位に対して CA が自動的に反応する動作を行う機能と、CA の外観に対応した接触音が再生される機能を統合した UI を用いて、CA が触れられた際にどのような印象変化をもたらすかを検証した。

実験には 30 人の被験者が参加し、CA が実験者に触れられる様子を観察した。可視化機能および接触音の特性を変化させることで、視聴覚誘導性被接触感覚がどのように変化するかを分析した。実験の結果、触れられた際の非接触感、触れられた際の不快感、触れられている様子の理解しやすさ、使いたいと思う度合いの項目において、可視化と外観に対応した音声を用いることでより強く視聴覚誘導性被接触感覚を与えることが明らかとなった。すなわち、開発した UI を用いることで、7 割以上の操作者に対し視聴覚誘導性被接触感覚をより強くもたせることを確認した。

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 1-5: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:

(1-5-1)生命感 CA の開発

本項目においては、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、移動機能を持たせた生命感 CA(移動テレコ)を用いた心理評価実験と実証実験、及び、既存 CA を用いた実証実験に取り組んだ。

移動テレコの開発については、自律的な接近・対話機能の開発および実際の商業施設(グラングリーン大阪)のピロティ広場(半屋外)での実証実験を通じた生命感の評価に取り組んだ。具体的には、LiDAR センサによって人間の位置を検知し、注意や感情の変化表現を通じて対話意欲を伝えるとともに、ユーザの身長に応じてロボットの頭部高さを調整しながら自律的に接近し、大規模言語モデル(LLM)を活用して発言生成して、対話を開始するシステムを構築した。その結果、移動型生命感 CA が来訪者に「こんにちは」と呼びかけた際、66.7%の返答率で、実際の来訪者に対して接近・対話が可能であることを確認した。当該生命感 CA について、生命感に関する心理的尺度を用いた主観評価を行い、ロボットに対する評価の上位 70%の参加者を対象とした分析において、当該 CA に感じる生命感が、小動物(例:ハトやスズメ、カメ、ヘビ等)よりも有意に高いことを確認した。

既存 CA を用いた実証実験については、研究開発項目 7 課題 2 と連携して、5 歳児の健診(佐々町保健センター、北水会記念病院)において 2 体連携型の CA(CommU)を用いた健診サービスの実証実験を引き続き実施した。分析の結果、ロボットの気持ちを理解する課題やロボットの誤信念課題への正答と、自閉スペクトラム症(ASD)に関連する特性を評価する SRS-2 対人応答性尺度に負の相関を認め、子供の発達評価における CA の有用性を示した。精神科デイケア施設(有馬)において、雑談を通じて利用者の体調を推定することを想定した CA の自律対話機能を開発した。大学生を対象とした実験室での予備実験において、ロボットが質問項目を単に読み上げる形式よりも、雑談形式の対話において利用者の状態をより正確に推定できる可能性を示した。

(1-5-2) 連携対話の研究開発

本項目においては、より多様な対話状況において、状況に即した高いホスピタリティのある対話を実現する機能として、移動能力や多様な人格の表現機能の活用と過去の対話履歴の要約・参照機能に基づく対話引継ぎ・展開機能の実現にむけ、複数地点複数 CA 遠隔操作システムの開発、および、ユーザと長期間対話する CA の対話機能の開発と評価に取り組んだ。

複数地点複数 CA 遠隔操作システムについては、自律対話機能を持つ設置型 CA と移動機能を持つ CA を連携 CA 対として、少数操作者により複数地点での対話サービスの同時提供が可能な異種 CA 制御システムを開発した。具体的には、グラングリーン大阪の大阪大学 Hive にて 4 箇所に配置した設置型 CA(CommU)が提供する対話サービス場面に、同じ空間を周遊する 2 体の移動型 CA(テレコ)のうち 1 体を参入させ、動的に 2 体の CA 対を構成し対話支援をさせることで、適宜 4 対での接客ができる状況を構築した。4 対での接客を 2 人の操作者で動的に分担できるかを当地にて検証した。意図的にトラブルを発生させた状況において、人材派遣会社を通じて雇用した操作者全員が来訪者の対話サービス利用の開始・終了サポートやトラブル対応にあたり、来訪者全員に対して予定された一連の対話サービスを提供できることを確認した。

ユーザと長期間対話する CA の対話機能については、AVITA 株式会社と連携し、コンビニエンスストア(ローソン)のイートインスペースに複数の CA を設置し、対話データ(ユーザの体験談)の蓄積とそれを活用した共感的な対話生成機能を駆使し、長期間にわたってイートインスペース利用者に共感的な対話機会を提供できる連携対話機能の開発に取り組んだ。体験談を紹介する対話機能を開発し、この仕組みにより対話者に共感を印象づけられる可能性を実験室での予備実験で確認した。

課題推進者: 吉川雄一郎(大阪大学)

研究開発課題 1-6: 存在感 CA の自在動作生成の研究開発

当該年度実施内容:

(1-6-1) 操作者の状態を表出する存在感 CA の動作の自動生成

自然な CA の動作生成に関しては、操作者の個性や内部状態などを動作で表出する手法を開発してきた。当該年度は、操作者の個人性を CA で表出するための手法の開発に取り組んだ。個人性が現れる表出として、対話場面では表情の作り方が考えられる。そこで、操作者の表情を存在感 CA の顔面にマッピングする手法の開発を行った。存在感 CA の表情は柔軟なシリコン製の皮膚を変形させて表出するが、アクチュエータと皮膚変形の間の関係は複雑であり、目的の表情を生成するためのアクチュエータの指令値を簡単に求められない問題があった。アクチュエータの制御指令値と表情との間の非線形な関係をニューラルネットでモデル化し、対象となる表情を生成するために、事前学習したモデルを用いて制御値を最適化する手法を開発した。この開発した手法により、従来手法より適切に元の人の表情を表出させることができるようになった。

存在感 CA は、操作者の能力を向上させることができる利点があるが、これまでの CA システムでは、その恩恵を受けるのは CA と向かい合うユーザのみである。双方向が能力向上の恩恵を受けることができるように、当該年度は、双方向が CA を使って遠隔対話ができるシステムを試作した(図 1-6)。このシステムによりお互いがお互いの存在感を感じながら身体的インタラクションを伴って対話することができる。CA の動作を操作者以上にホスピタリティのある振る舞いに変換することにより、互いにホスピタリティを感じながら対話することが可能となった。

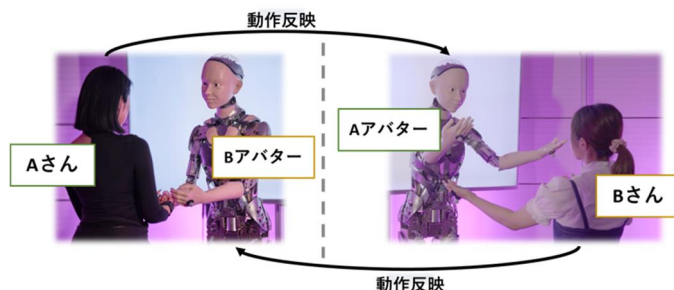


図 1-6 双方向が CA を使用する遠隔対話

(1-6-2) 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

CA が将来的に活躍が期待される受付・接客場面を想定し、笑顔で接客する場面・迷子など心配な態度を示す場面・苦情に対する申し訳ない態度を示す場面の3つの場面において、相手が大人・5歳児・小中学生・軽度難聴の高齢者の場合を考慮して、10通りのシナリオを作成し、接客の経験者にこれらのシナリオを演じてもらった。そのデータを音声と動作の観点から分析することでルールを抽出し、アンドロイドロボットの表出を実装した。状況を考慮した表出と、(表情や声に変化のない)デフォルトの表出を比較した被験者実験を実施した結果、提案した状況に合った振舞いの方が適切・人らしい・信頼できる・気持ちがこもった・満足度などの印象が有意的に高い結果が得られた。

人格の表出においては、複数人対話で視線逸らし率を明示的に制御できる視線動作生成モデルを作成し、その効果を検証した。同じ声でも視線逸らし率を制御することにより、外向性の印象を7段階中1ポイント変化させることができることが明らかになった。複数人対話において、対話者の視線先のみの情報から対話役割を推定する深層学習モデルを構築し、70%以上の精度で、視線情報のみから対話役割が推定できることに成功した。今後は音声情報と組み合わせて精度を上げる予定である。また、禁煙場所でたばこを吸う人など、ルール違反をする人に対して、CA ロボットがどのような態度で表出すべきかについて評価実験をデザインし、検証した。その結果、半分以上の人は、CA が丁寧にやさしく注意するよりも、怒りや不満などの否定的な表出の方が適切・効果がある結果が得られた。

課題推進者: 港隆史(理化学研究所)

研究開発課題 1-7: CA の対話動作学習機能の研究開発

当該年度実施内容:

(1-7-1) 環境全体の状態変化への人間レベルの反応動作モデル

フードコートなどの実空間で CA を用いたサービス開発が期待される中、音声と画像を組み合わせたセンサシステムを構築し、複数のモダリティを活用した環境情報を収集した。この情報を基に、画像から 0.5 から 1.0 秒程度後の発話を予測する深層ニューラルネットワークモデルを開発中であり、この技術は自律対話ロボットや通信遅延があるシステムでのサポート技術として期待される。

このシステムを移動型の対話ロボットに搭載し、実環境でのデータ収集を行った。このデータには上記の複数のモダリティを活用したマルチモーダルな情報に加え、ロボット自身の行動の情報も含まれている。このデータを

用いて、その場の状況に合わせた動作を生成する移動ロボットのための深層生成モデルを構築し、人とのすれ違いや障害物回避を行う必要のある実環境において、状況に合わせて動作することが可能であることを示した。拡散モデルを用いて、複数の潜在的な結果を生成するモデルの構築にも成功した。このモデルは複数の多様な予測を生成することができる。複数の予測からエージェントの動作を生成する手法の開発は今後の課題である。

対話エージェントの遠隔操作実験を行った。遠隔操作されたエージェントと人間との対話において、エージェントの動作を動作生成モデルによって制御する。この手法では動作に対する指令を操作者が与えることなく、操作者の発話と対話相手の振る舞いをもとに生成モデルが自動でエージェントの動作を生成する。比較実験として、開発した動作生成システムと、モーションキャプチャシステムで取得した操作者の動作をエージェントにコピーした遠隔対話エージェントに対する印象の評価を行ったところ、提案手法と比較対象に有意な差が見られなかった。すなわち、生成モデルを用いたフレームワークにより、観察者である対話相手が違和感を持たない CA 制御のフレームワークを構築した。

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 2-1: 自在遠隔音声対話の研究開発

当該年度実施内容:

(2-1-1) 実環境下における音声検出・認識

CA の利用が想定される店舗・医療介護施設や展示場・広場のように多数の人がいる環境 (= 実環境) 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強調・検出した上で、自動音声認識を行う方法を研究した。音声強調・検出については、研究開発課題 2-2 と連携してシステムを設計し、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検討している。当該年度は、実際に複数人による対話を収録した音声を用いて研究開発を行った。前年度に引き続いて3人による会話(鼎談)を収録し、音声分離および音声認識を実現した。また、9月のアバターランドにおける実証実験において、複数人を対象とした音声対話システムを動作させ、音声認識精度が十分であることを確認した。

(2-1-2) 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。自然で多様な相槌生成に加えて、場をなごませるための共有笑いの生成をロボットに実装した。当該年度は、相槌生成において、大規模事前学習に基づく Voice Activity Projection(VAP)モデルを導入し、性能の改善を行った。また、このモデルを顔きの生成にも展開した。さらに複数人による対話への拡張も検討した。9月のアバターランドにおける実証実験において、複数人を対象とした音声対話システムを動作させ、応答生成精度が十分であることを確認した。

(2-1-3) 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目指している。そのために、システムの応答の種類に着目したエンゲージメントの認識に基づいた切替えとともに、自律で行っていた対話の要約提示を行った。当該年度は、相談などの共感が必要な状況を想定して、人間が遠隔操作をしている場合との比較を含めた被験者による対話実験と評

価を行った。その結果、関心や共感のレベルにおいて人間が遠隔操作をしている場合と同等に近い評価を得た。また、5名の対話相手を対象として、システムが動作することを確認した。

課題推進者:河原達也(京都大学)

研究開発課題 2-2: 音響情報処理・音声変換の研究開発

当該年度実施内容:

(2-2-1) 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、再現に係る即時性など複数の心理尺度において高品質を有する非実在音声を合成するには、CA により合成された音声がどのように聴取者に評価されるかを考慮する必要がある。当該年度は、合成音声の品質評価モデルの改善および品質評価モデルの予測結果に基づく自己修正機能付き音声合成アルゴリズムの開発を行った。前者は当研究室で開発された品質評価モデル UTMOS を改良したものであり、国際コンペティション VoiceMOS Challenge 2024 にて複数評価項目で 1 位の予測性能を達成した。後者は音声品質評価モデルによる予測結果を改善するように合成音声を修正するアルゴリズムであり、これによって合成音声の自然性、複数の感情強度といった心理尺度を改善できた。これらの技術とこれまでに取り組んだ自然言語記述に基づく非実在音声合成、超大規模音声コーパスからの効率的なデータ選択法を統合することで、より多様な心理尺度における自己修正機能付き音声合成アルゴリズムが実現できる。来年度はこれらのアルゴリズムを改善し、より多様な非実在音声の合成を様々な心理尺度で高く評価されるような CA 用音声合成の実現を目指す。

(2-2-2) 自律 CA 発話と遠隔操作発話を同化させる音声変換

自律 CA の合成音声と遠隔操作者による遠隔音声を切り替える際の違和感を低減するために、バックボーンとなる音声変換モデルを改良した。これにより、遠隔操作対話と自律対話の切り替えがスムーズになり、自在音声対話の実現に貢献した。この改良は、当研究室に所属する博士課程学生が立ち上げた音声合成・変換技術のベンチャー企業である P 社と連携して実施し、ムーンショットプロジェクトの参加者は P 社と別途契約することでこの改良版音声変換ソフトウェアを利用できるようにした。

(2-2-3) 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、まず利用者の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を想定し、それらで得られた多チャン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。昨年度までにおいて、これまでに開発した独立低ランク行列分析等のアルゴリズムに基づくリアルタイム音源分離処理系を活用し、CA 発話(これはテキスト音声合成で生成される)と遠隔音声(これは操作者の音声が発話を経て音声変換を経て発声されたもの)の切り替え時の違和感低減を実現するシステムに関して実装を行った。当該年度はこのシステムの主観的な定量評価を行った。リアルタイム音源分離処理系においては、目的音声の強調だけでなく背景雑音も精度よく推定できることが分かっている。この性質に鑑み、騒音下における人間対話で発生するロンバード効果(自分の声が騒音に埋もれないように、話者が自分の声色を調整する効果)を実装し、利用者側における CA 発話の明瞭性および一貫性が向上するかどうかの実験的評価を実施した。最大 28 名による 112 発話に対する主観評価実験により、約 9 割の人が提案シームレス・ロンバード効果付き応答音声の方が自然で再現度が高いと感じる事が示された。

