



## 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

## 2023 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たり、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。また、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、その場に行けなくて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。さらには、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自在技術を研究開発し、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でモラル対話行動のための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)人間を超える表現能力をもったアンドロイドCAを開発した。動作だけでなく音や光を用いて、人間と心を通い合わせるインタラクション機能を実現した。CAと人間との動作のやり取りと、その調和度合いに応じた音と光の表出によって、対話をせずともCAと心を通い合ったと感じさせることができることを実証した。2)子どものような見かけをもつ移動型CAの頭部を開発した。ヘッドマウント型のインターフェースを採用し、操作者の表情をリアルタイムでCAにおいて自動表出させることで、些末な操作をする必要なく表情豊かに利用者とコミュニケーションができるようにした。3)CAが騒音環境下にいる場合でも遠隔操作者へと必要な音声だけを届けることができる音声認識・音声分離の技術を開発した。これにより、遠隔操作者が利用者に対して何度も内容を聞き返すことが少なくなり、騒音下にいる利用者に対してもホスピタリティのある対話行動をすることが可能となる。

**複数体CAの連携・強調技術:**複数CAの同時操作に関する代表的な成果は以下の通りである。1)複数のCAが連携して活動する状況において、大規模言語モデルを活用することで各CAへとサブタスクを適切に分配するための手法を開発した。これにより一人の操作者でも複数のCAを用いて複雑なタスクを実行することができるようになる。2)CAが自律的に環境を認識・予測する技術として、タンスなど部分関節構造を有する物体の構造を高精度で理解するための技術を開発した。家庭内環境のモデリング機能の一部として使用することができる。3)また、CAが未知環境において、利用者からの物体の場所等に関する質問(例「座れる場所はどこ?」)に対応することを可能にする物理世界検索エンジンを開発した。これらの技術によってCAの自律機能を向上させ操作者の負担を減らし、一人でも複数体のCAを同時に操ることができるようになる。4)CAを同時に100体展開させることのできるCA基盤を開発し、実証実験を通して機能検証を行った。「アバターまつり」

(<https://avatar-ss-fes.iroobo.jp/>)において延べ 10 日間にわたって大規模な CA 展開が可能であることを確認した。

**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) 精神科医療分野の実証として、長崎県の離島において CA を通した遠隔診察のシステムを構築した。患者が離島に居ながらも精神科の専門医師による助言を受けることが可能であることを示した。2) 高齢者支援分野では、大阪府堺市に構築された遠隔操作者の活動拠点から、高齢者が CA を通して様々な業務に就くことが可能であることを示した。月 2 回ほどのペースで高齢者向けの遠隔操作講習会を実施しつつ、認知負荷の少ないインターフェースの開発に取り組むなど、高齢者が意欲的に活躍できるための環境整備を進めた。3) 大阪市の商業施設においてプロジェクトの全成果を結集して実証実験「アバターまつり」を実施した。100 体以上の CA を展開し、一般市民に未来のアバター共生社会を体験してもらった。利用者としてだけでなく操作者として CA を通して働く体験をしてもらった。4) 本年度より海外での実証実験を開始した。バルセロナとドバイにおいて現地の研究機関や企業と連携して、欧州や中東における CA の社会受容性の文化差比較を行った。来年度からドバイ未来研究所(Dubai Future Lab.)との共同研究契約のもと本格的に実験を進めていく予定である。

**生体影響調査:** 本年度もマルチオミクス解析などによって CA の生体影響について分析を進めた。初対面の人物との対話においても CA を利用することで友人同士の対話におけるような好ましい効果が現れるなど、CA 利用が有するポジティブな影響が明らかとなってきている。また、遺伝子発現のレベルでの生体影響と心理レベルでの主観的影響との相関関係も見出されてきており、今後、より多角的な評価方法の開発へとつなげていくことが期待される。

**倫理・法的问题:** 本年度もアバター共生社会倫理コンソーシアムの活動を精力的に実施し、多様なステークホルダーを巻き込んで、CA の社会実装における倫理的問題について議論を行った。国内シンポジウムのみならず、バルセロナにおいて国際シンポジウムを開催し、現地の市民や研究者ともに、日本と欧州における CA の社会受容性の違いについて議論を行った。日本とは異なる文化圏へと CA を普及していこうとする際に注意すべきデザインや機能のあり方について検討した。また、本年度は「アバター社会実装ガイドライン」の草案を作成・公表し、今後の CA の研究開発及び社会実装において倫理的・法的に留意すべき点について整理した。

### (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:** 100 体以上の CA を展開した実証実験「アバターまつり」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での実証実験を開始し、今後ドバイを通してグローバルに CA 技術を展開していくための地盤を形成することができた。

**事業化:** PM 自身が CEO/CTO を務める AVITA 株式会社では CG-CA の事業化が着々と進んでいる。リモート接客システム「AVACOM」のさらなる普及や、コンビニエンスストア事業との連携によるアバター接客・サービスの拡大、そして地方自治体との連携による地方創生事業の展開などに取り組んだ。

**国際連携:** バルセロナやドバイでの実証実験や国際シンポジウムの開催など、急速に国際連携が進んだ。また、積極的に国際学会にてワークショップを開催し、CA 研究の国際協調にも取り組んだ。

**アウトリーチ:** 本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 13 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も積極的に受け付け、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: 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

当該年度は CA を自在に操作するために、操作者が存在感 CA を利用することで、インタラクションの状況を認識する能力が向上したと操作者に感じさせるインターフェースの開発に取り組んだ。存在感 CA の周囲に設置したセンサ情報に基づいて、操作者がその場においても認識できない情報や人よりも高精度で認識された情報を、操作者に認識しやすいようにフィードバックすることで、そのようなインターフェースを実現する。具体的には、企業のエントランスの受付 CA のインターフェースとして、CA の周囲に設置した LiDAR で認識した周囲の人の位置の時系列情報から、その人が受付に来るか通り過ぎるかを位置情報の線形回帰分析によって予測し、その予測情報を操作者にフィードバックする。そして、操作インターフェースの画面上で視覚的にフィードバック情報を提示するのではなく、音情報で提示することで、受付に人が来るかどうかという認識を可能にする。通常視覚的に認識する状況を音情報で認識させることで、認知能力の拡張を試みる(図 1)。



図1 企業エントランスにおける CA を利用した受付業務の様子

このシステムを評価するため、操作者が文章校正タスクを行いながら存在感 CA を用いて受付タスクを行うというマルチタスク状態における、本インターフェースの使用感を確かめる実験を行った。操作者(=実験参加者)は、インターフェース画面を見ずに手元の日本語文章の校正を行いながら、人が受付に来たときには校正作業を中断して受付対応を行う。25 名の実験参加者に自分が実際に受付にいて仕事しているときと比べて、このシステムを使うことで自分の状況