課題推進者:猿渡洋(東京大学)

研究開発課題 2-3: 対話知識処理の研究開発

当該年度実施内容:

(2-3-1) 対話知識獲得

対話知識獲得の有効性を評価するために、教育及び接客を行う対話システムとして、動物園と水族館が融合した施設であるニフレルにおいて、来客者への生きもの情報の理解促進および接客を行う移動型対話ロボットを構築し、実証実験(2024年11月25日~2024年12月22日の28日間)において、その性能を調査した。当該ロボットは生きものの情報やユーザの視線から得られる注目対象物の情報がプロンプトとして用いられた大規模言語モデルを用い、約4週間にわたって、実際の来場者に自律的(緊急時のみオペレータが介入)に説明および接客を行った。来場者のアンケート結果によれば、全65対話のうち50対話(76.9%)において満足度が7段階中5以上と高い評価を得た。

(2-3-2) 対話状況理解および可視化

対話要約技術の有効性を評価するために、教育対話のデータとして、遠隔操作されているCAがユーザに特定の動物について説明している対話を対象とし、その要約を自動的に作成した。この時、我々が提案している対話形式の要約(対話をより短い対話として再構成する要約)を、大規模言語モデルを用いて作成した。そして、要約と対話履歴を対照し、要約から対話履歴の内容が理解できるかどうかを5段階で評価するタスクをクラウドワーカーに実施してもらった。対話要約をもとに、次にシステムとして適切と思われる発話を生成するタスク(次発話生成タスク)をクラウドワーカーに実施してもらい、その質をさらに別のクラウドワーカーに評価させた。また、接客対話データとして、我々がこれまでの研究で収集した、接客役と顧客役による対話データを用い、同様の評価を行った。

評価の結果、教育対話および接客対話のどちらについても、その理解の度合いにおいて、80%以上の対話要約について5段階中4以上と高い評価となった。対話要約の文字長はもとの対話履歴の30%未満であったにもかかわらず、次発話生成タスクにおいて、対話要約を用いた場合は、すべての対話履歴を用いた場合と遜色のないレベルであることが確認できた。特に、教育対話において文脈適合性は有意に高くなり、対話要約に基づいて対話する方が次発話の質が高くなることが確認できた。

(2-3-3) 対話制御および制御インターフェース

前述のニフレルで用いた移動型対話ロボットは自律的に対話を行うが、どうしても必要となる場合にはオペレータが制御用インターフェースを通して遠隔操作、および、発話をすることができた。対話制御の有効性を確認するために、実証実験期間を通して、オペレータによる介入割合(システム発話におけるオペレータの発話の割合)を調査した。その結果、介入割合は全体の30%以下であった。このことから、当該システムにおいては、制御用インターフェースがない場合と比較し、制御コストを70%以上削減することができたとと言える。

また、ニフレルで設置型ロボット6台を用いた複数同時対話の実証実験においても、来場者への案内を一人のオペレータで実施することができた。この時、オペレータの制御用インターフェースには対話破綻検出の機能が備え付けられており、対話に問題が生じた際に、瞬時にオペレータに通知することができた。一人ですべての来場者に案内を行うことに比べコストが六分の一(16.7%)となっていることから、制御コストを70%以上削減することができたとと言える。

(2-3-4) その他の進展

人間のような対話を実現する日本語初の同時双方向対話モデル「J-Moshi」(<https://nu-dialogue.github.io/j-moshi/>)を開発した。既存の同時双方向対話モデルをベースとし、日本語の音声データを大量に用いて日本語対話をモデル化し、発話のオーバーラップが多い日本語への適応を実現した。今後は、さらなる日本語対話の性能(特に意味性)の改善や対話ロボットや複数人対話への適用を行う予定である。

本成果は、自律対話システムの構築に資するのみならず、国内の対話システム研究を底上げする重要な成果である。

課題推進者: 東中竜一郎(名古屋大学)

研究開発課題 2-4: CG-CA 特有対話の研究開発

当該年度実施内容:

(2-4-1) CG エージェントの認知の研究の実施

人間が CG-CA を含む CG キャラクターに対して「自然に、円滑に、持続的に会話を行える相手である」という認知(対話性認知)をだれでも獲得するための存在感・生命感 CG-CA のデザインおよび設計に取り組んだ。対話性認知の獲得手法について、本研究では主に実空間ロボットとの対比から、画面内でしか存在できない CG-CA ならではの手法を検討してきた。当該年度は昨年度までの検討を踏まえ、より多くの人間が違和感なく初対面の CG-CA と会話を行えるようにするための研究として、(a) CG エージェントと自己アバターの疑似的触れ合いを介した疑似ソーシャルタッチ、および(b)アニメ調の誇張動作を具備した対話システムの特性検証について基礎検討と検証実験を行った。前者は、ユーザのふるまいをそのまま画面上の身代わりアバターにリアルタイムに反映する自己投影アバターを用いて、その自己投影アバターを操作して CG-CA とハイタッチや握手を行うことで疑似的なソーシャルタッチ感を操作者に与えるシステムを試作し、実験によってそのような疑似ソーシャルタッチが画面上の CG-CA との距離感を縮め、親しみをもった会話へ誘導できることを示した。後者は、CG-CA の動きの「リアル」は、人間の模倣動作ではなくアニメ作品等に見る誇張されたアニメらしい動作にあるのではないかという仮説のもと、CG-CA の会話中の身体動作の比較を行ったものである。ディズニーに代表されるハリウッドアニメーション技法に基づくアニメ特有の誇張表現を取り入れた“CG-like”モーションと、人間の会話動作をキャプチャした“Human-like”モーションを比較した実験の結果、会話中以外では CG-like がより違和感なく好まれる一方で、会話中は Human-like のほうが親しみやすく信頼を得られ話しやすいということが示され、ユーザの対話へのエンゲージメント度に合わせて CG らしさを制御することが重要であることが示唆された。

(2-4-2) CG エージェントの対話生成の実施

人間どうしの自然な会話様式とは異なる CG 特有の誇張や強調を伴う言葉・声・動きのモデル化、特にアバターコミュニケーション支援のためのメディア変換に焦点を当てて研究している。昨年度から継続して音声のみから CG-CA のためのアバター会話モーションを自動生成する speech2motion の研究に取り組んでいる。昨年度まではオフライン処理をベースとして精度の検証を行っていたが、リアルタイム化が CA 応用のための重要課題であることから、当該年度はリアルタイム重視と精度重視にアプローチを分割し、比較的簡易なアルゴリズムを用いたリアルタイム重視のシステムを構築するとともに、拡散モデルを用いたより高精度で自然な会話モーションの生成について研究した。前者についてはリアルタイムの音素認識エンジンを統合し、発話中の音韻情報から頭部の上下動作をルールで対応付ける手法を提案し、実証実験「アバターランド」にてこれを組み込んだシステムを実証実験に用いた。後者については、まず CG-CA を介した日常会話を収集し、「CG アバター音声会話データベース」として整備した。このデータベースは二者が CG-CA を介して雑談会話を行う様子の音声波形、頭部トラッキング情報、フェイシャルトラッキング情報を収録したものであるが、会話において人が考え自ら演じる「CG らしさ」を分析することを主な目的として、ユーザが自らの CG-CA を画面で見ながら、自分が CG-CA として相手に見られていることを意識して会話するよう指示した「Avatar」データと、CG-CA を表示させず通常のビデオ通話として収録した「Natural」データの 2 種が含まれている。このデータをもとに、Diffusion モデルで音声からのモーション生成を試みた結果、CG-CA として見られていると意識することで、発話者の話す内容や表情は変化しないが、頭部の動作が大きくなるなどふるまいが大げさで多様になる傾向が見いだされた。本研究成果は 2025 年

2月28日、3月1日に開催された HAI シンポジウム 2025 にて発表している。

(2-4-3) CG-CA 対話システムの研究開発の実施

自律対話と遠隔操作対話を融合した自在対話を社会実装するための CG-CA システムの研究開発を行っている。当該年度は昨年度までの開発成果をベースに、ノートPCだけで「いつでも・どこでも・だれでも」CAを操作できるシステムの実現を目指し、操作者 UI の再構築、新たなジェスチャ伝送の実装、コンテンツの共同編集、および端末の遠隔・無人・長期運用のためのシステム改善を行った。本システムは9月に20日間に渡って開催されたアバターランド実証実験(グラングリーン大阪にて)で稼働し、昨年よりも遥かに多くの来場者が実際に CA 操作を気軽に体験することができることを示した。これらのシステムについてインストールから開発までのドキュメント(14万字以上)を整備し、10月にプロジェクト内で公開した。これによって、CG-CAを用いた実証実験が多くのグループで行える環境が提供できることとなった。本システム(Windowsで動作)をマルチ OS へ拡張して Mac および Linux でも動作するようにし、言語依存のコードの修正も行った。これにより世界中のほとんどのデスクトップマシンで動作できるようになった。このシステムを基盤として研究開発項目2で開発されている自律音声対話システムと本 CA 遠隔操作システムを融合・統合した最新版の自律遠隔融合対話システムの基盤ソフトウェアを提供した。

課題推進者: 李晃伸(名古屋工業大学)

研究開発課題 2-5: 頑健な音声対話処理の研究開発

当該年度実施内容:

本研究課題では、自律対話において不可避である様々なレベルでの対話の破綻やそれに繋がるシステムの認識誤りを検出し、そのような場合にも対話を継続させる技術の研究開発を目標としている。

(2-5-1) 音声対話における状況検出

自律対話におけるシステムの認識誤りを検出する技術のひとつとして、ユーザ発話が全く検出されない誤りに関する検証(前年度と同様)を、実環境で収集されたアバターまつりのデータを対象に追加して実施した。含まれるユーザ発話の区間数は4449である。この結果、ストリーミング音声認識器である Google 音声認識 API では検出されなかった 1582 発話のうち、我々が開発した発話区間検出器は 97.0%に対してユーザ発話の存在を検出でき、前年度と同等以上の性能を得た。この結果に、マイクとスピーカーとの位置関係に関する議論を含めた成果を取りまとめた論文を公開した。

認識誤りを含む状況検出の一環として、ユーザの心象(その対話をどの程度楽しんでいるか)をマルチモーダルデータから推定する研究において、脳波計を併用する試みも行った。特に脳波は個人差が大きいことから、安静時の脳波を利用して個人差を吸収する正規化を導入した新たな心象推定手法を開発した。ユーザの心象は対話の破綻を検出する手がかりとなる情報である。個人差の影響を緩和することで、心象推定の平均絶対誤差(MAE)を相対で7.9%削減した。

(2-5-2) 誤り発生時の対話の継続

誤りが生じた場合にも対話を継続させる技術のひとつとして、ターンテイキングの誤りが発生した際の修復や対話の継続に関する取り組みを進めているが、研究開発項目2内での継続的な議論を踏まえ、これを従来の2者対話から、システムを含む多人数対話へと展開することにした。これに伴い、前年度までに開発したシステムを、複数ユーザの音声およびシステム音声を別チャネルとして録音可能とするなど、多人数対話に対応できるよう拡張した。ターンテイキングの誤りが生じる多人数対話データの試験的な収集は完了しており、本システムを用いて収集したデータを用いることで、今後性能を検証する。

課題推進者: 駒谷和範(大阪大学)

(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 3-1: 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:

(3-1-1) 未知・新規な状況を判断する技術開発

オープンセットドメイン適応 (Open-set Domain Adaptation) は、ターゲットドメインのデータにソースドメインには存在しない未知・新規のクラスが含まれるという、より現実的なドメインシフト問題において、学習アルゴリズムの汎化性能を向上させることを目的とした手法である。既存の多くのアルゴリズムは、未知クラスの分離をヒューリスティックに行った後に、ソースとターゲットのクラスが同じであるクローズドセットドメイン適応として構成される二段階の処理を含んでいる。そのため、真の分布とヒューリスティックから推定されたサンプルとの間にギャップが存在し、汎化誤差を厳密に制限することが困難であった。

そこで、当該年度は、正例ラベルなし (Positive-Unlabeled, PU) 学習理論とドメイン適応における結合誤差を活用し、ターゲットタスク全体のリスクを厳密に制限するエンドツーエンドのアルゴリズムを提案した。複数のデータセットにおける広範な実験により、本手法が既存のオープンセットドメイン適応手法と比較して、効果的かつ効率的であることを示した。Office-Home データセットにおいて、ResNet-50 といった単純な分類モデルを使用した場合でも、全てのクラスの正規化精度において8割程度の精度を達成した。

(3-1-2) 未知物体や状況に関する情報を獲得する技術開発

視覚的なコンテンツを解釈し推論する能力を備えた知的システムに対する需要の高まりに伴い、正確であるだけでなく、明示的な推論能力を有する大規模な視覚と言語の統合モデル (VLM: Vision-and-Language Model) の開発が求められている。当該年度は、視覚的コンテンツとテキストによる指示に基づき、明示的な推論を実行可能な VLM を開発するための新たなアプローチを提案した。具体的には、必要な知識を獲得するために質問を生成できるシステムを導入し、推論プロセスの頑健性および説明可能性の向上を図った。この目的のために、大規模言語モデル (LLM) によって生成された、質問生成を伴う思考の連鎖 (chain-of-thought) 推論を促進する新規データセットを構築した。

当該データセットは、キャプション生成のような一般的なタスクから、専門的知識を要する高度な視覚質問応答 (VQA) タスクまで、幅広い領域を網羅している。さらに、このデータセットを用いて既存の VLM をファインチューニングし、推論時における質問生成および反復的推論の実行を可能にした。その結果、本研究では、曖昧な視覚入力に直面した場合でも、明示的な推論を行いながら積極的に情報を取得しようとする能力を備えた、より頑健で、正確かつ解釈可能な VLM の実現に向けて大きく前進した。

(3-1-3) 少数の教師情報からの知識や概念を構築する技術開発

あるドメインで学習されたモデルを、異なるドメインに適用すると、ドメインの違い (ドメインシフト) により期待する予測精度がでない可能性がある。教師無しドメイン適応 (UDA) は、モデルが学習されたソースドメインと、ソースとは異なるモデルの適用先であるターゲットドメインの両方の情報を活用することで、ドメインシフト問題を解決する効果的なアプローチである。一方、近年の視覚言語モデルは、はじめて見るものでも適切に理解可能な顕著なゼロショット予測能力を示している。

そこで当該年度では、UDA によって得られる知識と、視覚言語モデルが本来的に有する知識を統合する手法の開発を進めた。具体的には、ゼロショット予測を用いてソースデータセットとターゲットデータセットの整合性を図る「強弱ガイダンス学習スキーム (strong-weak guidance learning scheme)」を提案した。強いガイダンスにおいては、ターゲットデータセットの中から最も信頼度の高いサンプルを選定し、それをソースデータセットに追加

して拡張する。また、弱いガイダンスとしては、知識蒸留損失を導入した。強いガイダンスは明確な正解ラベル（ハードラベル）を用いるが、これはターゲットデータセットの中でも特に信頼度の高い予測に限定して適用される。一方、弱いガイダンスは確率的なラベル（ソフトラベル）を用い、データセット全体に適用される。

6 つの異なるドメインと 345 の異なるクラスから構成される約 60 万枚の画像を含む大規模なデータセットである DomainNet を含めた様々なデータセットを用いた検証により、本手法は、視覚言語モデルに対するプロンプト適応技術と相補的に機能し、その効果を強化することが分かった。

課題推進者: 原田達也 (東京大学)

研究開発課題 3-2: 意味理解コーパスの研究開発

当該年度実施内容:

(3-2-1) 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

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開発のためのデータの整備をおこなった。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精神科的疾患も対象の一つとして収集・整備している。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、精神科的疾患は、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、現在は昨年度の統合失調症に関する対話データだけでなく、うつ病の患者の対話データの収集を行った。患者にはロボットとの対話、その後患者のうつ病の状態を示す HAM-D スコアの評価を行ってもらい、対話データとして収集を行なった。結果 25 例の対話データが収集できた。

(3-2-2) 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

(3-2-1)で収集および整備したデータを用いて解析を行なった。データはうつ病患者の対話データであり、それらは動画データとして保存されている。そこから、対話の内容をテキストデータと音声データとして抽出し、対話からうつ病の程度を推定するモデルを構築した。平均絶対値誤差で 4.5 以下の推定精度を達成した。音声データを利用した統合失調症の識別モデルの構築は昨年度行っており、ここでは 70% の正答率で統合失調症か正常かを識別できることを確認している。

課題推進者: 黒瀬優介 (東京大学)

研究開発課題 3-3: 継続学習と記憶の研究開発

当該年度実施内容:

(3-3-1) 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

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の実施について、以下の 2 つの進捗が完了している。

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の一環として、人間の脳が特定情報を忘却するメカニズムをシミュレーションする新たな教師なし学習手法を開発し、CA に忘却能力を付与した。

人間にとって「忘れること」は、決して単なる記憶の消失ではなく、必要のない細部を手放し、本質的な情報だけを残すことで、新しい環境や未知の課題に柔軟に適応するための重要な仕組みである。こうした忘却の仕組みは、汎化能力や創造的思考の土台にもなっており、人間らしい知性の本質とも言える。CA にもこのような忘却能力を持たせることで、未知の状況でも本質を捉えて柔軟に対応できるようになり、適応力が飛躍的に高まることが期待される。また、過去のセンシティブな情報やプライバシーに関わる内容を意図的に忘れる機能は、倫理

的な AI の実現にもつながる。人間と同じように「忘れる」ことができる CA は、人間にとってより親しみやすく、信頼できる存在となるための重要な一歩でもあると考えられる。

令和 5 年度段階では、人間の色知覚を模倣し、進化的圧力の下で有限の色数に自動分割するアルゴリズムを確立し、1 千 6 百万のカラー空間を 10 以下に圧縮することに成功した。当該年度はこのアルゴリズムを単一ピクセルにとどまらず画像全体に拡張し、コミュニケーション圧力を想定した状況下で、画像情報の 99.5% 以上を忘却しながらも 65% 以上の再現率を維持できることを確認した。

2) 従来の 2D 向け手法では対応が難しかった 3D 形状の忘却を実現するため、条件付き半教師ありフロー (flow-based) モデルを用いて 3D 点群を潜在的なガウス混合空間へマッピングし、忘却対象情報を 80% 以上の適合率で除去しつつ、70% 以上の形状情報を回復可能であることを実証した。いずれのプロセスも処理時間が比較的短く、画像の忘却は 0.5 時間未満、3D 形状の忘却は 10 分以内に完了した。これらの成果により、2D および 3D データそれぞれで、長期記憶の忘却と再現の両面において大きな進展が得られたと考えられる。

(3-3-2) 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

第二の課題として、自然言語処理技術のモデルを医学関連研究へと拡張し、2 つのより一般的なシナリオにおける貢献を検証する。

1) 胸部 X 線は、もっとも一般的に用いられている健康診断手法のひとつであり、日々膨大な数の画像が撮影されている。こうした読影作業は医師にとって大きな負担となっており、特に医師が限られている離島やへき地、発展途上国では深刻な課題である。もし CA が通常の症例については自律的に診断を行い、異常が疑われるケースのみを医師に通知して遠隔で確認してもらう仕組みが実現すれば、医師の負担を大きく軽減でき、限られた医療資源の有効活用にもつながる。

こうした背景のもと、本研究では自然言語処理技術を医学応用に拡張する取り組みとして、胸部 X 線画像と放射線レポートを対象とした医用基盤モデルを構築し、その有効性を検証した。胸部 X 線画像では、疾患に関連する特徴は非常に局所的かつ希少である一方、それ以外の領域は正常で特徴に乏しいという課題がある。そこで、放射線レポートの記憶を活用することで、モデルが症状のある領域にのみ着目できるよう学習を行い、多ラベル分類・異なるクラス分類、気胸のセグメンテーション、医用画像とレポートの相互生成など、7 つの主要タスクで有効性を示した。

2) 提案する忘却メカニズムを活用することで、複雑かつ現実的なシナリオにおける CA の言語理解・推論能力を向上させる研究も行った。CA は現実世界で多様な人々と関わることを前提として設計されており、実際の環境ではユーザは誤った情報を含んでいたたり、重要な事実を忘れてしまったりすることが少なくない。特に、高齢者や子どもなど認知的な負荷が高い場面では、こうした誤りが CA の応答精度や信頼性に大きな影響を及ぼす可能性がある。

従来のアルゴリズムでは、ユーザが提示する質問が常に正確であることを前提としていたが、実際にはユーザ自身が事実を忘れたり、誤った情報を含むノイズの多い質問を投げかけたりするケースが多い。当該年度は、こうしたユーザ側の忘却メカニズムを明示的にモデル化し、自己修正プロンプトと呼ばれる新しい手法を提案することで、専門家でない一般ユーザからの質問に対しても、回答精度を効果的に向上させることを確認した。

(3-3-3) 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

最後に、CA がより人間らしく、共感的かつ個別対応可能な存在として社会に受け入れられるためには、「個性」や「感情」といった人間の多様な内面を理解し、それに応じた振る舞いができることが重要である。こうした観点から、本研究では人間の個性をシミュレートする記憶メカニズムの設計に取り組みました。具体的には、既存の研究を拡張し、CA モデルがキャラクターの振る舞いや思考、感情をある程度保持し、文脈に応じてそれらを解釈・活用できるようにすることを目指した。ここでは、個性記憶メカニズムを活用してキャラクターの個性や感情

のニュアンスをより詳細に捉えられるようにすることを目指しているほか、適切なプロンプトを与えることでモデルが特定のタスクに対する動機付けのレベルを判断し、その結果として行動を選択できるようにする技術を検証した。より一般的なシナリオを想定した心理特性および対人関係に関する測定を実施した結果、CA モデルが他者の感情を知覚・理解し、適切に反応する能力を備えていると評価され、人間と比較して 50%以上の人格を有すると判断される場面が確認された。この研究は現在も進行中であり、今後はさらに多様なシナリオや被験者層を対象に追加の検証を行う予定である。

課題推進者:Gu Lin(理化学研究所)

研究開発課題 3-4: 因果推論と予測機能の研究開発

当該年度実施内容:

(3-4-1) 効率的な因果関係の探索と活用のための行動計画に関する研究

CA が実際に空間を探索するための基礎となる強化学習に関する手法の提案を行った。CA の探索アルゴリズムの獲得のため、実際に人間が探索した行動履歴データを真似させる、といった例示教師データからの方策学習は有効な手段である。しかしながら探索においては未知の環境で行動を行い情報獲得する必要があり、そのような教師情報が無い状態でどのような行動を学習するかは重要な課題である。我々は行動の提案モデルを学習する際に用いる正則化において、行動の空間の類似度を考慮した正則化項を用いることで未知環境においても近い既知環境での教師行動を参考に学習を行える手法を提案した。提案手法により標準的な強化学習タスクでの学習効率や性能が改善され、タスクによっては 5 割以上の性能向上が見られた。

人行動予測のためのデータセット作成も行っている。時系列予測においては様々な種類のセンサ入力を統合して予測を行う事でデータの欠損にもロバストな予測が期待でき、そのために人の室内行動を複数カメラ等で撮影したデータセットを作成中である。特に、複数人が協調動作を行い一つのタスクを行うデータセットを撮影した。部屋に備え付けたカメラから撮影した映像と人間の行動を結びつけることにより、CA による高性能な人間の意図推定や人間の行動補助アルゴリズムの獲得が可能になると期待される。上記の強化学習と組み合わせることによるカメラ画像からの探索アルゴリズム作成にも繋がる。

人間の行動や物体の動きは背後の物理法則に従って動いている。従って CA が物理的なモデルを内面に獲得することにより、効率的な予測や探索行動獲得ができると期待される。そのために、物理情報も含めて計測した人間行動データセットの撮影も行なっている。今後はこのデータセットを用いて、CA が物理法則を考慮に入れた予測を行うことができるモデルの学習に取り組む。

課題推進者: 椋田悠介(東京大学)

研究開発課題 3-5: 自然言語処理の研究開発

当該年度実施内容:

(3-5-1) 自在化した CA を実現する知能の研究開発

日本語話者の文化や感性に適した応答をすることができる言語モデルの実現のために、日本語での入出力に適した言語モデルの研究を推進した。英語中心のデータで学習された言語モデルに対し、日本語以外のデータを用いた場合でも日本語の性能が向上するという言語横断的な汎化性能について実験的に調査を行い、日本語のデータが十分に用意できない状況でも英語のデータを活用することで、日本語の性能をある程度向上できることを示した。また、日本語の日常的な対話における統制されたクリーンなデータセットを構築し、そのデータを用いて言語モデルをチューニングすることで、一般的な日本人が親しみを感じる自然な日本語の応答を生成できる対話が可能であることを示した。

(3-5-2) LLM(大規模言語モデル)の動作原理解明と利便性向上に資する研究開発

言語モデルの学習または運用に必要な総コストを削減できる方法についての研究を行った。具体的には、少ない計算リソースでも事前学習や事後学習が可能となる方法を考案した。必要な記憶容量を一定の閾値以下に抑えて学習を行う手法を開発し、GPU 価格が高騰する中でも、メモリの少ない GPU での学習を可能にした。言語モデルで用いられる Transformer モデルの内部状態を分析し、学習後の中間層が非効率で無駄が多いことを明らかにした。内部状態を理想的な形に自己蒸留することで、推論時に早期打ち切りを活用したコスト削減が効果的に行えることを示した。これにより、条件が整えば計算コストを 50%以上削減できる可能性があることを明らかにした。

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 4-1: 自在 CA 制御技術の基盤研究開発

当該年度実施内容:

(4-1-1) 自在 CA 制御技術の研究開発

これまでに研究開発を進めてきた、一人の人が複数台の CA 遠隔操作を可能にする基盤技術を利用することで、一人の操作者が複数台の CA 利用した場合でも操作者自身や CA と連携する現場の利用者が 70%以上の満足度を得ることを検証した。当該年度は、これまでに開発を進めてきた CA 操作システムを拡張し、画像や指さしによる指示情報を統合することで複数台の CA を効率的に協調させることのできるシステムを実装・評価した。具体的には図 4-1 に示すように、うめきた 2 期地区において在宅医療現場を模した環境に存在する 4 台以上のモバイルマニピュレータ1台の対話 CA を1人のユーザが同時に遠隔操作し、配膳や生活支援タスクを実施した。その結果、実装した CA 操作システムを用いることで、操作者やユーザの満足度が、同じ作業を人間が行った場合に比べて 70%以上に保たれることを確認した。



図 4-1 画像指示インターフェースを用いた遠隔操作による複数 CA 協調配膳タスク

(4-1-2) 自在 CA 制御プラットフォームの研究開発

前述の複数台 CA 遠隔操作システムやこれまでに開発したシステムを組み合わせた、自在 CA 制御システムを、うめきた 2 期地区や研究開発項目 4 の各拠点で利用し、長時間の運用に耐えることが出来るかを検証した。各拠点で利用する CA は、固定型(机などに固定して電源供給するタイプ)と移動型(車輪によって移動するためバッテリーを持つタイプ)が混在している。昨年度開発した大規模言語モデルを用いた複数 CA へのタスク割り当てシステムを利用することで、特定の CA にタスク負荷が集中することを避け、移動型 CA の充電時間も考慮したタスク割り当てを実現した。

(4-1-3) インフラ整備と実証実験の実施

研究開発項目 5 で開発および検討を進めている CA 制御プロトコルについて、研究開発項目 4 で利用する移動型マニピュレータ CA への導入を検証した。移動型対話 CA への CA プロトコル導入実績は存在したが、移動型マニピュレータ CA への導入実績はなかったため、アームの制御や把持の操作などに利用できるシステムの試作とその性能評価に取り組んだ。市販の VR システムを利用することで、移動型マニピュレータ CA のカメラ情報を操作者に提示し、VR コントローラーによって CA のアームや把持動作を制御するためのシステムを開発した。うめきた 2 期地区や研究開発項目 4 の拠点において試作システムを利用し、その操作性や反応速度を検証した。これにより、移動型マニピュレータ CA の開発を本プロジェクトの情報インフラである CA 基盤をもとに行うことができるようになった。CA 基盤を介して他の CA との連携・協調が可能になり、移動型マニピュレータ CA を含む複数 CA の制御技術の研究開発を行うことができる。

課題推進者:堀井隆斗(大阪大学)

研究開発課題 4-2:階層的 CA 制御の研究開発

当該年度実施内容:

(4-2-1)複数 CA によるタスクの階層構造を利用した制御

大規模言語モデルを利用することで、自然言語で記述された手順から、複数 CA の連携行動をプランニングする手法を開発した。この手法では個々の CA の能力に応じて、大規模言語モデルが実行可能なタスクを CA に割り当て、達成可能な連携行動をプランニングする。この時、プランニングと修正を繰り返す二段階推論により、より成功率の高い連携行動をプランニングすることができる。この手法により、事前にプログラムされていない複数の連携行動系列を実行可能となった。実際に、目標として料理レシピを与え、3 体の CA (アームロボット・移動ロボット・モバイルマニピュレータ) で複数 (3 つ以上) の連携行動を実行できることを確認した。

研究開発課題 4-3 と連携し、実世界検索エンジンを導入した半自律 CA による遠隔支援システムを構築した。このシステムでは、まず CA が自律的に環境の情報を収集し、それを実世界検索エンジンへと登録する。この実世界検索エンジンを利用することで、現場の状況を把握していない遠隔操作者であっても、情報を検索することで環境の情報を知り、CA に指示を出すことができる。実際に、大阪にいる遠隔操作者が東京(電気通信大学)の家庭環境にある物体を実世界検索エンジンで検索することで、遠隔地のユーザを支援できることを確認した。

(4-2-2)学習モデル構築のためのフレームワークの開発

複数 CA の意図調停モデルと強化学習モデルを接続し、試行錯誤からモデルのパラメータを学習し、CA の状態に応じて適切な協調行動を生成できるモデルを構築した。このモデルでは複数の CA の状態を表す潜在変数を推論し、各 CA はその潜在変数と自身の状態に基づいて行動を生成する。当該年度はより複雑な CA の状態を表現できるよう、この潜在変数を連続値・時系列にしたモデルの開発と、3 体以上の CA の連携行動を学習可能な新たな推論手法を開発した。実験では、新たな手法を用いて 10 体の CA の状態を表現可能な潜在変数の推論ができること、マルチエージェントのシミュレータを用いて 3 体の CA の協調行動が学習できることを確認した。

課題推進者:中村友昭(電気通信大学)

研究開発課題 4-3:生活環境対話技術の研究開発

当該年度実施内容:

(4-3-1)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、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。

当該年度は、これまでに開発した概念実証システム「実世界検索エンジン」を高度化し、10 万平米レベルの環境と、多言語対応を可能とした。実世界検索エンジンでは、ロボット型 CA やタブレット型 CA により実世界クロールリングが可能であり、ユーザは自然言語を用いて物体を検索できる。実世界検索エンジンのサブモジュールとして、最適輸送に基づく参照表現セグメンテーション手法、タスク前後の画像と指示文からタスクの成否判定を行う Contrastive λ -Repformer を構築した。後者を導入することで、成功率が低い動作についてタスク失敗率を相対 50%改善することが可能となった。

(4-3-2) 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、利用者と対話しながら 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。

環境中に複数の CA が存在する場合、利用者と対話しながら 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 の状態に基づくクロスモーダル自在対話技術を構築する。

本年度は、Retrieve/Follow タスクを行う生活支援ロボットのための環境探索手法を構築した。大規模言語モデルに基づくベースライン手法と比較し、ベースラインが 50%程度であったのに対し、提案手法では 80%を超えるタスク成功率(10 環境・15 箇所の巡回)を達成した。クロスモーダル言語生成の自動評価尺度を用いて生成品質を改善するとともに、生成文を用いてデータ拡張を行う言語理解精度改善フレームワークを構築した。

課題推進者: 杉浦孔明 (慶應義塾大学)

研究開発課題 4-4: 生活物理支援 CA の研究開発

当該年度実施内容:

(4-4-1) 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

本項目では、生活環境において環境情報を学習し、常識的な事前知識と統合しながら操作者の意図を理解し、プランニングおよびナビゲーションを通じて自在な生活物理支援を実現する人工知能技術の開発を目的とする。意図調停技術に関しては、課題 4-2、課題 4-1、課題 4-6 との共同研究を展開した。

課題 4-2 との連携による成果としては、異なる身体構造を有する複数のロボットが創発的な言語的コミュニケーションを通じて協調行動を生成する枠組みを構築した。これは、身体性の違いを超えて意図共有と行動分担を実現することを目的としており、生活環境における多様な CA 間の連携を支える基盤技術となる。課題 4-1 および課題 4-6 との連携による成果としては、BMI (Brain-Machine Interface) による曖昧な操作入力からユーザの意図を推定し、自律系が補助制御を行う共有制御手法を開発した。意図推定の確信度に応じて自律制御とユーザ入力の重みを動的に調整することで、滑らかな操作を実現し、実環境での模擬実験においてその有効性を確認した。

指示語の外部照応解析手法と大規模言語モデルを統合したサービスロボットのための言語理解技術を開発した。指差しや言語命令の動的なタイミングを推定する手法を開発し、2024 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)にて Best Paper Award を受賞した。3D セマンティックマップと自己教師あり学習を統合的に活用し、インスタンス学習・検索を改善する手法を提案した。この成果も 2024 IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC2024)にて Best Paper Award を受賞した。さらに、大規模基盤モデルをロボットのプランニングに使用する手法を拡張し、「あのボトルを持ってきて、空の菓子の箱を捨てて」、「病室にこのボトルを置いて」のような複数種類の言語指示タスクからマルチロボットにおけるロボットプラン

ニング手法を開発した。言語指示や環境の情報、ロボットの知識を GPT に入力することで、ロボットごとの知識や身体の違いを考慮してタスクの分解と割当を行うことが可能となった。

(4-4-2)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

本項目では、ユーザの操作意図を読み取り、身体構造の異なる生活物理支援 CA 同士が、それぞれの身体的特性を活かしながら協調的にマニピュレーションを行う技術の開発を目的とし、意図調停技術および機械学習技術の研究を実施した。意図調停技術に関しては、課題 4-2 との連携のもと進めた。

当該年度の成果としては、複数のエージェントが生成的なコミュニケーション創発に基づいて意図調停を行う枠組みについて、従来用いられてきたメトロポリス・ヘイスティングス法に代わり、変分推論に基づく新たな手法を開発した。課題 4-1 との共同研究により、世界モデルを活用した模倣学習への応用も進展し、多様な身体を持つ CA 間での知識共有・行動生成に関する知見を得ることができた。

日常的な生活環境において複数の生活物理支援 CA が連携してマニピュレーションを行うための基盤技術の開発と実証を行った。まず、大規模言語モデル (LLM) および視覚言語モデル (VLM) を活用し、物体の名称のみからその反射率特性を推定する手法を検討した。実験の結果、GPT-3.5 や GPT-4 などの LLM は、入力されたテキスト情報に基づいて物体の反射率をある程度正確に推定可能であり、また CLIP のような VLM においても、言語の潜在構造を活用することで画像ベースの反射率推定における汎化能力が向上することが確認された。これにより、分布意味論に基づく事前知識がマニピュレーションの知覚・把持精度向上に寄与する可能性を示した。

この基礎研究を応用し、実環境においては、アーム付きモバイル CA (CA-1) と移動専用 CA (CA-2) が協調するマニピュレーションタスクを家庭環境で構築・実行した。療養者の依頼により、CA-1 がリビングにある新規物体を取得し、近接センサによりグリッパーを制御、把持後に CA-2 に受け渡すことで、ベッド上の療養者の元に物体を届ける一連の作業を達成した。この際、反射率推定に基づいた近接センサの較正が効果的に機能し、正確な物体操作が可能となった。これらの取り組みは、課題 4-5 との連携の下で進められている。

さらに、本研究グループが参加した Future Convenience Store Challenge 2024 (NAIST-RITS-Panasonic チーム) においては、厳格なルールが課される移動マニピュレーション部門にて第3位を獲得し、2025 年大阪万博での決勝進出が決定した。このように、実世界でのマニピュレーション精度と協調制御の有効性が高く評価されている。

(4-4-3)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の開発を進めた。単一の生活物理支援 CA の開発にとどまらず、多様な CA が協調・連携することを前提としている。

京都大学では、本研究項目において生活物理支援自在化フレームワークを中核とし、研究開発項目4内で開発された生活物理支援 CA 向けの各種要素技術を統合するための研究を推進した。具体的には、認知モデル統合に関する基礎理論の研究開発を行うとともに、その理論に基づき、立命館大学におけるフレームワーク用ソフトウェアの開発および研究開発項目4内の要素技術の統合に関するディレクションを担当した。

意図調停技術の基盤理論である「集合的予測符号化」について、その展望を明確にし、2本のプレプリントとして公開した。1本目は、System 0/1/2/3 概念に関するもので、身体的相互作用と社会的相互作用を包含する CA 自在化体系の理論化を試みたものであり、課題 4-1 (堀井) との共同執筆である。2本目は、Generative Emergent Communication (生成的創発コミュニケーション) に関するもので、大規模言語モデルと世界モデルの関係を明らかにし、多主体協調に新たな視座を提供する内容となっており、課題 4-2 (中村) との共同執筆である。

マルチ CA の生活物理支援のための自在化フレームワークと可視化ユーザインターフェースの開発を推進し

た。フレームワークについては、これまで開発され普及した自在化フレームワークである SDE を基盤に、新たに SDE-Bridge という技術を開発中である。SDE-Bridge は、異なるロボティクスプラットフォーム上で稼働する複数の CA を接続するための拡張機能である。最新の SDE に関する進捗や機関の関与は、<https://coarobo.com/ja/community> で閲覧可能である。SDE の普及状況として、研究者アウトリーチは 154 人、論文引用数は 78 件、関与機関は 33 機関、対応ロボットプラットフォームは 12 台、対応国は 7 カ国に達しており、着実な国際展開が進んでいる。可視化ユーザインターフェースについては、現実・仮想性連続体における Augmented Virtuality (AV) の利用法を研究開発した。これは、ユーザがロボットの CA を擬似体験し、現場環境から認識や学習を監視するための新しいリモート操作手法であり、従来の Augmented Reality (AR: 拡張現実) や Mixed Reality (MR: 複合現実) を更に発展させたアプローチである。AV によってユーザはロボットの CA を擬似的に体験し、リアルタイムでの認識の監視が可能になった。この新しいインターフェースは、迅速な導入を可能にするため、直接、本研究プロジェクトで開発してきたフレームワークでの SDE に接続されている。視覚化のみならず、現場での AR 操作や遠隔地からの VR 操作による CA 制御にも拡張された。特に大阪と草津間での VR による遠隔操作の実演を通じて、その有効性を示した。SDE-Bridge と新しい AV インターフェースは、大阪のグラングリーンで行われたアバターランドと 2024 年の未来モノづくり国際 EXPO の FCSC イノベーションタスクにて展開された。このデモンストレーションでは、移動マニピュレータ CA と棚搬送型 CA が連携し、日常物体をピック・プレース・キャリーの動作でタスクを実行した。具体的には、「物品の持参」と「ゴミの廃棄」という 2 つのタスクにおいて、これらの動作が用いられた。

課題推進者: 谷口忠大 (京都大学・立命館大学)

研究開発課題 4-5: 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:

(4-5-1) 触・近接覚センサに基づく自在操作技術の開発

複数種類の CA への触覚・近接覚センサを搭載したハンドの実装を行った。モバイルマニピュレータタイプの CA として生活支援ロボット HSR (Human Support Robot、トヨタ社製)、双腕協働ロボットタイプの CA としてロボットアーム UR3e を用いた機体、農業ロボットタイプとして協働ロボットアーム Doosan M1013 を対象として、各機体の構成と用途を考慮したハンド構造 (指本数、関節数、自由度配置) および指先近接覚センサを設計した。モバイルマニピュレータタイプでは、既存の様々な構造の CA に接続可能とするため、無線化かつバッテリー内蔵のスタンドアロン型のハンドを提案した。本ハンドは指先近接覚センサの情報を手掌部に搭載された MPU で処理し、直接的に指関節のアクチュエータをフィードバック制御することで、指先が検知する環境に応じて自律的になじむ動作制御を実行することができる。加えて、上位の制御器から無線信号によって指の動作軌道を指令することもできる。その特徴は、ハンド自体が独立したエージェントとして機能できること、ハンドは特定の CA と紐づいている必要はなくネットワーク内の任意のデバイスから動作指令を受け取ることが可能な点である。これにより、多数のハンドを並列で制御可能な枠組みを構築した。

生活環境におけるタスクへの実装に関して、物体把持タスクとして①移動する物体の把持、②遠隔操作環境での把持、③人からの物体受け渡し、および環境探索タスクとして④近接覚と視覚を統合した物体形状認識、⑤非接触の手探りによる物体形状認識、を主な対象とした。その成果として、①移動する物体の把持はセンサと制御則の改良により追従性能を向上し、従来成功率が低かった高速 (約 140mm/s) 条件下で、異なる 8 種類の農作物を模した物体の把持成功率は 78% であり、従来 (1 種に対して 14%) から大幅に改善した。②遠隔操作環境での把持も同様の改良により、単純な形状の物体 (りんご) であれば、低速 (約 60mm/s) で移動する物体の把持成功率を 60% から 88% に向上し、移動物体が揺れを伴う条件下でも 57% の確率で成功が可能であった。③人

からの物体受け渡しは新たに実現したタスクであり、透明度が高い物体や指先に比べてはるかに小さい物体を除き、紙コップやタオルを含む様々な日用品(10 種以上)に対する安定した受け渡しを行うことができた。④および⑤の環境探索タスクは能動的なセンシングによって CA 頭部の視覚センサだけでは認識できない詳細な情報を取得するものである。特定物体に対する実験室内の評価実験では、ハンドからの物体検出可能距離を約 3 倍に向上し、物体周辺を指先でスキャンすることによる能動的な物体形状推定では従来手法に比べて真値との誤差を 31%小さくすることができた。

課題推進者:鈴木陽介(金沢大学)

研究開発課題 4-6:侵襲型 BMI による CA 制御の研究開発

当該年度実施内容:

(4-6-1)侵襲型 BMI による CA 制御の研究開発

CA の上肢機能の開発については、HSR による自律的把持制御においてポテンシャル場を導入し、HSR が物体を確実に把持できるようにした。これに加えて、研究開発課題5(鈴木)との連携による近接センサを用いたハンド制御のフレキシブル化により、正面から 30° 以内であれば物体を確実に把持できるようにした。BMI の随意制御では意図してから 100ms 以内に制御に反映させるようリアルタイム性を改善した。CA 上肢操作の臨床試験に向けて、ハンドの把持、アームの 3 次元制御のための、頭蓋内脳波データの取得方法を検討し、ROS 上で作成したロボットアームの3次元運動を患者に模倣させる方法を採用した。その頭蓋内脳波データの取得方法を用いて、てんかん患者3名で上肢運動時の頭蓋内脳波計測を実施した。

CA の会話機能の開発については、BMI で頭蓋内脳波を解読してカーソル・フリック操作により作成した会話を、大規模言語モデル(GPT4)を用いて自律的に補完し、より丁寧な文章に補強して会話できるようにした。大規模言語モデル(BERT)の日本語モデルを日本語感情データによりファインチューニングしたモデルを開発し、会話文に内在する感情要素を適切に推定できるようにした。これらを統合して、BMI で患者が作成した短文を CG-CA が自律的に補完してより丁寧な文章にし、表情豊かに話してくれる調和的な会話システムを開発し、これを HSR に実装した。これにより、会話の速度を2倍以上にし、感情豊かな会話が可能となった。

頭蓋内脳波によるフリック操作の性能改善を行った。頭蓋内脳波の生波形をシーケンス入力として受け取り、全結合層を数回重ねて学習をさせた深層学習モデルを導入することにより、正確性を 67.1%に改善した。これを搭載した BMI によりカーソル・フリック操作を行うシステムを HSR に実装した。

課題推進者:貴島晴彦(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 5-1:CA 基盤構築および階層的 CA 連携と操作者割り当ての研究開発

当該年度実施内容:

(5-1-1)CA 基盤の構築

CA 基盤第 4 期プロトタイプとして CA 操作者の状況(在宅、モバイル)、模擬 CA サービス提供場所の状況(広域多地点、高顧客密度)、模擬 CA サービスの種類(受付・案内・見学・接客)を想定した CA 基盤を構築した。特に、広域多地点、高顧客密度に対応させるため、昨年度開発した CA のグループ管理機能に加えて、CA の拠点ごとの管理機能と、各 CA と CA 基盤の接続状況(Round Trip Time、RTT)と遠隔操作者の忙しさをグラフィカルに理解しやすくする機能などを追加した。100 体以上の CA を接続した 1 拠点で模擬 CA サービスを提供する機能実証を拡張し、多拠点で模擬 CA サービスを提供可能な基盤となっていることをシミュレーション環

境および実社会環境にて確認した。

(5-1-2)階層的 CA 連携層の構築

令和 5 年度に構築した CA データベースと CA サービスデータベースの登録項目に加えて、OMG (Object Management Group:標準化コンソーシアム)において国際標準化された Robotic Localization Service (RLS) および Robotic Service Ontology (RoSO) を活用して、CA が稼働する位置情報を付加し、1,000 体規模の CA と場所に基づく知識・サービスを扱えるように拡張した。(5-1-1)の実社会環境での機能実証実験において、各レコードを登録するとともに、模擬 CA とサービスが提供できることを示した。

(5-1-3)操作者割り当て遠隔操作層の構築

CA 操作者が、CA を通じて、公共・商業施設や大阪・関西万博会場などのイベント会場を想定した規模での CA サービスを提供する場合に必要な CA 操作者の特性を反映させた CA 操作者データベースとそのデータベースに基づく操作者割当手法の拡張を行った。CA 操作者の特性としては、公共・商業施設において、自らの声と変換した声、それぞれでのサービス提供が可能か、移動型 CA に搭載されたカメラから得られる映像に基づくサービス提供が可能か(映像酔いの影響)、といった特性についての必要性を確認し、データベースに反映させた。公共・商業施設やイベント会場において課題となるサービス提供場所のプライバシー情報の保護について、遠隔操作ユーザインターフェース(UI)に表示される画像でのサービス提供相手以外の人の顔のマスキング機能を開発し、実装した。2024 年 9 月に実施した CA 基盤機能実証実験において、上記レコードを持つ遠隔操作者データベースに、29 名の遠隔操作者を登録し、CA サービスの割当が正しく行われることを確認した。

(5-1-4)CA 基盤機能実証実験

模擬 CA サービスの提供を通じた CA 基盤機能実証実験として、大阪駅前の新しい複合商業施設であるグラングリーン大阪・JAM BASE(大阪市北区)、および東京・御茶ノ水駅に隣接する複合性施設である WATERRAS(東京都千代田区)、以上の2拠点において、研究開発項目1・2・4・7と連携して、設置型 CA 23体、移動型 CA 8体、CG-CA 16体による3種類以上の異種 CA サービス(模擬 CA サービス)を、東京・大阪の実験拠点に加えて堺市実験拠点(堺市南区)、翔和学園(東京都中野区)、三和中央病院(長崎市布巻町)、合わせて5箇所から遠隔操作により提供する実証実験を実施し、20日間(2024年9月10日から9月29日)で一般市民5,200人以上の参加者に体験してもらい、CA 基盤第4期プロトタイプの機能の有効性を確認した。この結果を受け、遠隔操作の状況として、多拠点の CA、および遠隔操作者の RTT と繁忙度を管理者の UI に表示する仕様として策定した。

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 5-2: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:

(5-2-1)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、課題 5-1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。

当該年度は CA がサービスを提供する際に 1 体の CA が複数の映像・音声デバイスを同時に CA 基盤に接続できるように CA モニタリングの機能を拡張し、1 体の CA から複数の利用者の映像・音声を同時に送信可能とした。それにより 1 体の CA が 2~3 人の利用者にサービスを提供するタスクに対応させた。1 人の操作者が 5

体以上の CA を操作する際の検証データを効率的に取得できるシミュレーション環境を構築し、操作すべきCA の数、操作が必要なタイミングを自由に変化させながら操作者の挙動を計測することを可能とした。同環境を利用して1人の操作者が5体のCAを操作する条件においてCA経験管理の機能検証に必要なデータを取得した。

(5-2-2)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。

当該年度は、1人の操作者が5体以上の CA を操作する条件において、操作すべきCAの数、操作が必要なタイミングの異なるモニタリングデータを用いて CA 経験管理層の機能検証を行い、モニタリングデータにみられる CA 活動の類似性を利用した操作支援による操作負荷の削減効果を操作量と主観評価の両面で確認した。1人の操作者が5体以上のCAを操作する条件を含む複数の操作者・CAの活動状況および操作データを統括管理する機能をCA基盤に追加するとともに、利用者・CA モニタリングの研究開発で得たシミュレーションデータを利用し同条件における階層間プロトコルの動作を確認した。さらに追加した統括管理機能の動作を実証実験環境において検証した。

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 5-3:CA 及び CA 基盤標準化

当該年度実施内容:

(5-3-1)CA のサービス機能仕様の記述方法の国際標準化

本研究開発課題では、CA の機能と、策定した CA 基盤プロトコルを世界標準にするために、標準化活動を行っている。具体的には、ロボット標準化に実績のある OMG (Object Management Group、標準化コンソーシアム) や ISO (国際標準化機構)を通じて、IEEE-RAS(Robotics and Automation Society)等での議論も踏まえ、CA 基盤の国際的標準化活動を推進している。標準化の策定方針としては、既存の情報通信・ロボット標準化を拡張する方針で取り組んでいる。本課題の目標として、CA の基盤技術を国際標準仕様として標準化することを掲げている。(異種間相互接続性の確保、CA 数の拡張性などについて検討。)

現在 OMG (Object Management Group:標準化コンソーシアム) の Robotics DTF(Domain Task Force)で取り組まれている、RTC(Robotic Technology Component) および RoIS(Robotic Interaction Service Framework)仕様の拡張に向けた、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、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んでいくことで、CA のサービス機能仕様記述方法の国際標準化に取り組んだ。

RoSO1.0FTF (Finalization Task Force:最終案作成部会)における RoSO1.0 標準化最終仕様確定に向けた活動では、最終案作成部会に参加する日韓の研究者が隔週でオンライン会議にて情報交換をしながら、公開された Beta 版に対して寄せられたコメントを反映させた形で FTF Report の取り纏めを進めるとともに、OMG Architecture Board のメンバーのアドバイスも反映させた。完成した FTF Report は、2024 年 12 月に米国サンフランシスコで開催された OMG 2024Q4 TC Meeting へ提出・受理され、これをもって実質的な RoSO1.0 の標準化活動を完了した。RoSO1.0 は OMG より 2025 年 8 月頃に発行される予定である。また、RoSO1.0FTF の終了後に設立した RoSO1.1RTF (Revision Task Force)において、RoSO1.1 の提案内容に関する議論を進めた。

(5-3-2)CA 基盤のプラットフォーム仕様の国際標準化

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は、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情報交換・議論をしつつ検討を進め、OMG での RoIS 下位レイヤの改訂活動において、様々な下位レイヤとの組み合わせを可能とするために、メッセージの交換方法（通信のためのフレームワーク）を特定しない仕様とするなどの取り組みを行った。策定した RoIS2.0 Revised Draft は、2024 年 9 月に開催された OMG 2024Q3 TC Meeting へ提出・受理され、RoIS2.0FTF の設立により、RoIS2.0 標準化仕様確定に向けた最終段階の活動に入った。RoIS2.0 のコメント受付期間は 2025 年 5 月までであり、今後、集まったコメントへの対応を検討し、それを反映させた FTF Report の取りまとめを進める。

(5-3-3) 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こととして、国際標準化を進めた。(5-3-2)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おり、そこへ提案するモジュール化された CA 機能の定義については、G7 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情報交換・議論をしつつ検討を進め、それらを OMG での RoIS 上位レイヤの改訂に盛り込む活動に取り組んだ。コンポーネントの動作条件を明確に規定可能とするため、コンポーネントの機能記述に RoSO を利用し、対話サービスで利用されるストリーミング機能を基本コンポーネントに追加した RoIS2.0 Revised Draft は、2024 年 9 月に開催された OMG 2024Q3 TC Meeting へ提出・受理され、RoIS2.0FTF の設立により、RoIS2.0 標準化仕様確定に向けた最終段階の活動に入った。

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 6-1：生体応答統合解析

当該年度実施内容：

(6-1-1) CA 利用者および操作者に対するマルチオミクス解析

CA の利用が生体にどのような影響を及ぼすかを調べるためのマルチオミクス解析を実施した。計画通りに研究を実施し、課題 6-2 および課題 6-4 との連携のもと、実験を実施し、データを取得し、解析を進めた。その結果、CA の利用によって第三者との対話でもより好ましい生体応答を誘導できる場合があることを明らかにした。機械学習を活用して、得られたデータの層別化やタスク分類の可能性について検討した。

(6-1-2) 新しい遠隔対話システムに関する調査研究

計画に組み込むべき新しいシステムがあるかどうかを検討し、必要に応じて新たな研究計画を立案することを試みた。課題 6-4 と共同での取り組みである。昨年度から検討を進める MetaQuest などの VR システムを使用してパズルゲームなどを用いた課題設定に取り組んだ。本プロジェクトの研究開発項目 2 課題 1 (河原) が開発中の自律対話システムの応用を検討している。

(6-1-3) 多様なシチュエーションにおける生体影響調査

広範な日常のアクティビティ、シチュエーションが生体にどのように影響するかを明らかにするためのマルチオ

ミクス解析を実施した。課題 6-2 と課題 6-4 と共同でヨガに関するデータを収集することができた。現在、得られたデータを詳細に分析中である。このデータが、今後得られる様々なマルチオミクスデータの重要な比較対象になると期待している。

課題推進者:河岡慎平(京都大学・東北大学)

研究開発課題 6-2: バイオマーカー探索

当該年度実施内容:

(6-2-1) 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

CA の利用が生体にどのような影響を及ぼすかを調べるためにメタボローム解析を実施した。課題 6-1 および課題 6-4 と共同で実施した「見知らぬ相手とのアバターあるいは顔出しでの Zoom 対話実験(50 検体)」にて取得したヒト血漿 50 μ L からの超網羅的なメタボローム解析を実施した。以前に取得した、「友人との Zoom 対話・対面対話実験(120 検体)」、「ゲーム実験(52 検体)」、「シングルタスク・マルチタスク実験(96 検体)」でのメタボロームデータと比較しながら、遠隔対話システム、従来アバター、そして CA の利用が生体に与える影響を検出できるバイオマーカー候補の絞り込みを行った。

(6-2-2) 多様なシチュエーションにおける超網羅的なメタボローム解析

広範な日常のアクティビティ、シチュエーションが生体にどのように影響するかを明らかにするためにメタボローム解析を実施した。課題 6-1 および課題 6-4 の共同で実施した「動的活動としてのヨガおよび静的活動としての瞑想」実験にて採取された血液試料を用いて代謝変動の違いを明らかにした。今後、昨年度実施した「シナスタジア」のメタボロミクスデータと比較しながら各タスクの応答の違いについて心理スコアを加味してを検証していく。

課題推進者:和泉自泰(九州大学)

研究開発課題 6-3: 脳反応計測

当該年度実施内容:

(6-3-1) 脳反応解析を実施するための研究基盤の構築

CA 操作者の対する脳反応を MRI により解析するには広視野の 3D 視覚提示装置を MRI 装置内に VR を実現する必要がある。MRI 内に非磁性体のみで 3D の広視野刺激提示環境を構築し、その環境を最大限活かせる fMRI(functional MRI)計測プロトコルを確定して全体をシステム化した。90° × 90° の視野角を確保した条件でコントローラーを用いて CA を 3D 空間で制御し、その時の大脳皮質全体の脳活動を精密に計測できる環境を整えた。扁桃体、線条体といった皮質下領域の脳活動計測でも多少の信号低下は見られるものの fMRI 実験を実施できるレベルの信号クオリティーを確保した。

(6-3-2) 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

1 人のユーザが複数の CA となる状況でパーソナルスペースを判断する fMRI 実験を被験者 45 名で実施した。使用する CA により同じ個人脳内の社会スペースが瞬時に変化することを見出した。

(6-3-3) CA 利用者および操作者に対する認知制御解析

1 人のユーザが複数の CA となる状況異なる力場の中でロボットマニピュランダムを操作する実験を被験者 30 名で実施した。使用する CA を変えることで個人の運動能力を拡張できるかどうか検証している。

課題推進者:春野雅彦(情報通信研究機構)

研究開発課題 6-4: CA を用いた生体反応実験

当該年度実施内容:

(6-4-1) 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

CA の利用が生体にどのような影響を及ぼすかを調べるための実験系を構築し実験を行うとともに、CA のためのインターフェースの構築も実施した。

予定通り血液検査を伴う実験を実施した。課題 6-1、課題 6-2 と連携し、予定通りのべ 20 人の被験者数の実験を実施した。具体的には、被験者にアバターを利用して Zoom 対話を行う条件と利用せずに顔を見せて Zoom 対話を行う条件の両方に参加していただく実験や、2 名の初対面の人と Zoom 対話を行う実験を行い、前後における血液を採集した。研究開発項目 1 課題 6 と協力しながら、ストレスを軽減するためのインターフェース構築を進めた。

(6-4-2) 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

(6-4-1) で得られた知見も踏まえながらストレスを軽減するためのインターフェースの構築に向けた行動・生体信号解析を実施した。

研究開発項目 1 課題 6 と協力しながら、ストレスを軽減するためのインターフェース構築を進め、その効果について検証を進めた。構築したインターフェースと従来型のインターフェースを比較する被験者実験を行い、主観的な印象として心理的な負担が軽減していることを確認した。集中して課題に取り組んでいることを示唆する生体信号の結果も得られた。

(6-4-3) CA 利用者および操作者に対する行動・生体信号解析

2 台の CA 利用時の行動・生体信号解析を実施した。また、操作者の動作誘導や感覚想起を行う操作インターフェースの効果について予備検討を行った。

2 台の CA を操作して対話タスクを遂行する実験をのべ 35 人で行った。対話の話題の違いに着目しながらその影響について検討を行った。

体内 CA 操作インターフェースチームと連携して、体内外 CA 操作時の操作負荷やストレスを軽減するインターフェース開発のために、新井 PJ と共同で操作者の動作誘導や感覚想起を行う操作インターフェースに関する検討を進めた。予定通り、新井 PJ にて開発された操作インターフェースを用いた実験系の構築を行い、認知負荷軽減に関する小規模予備検討を行った。

(6-4-4) 多様なシチュエーションにおける行動・生体信号解析

広範な日常のアクティビティ、シチュエーションが生体にどのように影響するかを明らかにするための実験系を構築し、実験を実施した。

予定通り課題 6-1、課題 6-2 と連携しながらヨガと瞑想を実施するシチュエーションでの実験を行った。引き続き課題 6-1、6-2 と連携しながら解析を進める。

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 6-5: ホルモン検査と健康基準策定

当該年度実施内容:

(6-5-1) 健康な CA 利用を実現するための健康指針の策定

健康をどのように評価すべきかという基本的な問いに立ち返り、文献的考察から、健康基準の作成方針を考察した。各グループのトライアル実験のデータを参考にしながら、CA 利用者がストレスなく CA を利用し続けるための健康基準の策定指針を明らかにするために文献調査と利用現場における状況把握を行い、アバター共生社会において配慮すべき課題について、日本を対象とした文献を収集し、①業務の向き不向き、②コミュニケー

ションの問題、③作業環境とパフォーマンスのそれぞれに焦点を当てた総説を3本執筆し、日本ロボット学会誌に投稿した。その中でアバター共生社会に向けての実装提言として、(1)職務特性と個人適性を考慮したアバター導入設計、(2)関係性と心理的安全性を重視したコミュニケーション環境の再構築、(3)人間工学・環境工学に基づいた遠隔勤務環境の最適化について言及した。

CA 操作者側の客観的状态評価を質問票と血液採取による分析で行い、遠隔操作型のロボット Telenoid についての成果を論文発表した。ホルモン分泌の個人差と性格の関係について明らかにした成果を論文発表した。対面と Telenoid を介したコミュニケーションを比較した結果、Telenoid 使用時にはコルチゾール(ストレスホルモン)の低下傾向が見られ、対面時には酸化ストレス(d-ROMs)の増加が確認された。これにより、Telenoid のミニマルなデザインがストレス軽減に寄与する可能性が示唆された。

課題推進者: 中江文(国際電気通信基礎技術研究所)

(7) 研究開発項目7: 実社会実証実験

研究開発課題 7-1: 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:

(7-1-1) 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

CG-CAを含むCA 1,000体による3種類以上の異種CAサービスが提供可能な仕様とするため、令和5年度に実施したCA 100体規模の実験を実施する拠点を複数同時に実施できるようにするための拠点管理機能(拠点・グループ管理機能、CA・遠隔操作者状況管理機能)を公開版CA基盤に実装し、大阪駅前の複合商業施設グラングリーン大阪(大阪市北区)と東京・御茶ノ水駅前の複合商業施設 Waterras(東京都千代田区)の2拠点での実証実験を同時に実施し、100体×n拠点規模で異種CAサービス(施設案内、施設誘導、警備、接客など)が提供可能であることを確認した。

研究開発項目1と連携して、日本やドバイで、一人の操作者が20体以上のCAを操作しながら、複数のCAが連携したホスピタリティの高い案内タスクを実施することを想定し、AI-CAプロトタイプ of の仕様を策定した。策定した仕様に基づき、移動型・設置型それぞれ2体ずつAI-CAのプロトタイプを開発した。

(7-1-2) 実証実験拠点の構築

公共・商業施設や大阪・関西万博会場などのイベント会場を想定し、2,000 m²以上の実験環境の検討を可能にする実験拠点の機能と、関連企業および一般市民への研究開発成果をわかりやすく伝えて研究開発にフィードバックするためのオープンラボの機能を併せ持つ場所として、複合商業施設であるグラングリーン大阪 JAM BASE の中にある大阪大学みらい創発 hive(大阪市北区)内に本プロジェクトの実証実験拠点を構築した。実験拠点として機能するように、大阪駅前の二大複合商業施設であるグラングリーン大阪、およびグランフロント大阪において複合商業施設内の店舗と連携した実験の交渉が可能になるように、複数の施設管理関連企業との連携・協力体制を構築し、他の研究開発項目と連携してローカル5G、WiFi-6E等の無線環境を整備するとともに、本プロジェクト関係者以外の立ち入りを安全に行うために管理者を配置するなど管理機能も整備した。

(7-1-3) 企業連携・実証実験運営

公共・商業施設や大阪・関西万博会場などのイベント会場を想定した異種CAサービス提供実証実験として、大阪駅前の新しい複合商業施設であるグラングリーン大阪(大阪市北区、2024年9月にオープン)、および東京・御茶ノ水駅に隣接する複合性施設である WATERRAS(東京都千代田区)、以上の2拠点において、研究開発項目1・2・4・5と連携して、設置型CA 23体、移動型CA 8体、CG-CA 16体による3種類以上の異種CAサービス(施設案内、施設誘導、警備、接客など)を、東京・大阪の実験拠点に加えて堺市実験拠点(堺市南

区)、翔和学園(東京都中野区)、三和中央病院(長崎市布巻町)、合わせて5か所から遠隔操作して提供する実証実験を実施し、CA 基盤の機能実証に加えて、20日間(2024年9月10日から9月29日)で一般市民 5,200 人以上の参加者に体験してもらい、2,285 件の CA 受容性に関するアンケートを取得することができた。空間の制約を越える試みの1つとして、スペイン・バルセロナのカタルーニャ工科大学との接続技術検証を行い、CA サービスが提供可能であることを示した。

企業連携・実証実験運営を進めるために設立したアバター共生社会企業コンソーシアムは、2025 年 3 月末現在で 166 法人まで成長した。本コンソーシアムの各会員の中で自社事業での CA 利用を検討したい企業を募って立ち上げた5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、まちづくり分科会、FA 分科会)では、上記大規模実証実験を見学するとともに、各社の事業の蓋然性を高める実証実験の計画について議論した。

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 7-2:発達障害・うつ病患者実証実験研究

当該年度実施内容:

(7-2-1)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 50 人の被験者のうち、40 人(80%の被験者)が CA を用いた面接を5日連続で行うことで言語性コミュニケーションの改善を示すことができた。その他にも非言語性コミュニケーション改善を目指した CA 実証実験を多数行った。

(7-2-2)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。

50 人程度の被験者のうち、40 人が5日連続で CA を用いた面接練習を繰り返したことで不安症状が軽減したことを示すことができた。その他対人コミュニケーションのモチベーション向上を促す実証実験を多数行った。

(7-2-3)操作型 CA を用いることで社会生活参加を促すシステムの開発

当該年度は 40 人の被験者のうち、見知らぬ方に声掛けをすることへの自尊心、モチベーション改善目的のために当事者自身が CA を操作することによる介入を 5 日間連続で行うことで、32 人が自尊心、モチベーション向上を促すことを示すことができた。また実際の市街地の場所に CA を置いて見知らぬ方に声をかける実証実験を多数行った。介入の結果自尊心、モチベーション向上の日常生活への汎化を示すことができた。

課題推進者:熊崎博一(長崎大学)

研究開発課題 7-3: 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:

(7-3-1) 高齢者用遠隔操作インターフェースの開発と改良

当該年度は、昨年度までに作成した半自律遠隔操作システムプロトタイプに機能追加し、タスク実行速度の向上を試みた。追加機能は操作者と利用者の対話内容をモニタし、必要なアドバイスを操作側画面に提示するものである。この機能を用い、高齢操作者 13 名を対象として実験を行った結果、製品検索などのテストで平均 1.7 倍(1.2-2.3 倍)の速度向上が認められた。ただし、音声認識の誤認識による呈示内容の誤りや、操作者が対話自体に集中して表示内容に気づかない、といった問題が見られた。安定して「正解」を表示させるためには、オペレータが相手の発話を明瞭に繰り返す、など対話手順を踏むことが重要であることもわかっており、これらの点を踏まえた操作手順の明確化や、検索だけでなく対話自体の進め方のアドバイスの表示、生成されたアドバイスの提示方法(音声により伝える、など)を引き続き検討する。

(7-3-2) 実証実験のデザイン・実施・評価

当該年度は、来年度の大阪万博での長期実証実験に向けて、チラシ配布やイベントでの告知などを通じて、高齢遠隔操作ボランティアの募集を行うとともに、定期的に遠隔操作講座を開催した。高齢者遠隔操作ボランティア募集については、3 月末で 150 名ほどの登録を得られており、目標の 100 名を上回る数の高齢者ボランティアを確保できている。高齢者ボランティアには令和 6 年 9 月にはアバターランドでの実証実験にも堺市の遠隔操作拠点から参加した。この際、インセンティブ増加の一環として、堺市と協力して、遠隔操作に参加した方に地域商店街などで利用できるポイントを付与することも試験的に実施した。スマートフォンアプリでの登録など高齢者の操作に問題が見られたものの好評であり、今後、高齢者が遠隔操作を通じて社会参加や、他的高齢者のサポートなどを行っていく方策を考えていくうえで有効な手段と考えられる。

年度後半からは万博での遠隔操作に向けて機材構成や操作方法の検討を実施した。高齢者がストレスなく万博での業務を行えるよう、万博関係者との協議を進めるとともに、物理ボタンを併用した操作システムを新たに開発した。3 月末から万博向けの操作講習会や、現地での見学会なども実施し、4 月からの万博での長期実験に向けての準備を進めている。

課題推進者:西尾修一(大阪大学)

研究開発課題 7-4: 5G 通信環境の研究開発

当該年度実施内容:

(7-4-1) 5G 通信環境の構築

本研究開発課題では、実環境下において遠隔アバター操作に必要な安定性および広域性を備えた 5G 通信環境の構築を目指し、通信性能要件や運用時の制約を明らかにすることを目的とする実証実験を行った。実験により顕在化した運用上の課題に対しては、現場運用に即した対処策を導入し、長期間にわたる安定運用が可能な通信環境の確立を図った。具体的には、群衆による電波遮蔽や端末の低設置に起因する通信品質の低下

に対し、送信電力の最適化やリソーススケジューリングの調整により対応した。さらに、障害要因の切り分けを支援する通信状態可視化ツールや、通信端末における自律的な再接続機構を整備することで、安定した運用を支える 5G 通信環境を構築している。

グラングリーン大阪拠点(うめきた 2 期拠点)における 5G 通信システムによる無線局 2 局の実験局免許を取得し、2024 年 8 月から運用を開始した。これまで大阪大学吹田キャンパス 1 局、商業施設 ATC 2 局の合計 5 局の基地局を運用し、研究開発項目 1、4、5、7 にて実施される遠隔 CA 操作実験に 5G 通信を組み入れた実証実験を実施している。

グラングリーン大阪拠点では消費電力削減や動作騒音の削減も求められることから、運用中の 5G 通信システムにおける RU (Radio Unit) の High-PHY 処理と DU (Distributed Unit)/ CU (Central Unit) の各信号処理の約 20% の効率化を実現し、Mini-ITX 規格の省スペース・静音 PC を用いて基地局 (gNB) を構成して運用している。2024 年 10 月以降は、5G 通信システム内端末の信号品質、リソース割当量、処理時間を長期に渡って記録し、その結果をもとに CA サービスの通信需要に応じたリソース割当量の調整や、サービスを展開する位置(基地局からの距離)に応じた送信電力制御の調整を実施し、200 日間以上の連日稼働、最長連続稼働期間 25 日間の安定稼働を実現している。瞬断理由はログ取得調整に伴うプロセス再起動、施設計画停電によるものであり、現在も継続して最長連続稼働期間を延ばしている。

2024 年 9 月の実証・体験イベント「アバターランド」では研究開発項目 5 の CA 基盤システムと連動し、移動型ロボット Teleco とデジタルサイネージを用いた対話実験に 5G 通信を組み入れた実証実験を行った。実証実験では移動型 CA を使用しており、Wi-Fi を用いた場合に比べて広域での通信が可能であり、拠点周辺を移動しながら遠隔操作に必要な映像送信と制御コマンド受信、自己位置推定の状態を表示する管理接続が行えることを確認した。

5G 通信システムの消費電力を更に削減するため、Low-PHY 信号処理のみを電波発信拠点で実行し信号処理結果を Split 7.2 インターフェースおよび外部通信回線を介して遠隔地に送信するモバイルフロントホール技術の研究開発を進めた。研究室内の実験により 9km~30km の遅延を発生させた状態でも動作可能であることを確認した。

課題推進者: 村田正幸 (大阪大学)

研究開発課題 7-5: 人を含む技能特化型複数モジュールに対応した自律型 CA の同一体同時遠隔制御システムに関する研究

当該年度実施内容:

高齢者支援や未就学児の見守りなど、人との対話やふるまいを通じて関係性を築く現場においては、状況に応じた複数の技能を組み合わせた柔軟な対応が求められる。しかし、ロボット単体の自律制御では、サービス全体の質や信頼性に限界がある。本課題では、技能ごとに特化した複数の遠隔操作モジュールを同時に一体の自律型 CA に接続・分担操作できる技術を構築し、人とロボットの協調による多技能サービスの社会実装を目指す。その実現に向けて当該年度は、①タスク実行の信頼性向上、②多様な操作者に対応する操作 UI の設計、③ホスピタリティを重視した対話行動の実装、という三つの観点から検証を行った。

(7-5-1) タスクの実行信頼性を高める複数 TO 並列マイクロタスク実行システム研究

本サブ課題では、1 つの CA が提供するサービスを複数のマイクロタスクに分割し、それらを複数名の遠隔操作者 (TO) が同時に分担実行するシステムの構築を目的とする。特に、高齢者施設等において求められる対話や移動などの複合タスクに対して、タスク実行の信頼性と操作負荷の分散を図る。当該年度は、音声操作モジュールと観察操作モジュール(令和 5 年度に開発した対話操作モジュールの改良)を活用したマイクロタスク実行

システムを構築し、2名のTOが3体のCAを同時に制御し、介護施設の実環境にて「歌レク」と「口腔体操」のタスクを実行可能であることを実証した。音声認識エラーをマイクロタスクとして可視化し、TOがゲームUIを用いて補完操作することで、対話のエラーリカバリ性能の向上も確認された。当該年度は、CA数・TO数・モジュール数の増加に対応する構成の実現性を見据え、基本的な実験環境およびCA機体の設計開発に注力した。

(7-5-2)多様な文化的背景の人々が意欲的に使用できるマイクロタスク操作UI研究

本サブ課題では、TOによるマイクロタスク操作の継続性・快適性を高めるために、多様なユーザーがストレスなく利用できる操作UIの概念設計と評価を行う。今後、学生・高齢者・一般来場者など、文化的背景が異なる操作者の拡大が想定される中で、操作への心理的負担を抑える設計指針を確立することを目的とする。当該年度は、音声操作モジュールおよび観察操作モジュールに対応した2種のUIについて概念設計および試作を行った。エンジニア男性5名による30分間の操作実験にて、80%が強いストレスを感じずに操作できたことを確認した。加えて、アバターランドの一般来場者326名に対し短時間体験(約5分間)を実施し、73%の体験者がストレスなく使用できたと回答した。多様な背景の操作者に配慮したUI設計の有効性が示唆された。

(7-5-3)利用者へのホスピタリティを実現する対話行動CAの研究と効果検証

本サブ課題では、分担操作によって実現される滑らかで自然な対話行動を通じて、利用者にホスピタリティを感じさせるCAのふるまいを実現し、その有効性を実環境で検証することを目的とする。とくに、感情的受容や対話的応答が重視される介護・展示領域での社会受容性を高めることを目指す。当該年度は、音声操作モジュールと観察操作モジュールによるマイクロタスク実行システムに3種の操作UIを組み合わせ、2名のTOにより4対のCAを制御して「歌レク」と「口腔体操」のタスクを実行した。実施場所は、特別養護老人ホームよみうりランド花ハウス、ソニーシティ大崎、日本科学未来館内の3箇所の実環境であった。移動操作に関しては限定的に留めたが、令和7年度には安全品質審査を完了し、移動・操腕を含めた複数モジュール研究の本格展開を予定している。

課題推進者:袖山慶直(ソニーグループ)

(8)研究開発項目8:アバター社会倫理設計

研究開発課題8-1: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:

(8-1-1)動作スタイル変換モデルの作成

動作スタイル変換技術とは、任意のモーションデータをジェスチャスタイルベクトルに変換し、他のモーションデータ(コンテンツ)に適用することにより、コンテンツのモーションを変化させる技術である。動作スタイル変換技術をCAに用いると、操作者の動作をCAにおいて表出する際に動作タイミングは保持したままスタイルのみを変換することができ、音声言語との同期が重要となるジェスチャ動作への応用に適している。しかし、求める印象になるよう動作を変換するには、スタイルベクトルを適切に選択することが必要である。当該年度は、15種類の印象語によりジェスチャの印象を指定することにより、所望の印象を与えるスタイルベクトルを選択する機構を、大規模言語モデルをfine-tuningすることにより開発した。評価実験の結果、スタイル選択機構によって選択されたスタイルを適用した動作は、ランダムに選択されたスタイルを適用した動作と比較して、より適切に印象を変化させていることが確認できた。

文化的背景や性別を考慮した、丁寧で適応的なCA行動の設計原理を明らかにするために、インタラクション相手のタイプに応じていかなる印象をもつかに関して日本とスウェーデン間の国際文化差比較を行った。日本とスウェーデンの文化的差異が、人間・ロボット・CGキャラクターによる小グループへのユーザの参加行動とエー

エージェントへの印象にどのように影響するかを実験により調査した。スウェーデンと日本で各 54 名、計 108 名の実験参加者に対して、異なる丁寧さ戦略(非提示・間接・提案)とエージェントの形態(人間・ロボット・CG)を組み合わせた実験を実施した。日本人はスウェーデン人よりもエージェントの指示に従いやすく、特に人間エージェントに対して強い従順性を示した。一方スウェーデン人は、ロボットの要請にも人間エージェントからの要請と比較的同等に応じていた。加えて、日本人はロボットやCGエージェントにも心理的な親近感を抱きやすい傾向があった。丁寧な言動(提案型)が両文化の参加者に最も好まれたが、その効果や印象の形成は文化や性別によって異なる結果を示した。

課題推進者: 中野有紀子(成蹊大学)

研究開発課題 8-2: 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:

(8-2-1) 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 の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モラルコンピューティングの研究開発に取り組んでいる。当該年度はこのために、モラル問題行動への介入が必要な場合の自律復帰行動の研究開発に取り組んだ。

1つ目は、一般的な移動場面に関する移動型 CA の急停止により起きるモラル問題への介入行動である。これに対して、実環境で観察した人間の自然な停止行動に基づき、CA のための急停止の事前警報方法を開発した。CA が見回し、体の回転、緩やかな減速を用いて停止前に警告を発することで、後方を歩く人への混乱を軽減する。本方法をショッピングモールにて実装・評価した結果、通行者への影響が大幅に減少することを確認した(図 8-2)。2つ目は店舗での接客場面に関するもので、CA により接客を実施する場合にオペレータが不適切な立ち位置に CA を移動させることでモラル問題が起きることが分かった。例えば、商品を見ている来客に対して、すぐ横に立ち説明をすると、来客が商品を見る妨げとなる。このモラル違反行動に対して、接客状況に応じた立ち位置の補正を行う介入行動を実現した。この機能では、客が商品を手を持った際にオペレータが発話すると自動的に客の傍の説明を行いやすい位置へと移動するが、客が商品を見て回る行動が観測された際には距離の離れた立ち位置へと移動する。これにより、モラル問題行動が起きるのを予防する。3つ目は CA を活用して遠隔地にいるパートナーと移動する場面に関するものである。この場合には、オペレータは周辺環境の認識、友人の動きの判断、自身の CA の移動行動の適切さなど、様々な点に気を配る必要があり、十分なホスピタリティある行動ができない場合が多い。この問題に対する介入・復帰行動のために、操作者が指定したパートナーの隣で立ち位置を自動で調整しながら移動するモジュールも実装した。これらの3種類の他にも、すれ違い時の行動や、移動時の行動についても、自動的な介入行動の研究を行った。

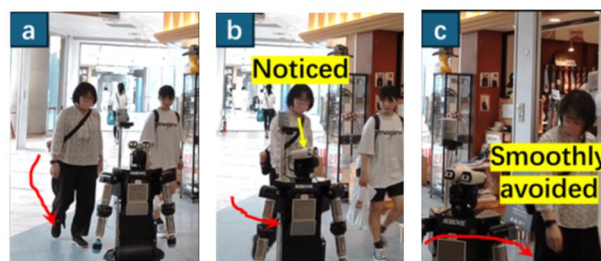


図 8-2 (a) 停止が後方の人に迷惑をかける可能性がある場面

(b) CA が事前に警報行動を取る様子

(c) 後方の人がスムーズに回避する様子

(8-2-2) 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 の対話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。当該年度はこのために、対話時のモラル違反からの復帰行動・復帰方法の研究開発に取り組んだ。

1つ目は店舗などにおいて来客による理不尽なクレームや攻撃的な態度といった、いわゆる「カスハラ」とも言われる、対話時のモラル違反行動に関する介入技術である。この問題に対処するため、最先端の大規模言語モデル(LLM)を用いて来客の不適切な発言をリアルタイムで適切なものに変換することで、CA の対話時に来客からの言葉の中での攻撃性を排除しつつ、重要な情報を保つフィルタリング技術を開発した。2つ目はよりホスピタリティの高い CA の行動を実現するために、CA のオペレータの言葉を来客の属性に応じてより適切に変換する方法である。CA のオペレータは、子どもに対して簡単な言葉、高齢者に対して過剰な配慮をしがちであるが、一方、子どもや高齢者はこういったオペレータが典型的にしてしまう発言よりは、標準的な対応を望んでいることが分かった。このホスピタリティの課題に対して、同様に最新の LLM を用いて、CA オペレータの発言を改善するためのフィルターセットを開発した。子ども向けの対話においては幼稚な言葉を礼儀正しく理解しやすい表現に変換し、高齢者向けの対話においては過剰な配慮を中立的な表現に変える。3つ目は、接客時の来客に応じたホスピタリティ向上の方法である。来客が店舗を訪れる際には、最初から商品を決めて店舗に入る場合もあれば、目的が不明確なまま店舗を訪れる場合もある。後者の場合には、欲しい商品の希望を聞いてお進めするといった一般的な接客方法よりも、むしろアイスブレイキングから始めて親近感を感じさせるといった接客戦略が必要となる。しかし、多くの接客を経験したオペレータは、むしろアイスブレイキングを実施せず、直接入店の目的を訪ねるといった効果の薄い接客を行う事が明らかになった。そこで、実際の接客の様子を分析してシステムにおける適切な提示方法を提示するためのインターフェース技術の開発を進めた。最終的に、店舗にユニークな接客を Phase ごとに分析し、その Phase ごとに適切な接客戦略の目的、発話事例等を提示するシステムの構築を実現することができた。これらの3種類の他にも、来客が CA をからかった場合にオペレータの対応行動を支援するインターフェースや、パートナーの運動促進の際の低モラル発話の予防システム、複数体 CA の同時見守りの支援といった研究開発を行った。

課題推進者: 神田崇行(京都大学)

研究開発課題 8-3: モラル行動の研究

当該年度実施内容:

(8-3-1) 社会との対話

当該年度では「AI・ロボットの ELSI」と題したセミナーシリーズを2回開催し、国際会議 ICRES24 における特別セッション、名古屋哲学フォーラムにおけるワークショップを開催した。第一回の「AI・ロボットの ELSI」セミナーでは技術哲学者の大家慎也氏を招聘して講演をしてもらった。その中では特に人工知能やロボットの普及による自律性の低下とその対策が議論になり、同様の課題が複数 CA の操作によってより先鋭化する可能性が提示された。第二回のセミナーではロボットへの愛着の問題と関連する F セク(フィクションのキャラクターを性愛の対象とする性的指向)について、当事者と研究者を招聘して、その課題と AI やロボットの関連性について議論が行われた。ICRES24 では VTuber のバーチャル美少女ねむと人類学者のリュドミラ・ブレディキナを招聘し、アバターとしての生活の実態、メタバースでのハラスメントなどについて報告をもらい、議論をした。名古屋哲学フォーラムでは哲学者の岩田直也氏を招聘し、古代ギリシャの哲学者のテキストをもとにした大規模言語モデル(LLM)について報告してもらった。その中で故人のバーチャルなアバターを作ることの問題についても議論された。

スペインでのアンケート調査の結果を日本・アメリカでの調査結果と比較し、各国の特徴を明らかにした。例え

ば、どの国でも最も懸念されているのは「アバターを他人に貸し、本人になりすませる」、「アバターを利用して不在を誤魔化す」、「複数のアバターを使って意見をコントロールする」などで、人種や宗教などの特徴の表象については日本懸念が最も強く、ジェンダースtereotypeについてはスペインの懸念が最も高く、未成年の使用についての懸念は日本は低く、アメリカとスペインは高い、などと言ったことが分かった。この結果は電子情報通信学会・倫理社会研究会において発表するとともに、アバター倫理コンソーシアムのページでも公開している。

(8-3-2)アバターに関連する道徳・倫理に関する研究

対面とオンラインでの参加者が混合したハイブリッドのミーティングにおいて、オンラインの参加者が無視されがちであるために他の参加者に比べて議論への参与の度合いが低くなり得るという仮説、そして存在感を持つCAならばただのビデオ会議ツールよりもその問題を軽減しようという仮説の下で実験室実験を行い、仮説を検証した。その結果として仮説が成り立つ可能性を示すことができた。

課題推進者:久木田水生(名古屋大学)

研究開発課題 8-4: アバターの社会実装課題研究

当該年度実施内容:

(8-4-1)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

一般人とは異なる社会的地位にある人物(警察官などの公安職、安全保障に係わる職種、弁護士等の士業など)のCAを利用するにあたって検討が必要な課題を研究するとともに、社会的受容性のあり方についても必要な課題の抽出を行った。昨年度から引き続き公職選挙法や国会法、地方自治法等の法令遵守における課題の研究と、海外の利用の例や法制度の調査を行うと共に、特に公安職について、諸外国におけるロボット等の導入状況や法規制等についての調査を行った。公安職については、インターネット上において制服の売買が行われることがあり、CAを導入するにあたっては信頼性確保のための一定の規制が必要となる可能性があることを明らかにした。

また、近年各国でAIの利用や開発に対する法規制の動きが強まっており、それによってもCAも法的規制の対象となることから、その点も検討対象に加えた。また、CA自体は、実在する自然人ではない。このことから、AI利用に関して議論されるフェイクやディスイنفォメーション規制がCA利用に関連する可能性もあり、これらの点を研究対象に加えている。今後は、「AI事業者ガイドライン ver1.1」や2025年に国会で成立したAI法(人工知能関連技術の研究開発及び活用の推進に関する法律)の内容も参酌してアバター社会ガイドラインの内容を必要に応じて修正することも検討する。

課題推進者:湯浅壘道(明治大学)

研究開発課題 8-5: Cooperative Social PIA (Perception-Intention-Action) model for Cybernetics Avatars

当該年度実施内容:

(8-5-1)意図・状況把握・未来予測

人間とロボットが協調的な共同作業を行う場面を想定して、ロボットが人間の動作(動作の力・速度)を予測し、人間の意図を推論するための深層学習アーキテクチャの開発を行った。具体的には、共同作業の文脈情動や視覚情報を入力として、人間の3次元動作や意図の予測・推定をリアルタイムで出力するモデルを開発し、ユーザスタディによってその評価を行い、ブドウ収穫のような農作業における物体の受け渡しや運搬といった実用的なタスクにおいて適用可能であることを示した。協調的共同作業における予期行動(anticipation)と積極的行動(proactivity)の違いを定義したうえで、人間はロボットの両行動を区別することを示した。特に、人間は積極的行動をなすロボットをより擬人的に扱い、よりスムーズに共同作業を行うことができるようになることを見出した。

(8-5-2) 計画調停とコミュニケーション

共同行為における人間とロボットの協調的な計画策定という問題に関して、ロボットが人間と一緒に物を探す場面を想定して、人間の選好や優先順位(事前分布)を考慮しながら役割分担して効率よく探索を行う方法を提案した。人間の意図や行動パターンを尊重しつつ柔軟な計画調整が可能であることを示した。また、人間とロボットの非言語コミュニケーションを可能にする技術をとって、人間のジェスチャーと意図を認識するための深層学習モデルを開発した。この技術により、人間とロボットが共同行為において非言語コミュニケーションを通して互いの計画を調停させることが可能になる。

(8-5-3) デモンストレーション

スペインに設置されたロボットを日本から遠隔操作する実験として、ソーシャルロボット IVO を使用して、施設における受付タスクの実証実験を実施した。大規模言語モデル(LLM)を活用することで、日・西(スペイン)の相互翻訳、及び、スペイン側のユーザの意図認識を行った。現地の言語を話すことができなくても海外の CA を遠隔操作することができることを示した。また、バルセロナの博物館や大学にて日欧文化差比較の実験を実施した。課題 8-2 と連携してバルセロナの人々の CA に対する振る舞い方を観察し、社会における CA のプレゼンスについて日本の場合との比較分析を行った。日本とスペインにおいて、所謂 CA いじめ(CA に対する暴言・妨害・挑発行為など)が同様の頻度で生じることが明らかになった。

課題推進者:Alberto Sanfeliu (Universitat Politècnica de Catalunya)

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(小泉智・橘英希・立花達也の他、大阪大学大学院基礎工学研究科の研究協力係や契約系の職員)では、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と広報・アウトリーチに関わる補佐を担当した。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。独立行政法人工業所有権情報・研修館より知的財産プロデューサー二名の派遣をうけ、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、そして戦略策定の業務に就いてもらった。

重要事項の連絡調整

研究開発機関における研究の進捗状況の把握

サイトビジット:PM による全課題推進者への第 6 回サイトビジットを 2024 年 5 月に行い、各課題推進者における研究開発の進捗状況を確認した。原則としてオンラインで行い、PM に披露すべきデモ等がある数名についてはオンサイトで行った。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課題推進者間の今後のさらなる連携を促した。同様に、第 7 回サイトビジットを 2024 年 12 月に実施した。

課題推進者会議:2025 年 1 月 25・26 日に、全課題推進者が一斉に集う研究発表の場として第 4 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。最後の全体討論では目標 1 内の他プロジェクトとの連携について議論した。2025 年度以降に他のプロジェクトと連携して推進すべきクロス・プロジェクト課題として、CA 基盤の国際的な活用の推進、CA による生産性向上と健康管理の両立、CA による就労管理などについて検討した。目標 1 の全体目標の実現に向けて、プロジェクト単位ではなくプロジェクト同士で研究開発を進めていくことの必要性について確認を行った。

グループリーダー会議: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

研究開発体制における協働と競争: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で、効果的、効率的に研究開発を実施した。異分野同士の研究交流によって研究課題の発見・明確化・解決を促進し、プロジェクトの全体的な成果を進展させた。当該年度ではとくに、2024 年 9 月 10 日から 29 日の 20 日間かけて、大阪グラングリーン大阪 JAM BASE など多地点にて実施された大規模実証実験「アバターランド」では、本プロジェクト内で開発された要素技術を統合することで未来のアバター共生社会の様子を再現し、市民に体験してもらうことができた。様々なタイプの CA(自律・遠隔操作組み合わせ型ロボット(設置型／移動型)、CG-CA)を各所に設置して、開業したばかりのグラングリーン大阪の施設、設備、店舗、イベントの案内などを一般客に対して提供した。CA の遠隔操作は大阪・東京・九州に設置された遠隔操作ブースから一般の操作者が行った。研究開発項目 5 及び 7 の研究開発課題を中心に、プロジェクト内の約半数の研究開発課題が実証実験を実施した。具体的な提供サービスとしては、1) 最新の大規模言語モデル(LLM)を活用することで 1 人の操作者が 15 箇所を設置された CA を遠隔操作することを可能にする遠隔操作インターフェー

ス技術を用いて、グラングリーン全体の施設案内を行った。2) グラングリーン大阪内の大阪大学みらい創発 hive にて構築された模擬家庭環境において、移動型・自律搬送型・マニピュレーション型など複数の CA を協調的に連携する技術を用いて、CA による生活物理支援の体験を提供した。3) 半屋外のピロティ広場に移動型 CA を設置して、CA 基盤および 5G 通信技術のもとで道案内や施設紹介のサービスを提供するとともに、来場者への CA 利用に関するアンケートを採集して、CA の社会受容性に関する調査を行った。これらの他にも対話サービスや受付サービスなどを提供した。子どもから大人まで幅広い年齢層の来場者に対して、プロジェクト全体が描くアバター共生社会の姿を体験してもらうことができた。

研究開発課題の追加・廃止

当該年度は研究開発課題の追加・廃止は行わなかった。

ELSI に関する取り組み

昨年度より継続して取り組んできた、日本・アメリカ・スペインにおける「サイバネティック・アバターイメージ調査」の報告書の取りまとめを行い、アバター共生社会倫理コンソーシアムの HP 上にて公開した。異文化比較という観点から興味深い点として、日本では CA を通した労働の公正性や誠実性をどう保証するかという問題(操作者と CA とのあいだでどのように責任を分担するか等)への関心が高い一方で、技術的な進歩がもたらす利便性や効率性への期待が高いことが判明した。アメリカでは若年層ないし未成年者の CA 使用に対する慎重論が大きいが、CA の外見の美しさや人種的な要素の表現のあり方に対して寛容で、ルッキズムに関わる問題意識が低い傾向があった。スペインでは、アメリカと同じく若年層の使用に対する懸念がありつつも、CA を通じた被害体験のシミュレーションの導入に対して寛容であるなど、CA の社会的・教育的機能の活用に対して大きな期待がもたれていた。このように、文化によって CA に対する懸念と期待が異なることが判明した。

国際連携に関する取り組み

アバター共生社会企業コンソーシアムが主催して、2024 年 9 月に国際シンポジウムをグラングリーン大阪にて開催した。本プロジェクトの共同研究相手であるドバイ未来財団ドバイ未来研究所より多数の研究者に登壇してもらい、CA 技術の国際的な展開について講演してもらった。ビジネス分野からも、日本において CA ビジネスを展開する AVITA や株式会社ロボリューションに加え、ドバイ企業から事例紹介を兼ねた講演があった。日本と海外とのアカデミアレベルだけでなくビジネスレベルでの連携を構築するための機運を高めることができた。

海外での実証実験の取り組みを継続的に進めた。バルセロナでは、日欧文化差比較の実験として、カタルーニャ工科大学やバルセロナ自然史博物館に設置型 CA や移動型 CA を設置して、スペインにおける CA の社会受容性の調査を行った。訪問者と CA のインタラクションの様子を観察し、CA に対する言動について日本との比較を進めた。ドバイでは、共同研究相手であるドバイ未来研究所の綿密な連携のもとで実験デザインを洗練させながら、2025 年 2 月にショッピングモール City Centre Deira の DAISO 店舗にて実証実験を実施した。10 体の CA を設置して、1 人の遠隔操作者が同時に複数体の CA を操作して店舗内の案内サービスを提供できることを確認した。

(2) 研究成果の展開

知財戦略

昨年度より引き続き、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およ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。

知的財産プロデューサーは全課題推進者との個別面談を実施し、課題推進者ごとに肌理の細かい知財戦略を練ってもらった。課題推進者からその都度報告される論文出版等の成果から、潜在的な知的財産の発掘も行

ってもらった。結果として本年度では計 2 件の特許出願・取得があった。

事業化戦略

本プロジェクトが設立した「アバター共生社会企業コンソーシアム」では CA 市場の創出という目的のために、CA 活用が期待される業種ごとに分科会を設置し、研究機関と企業が共同で CA の導入方法について検討を行っている。当該年度は新たに分科会会員 1、情報会員 26 の参加があった（総数は 2025 年 3 月末で 166 法人）。5 つの分科会（ヘルスケア分科会・教育分科会・IT インフラ分科会・まちづくり分科会・FA 分科会）での活動の具体例として、ヘルスケア分科会では「どこでも万博」を企画し、身体的な負担のために万博会場へ行けない闘病中の子どもたちが CA を通して万博に参加するための取り組みを立案した（2025 年 4 月には CA を通してイタリア館を体験する予定である）。教育分科会では中学生向けの CG-CA 開発ワークショップを開催する他、翌年度以降の取り組みとして「デジタル部活動」の企画を立案した。IT インフラ分科会・まちづくり分科会・FA 分科会でも、翌年度以降の本格的な実証実験の実施や、CA 関連用品の製品化のための準備が着々と進められた。コンソーシアムの全体的取り組みとしては、第 8 回アバター技術社会実装情報交流会を 2025 年 3 月に開催し、CA に関する最新のビジネス事情や研究開発状況について意見交換を行った。

PM 自身が設立した AVITA 株式会社（2021 年 6 月設立）では、CG-CA の事業化が着々と進んでいる。AVITA では CG-CA を活用したリモート接客サービス「AVACOM」、生成 AI を活用してコミュニケーション研修を全自動化する「アバトレ」などのサービス提供を拡大しつつ、新たな試みとしてサントリーホールディングス株式会社と共同で飲食業界への CA 導入に取り組んだ。「アバター接客サービス」による省人化・人手不足の解消のみならず、飲食店における新たなコミュニケーション体験の創出による CA 市場の拡大に取り組んだ。近畿大学病院の受付に CA を導入して、医療機関の受付業務の省人化や医療従事者の負担軽減を目指す実証実験を実施した。

(3) 広報、アウトリーチ

報道: プロジェクト全体で計 32 件の報道があった。テレビ出演は計 8 件あったが、当該年度では研究開発項目 7 課題 2 (熊崎) における精神科医療への CA 導入が 2 件取り上げられるなど、注目度が高かった。スペインを拠点とする研究開発項目 8 課題 5 (Sanfeliu) も現地の取材に積極的に対応し、多数のテレビ・新聞・雑誌を通してスペインにおける CA 技術の広報に精力的に取り組んだ（計 7 件）。

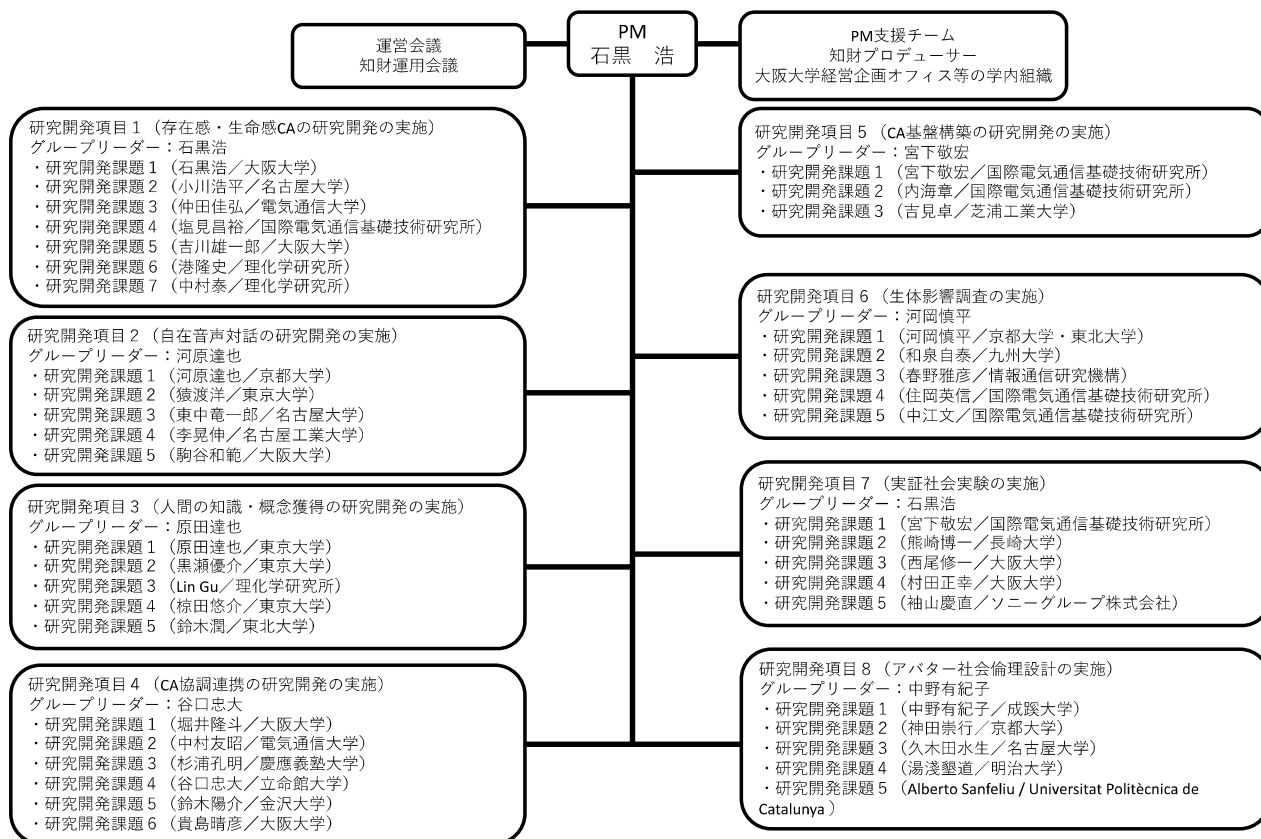
アウトリーチ: シンポジウムやワークショップ開催などのアウトリーチ活動については、プロジェクト全体で精力的に取り組み、計 55 件行った。学術会議でのワークショップにとどまらず、学生や一般市民を対象とした公開講座の依頼を積極的に引き受けて、社会の様々な層に本プロジェクトの意義を説明した。

ホームページでの発信: 以上の広報やアウトリーチ活動の大部分は、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/>) において整理され、情報発信された。動画による成果公表を充実させ、当該年度はとくに実証実験の様子を伝える動画として新たに 10 本を公開した（計 36 本）。研究開発の内容を一般の方にも分かりやすく伝えるように工夫した。ウェブサイトのトップページに動画を記載することで一般の方にもアクセスしやすくなるように配慮した。

(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。当該年度では、計 4 件の体系的なデータ収集及び整備が行われた。そのうちプロジェクト外においても広く公開されたデータは 1 件であった。

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	2	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	2	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	83	30	113
口頭発表	124	65	189
ポスター発表	53	56	109
合計	260	151	411

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	11	113	124
(うち、査読有)	11	113	124

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	7	2	9
書籍	1	11	12
その他	7	2	9
合計	15	15	30

受賞件数		
国内	国際	総数
16	9	25

プレスリリース件数
6

報道件数
32

ワークショップ等、アウトリーチ件数
55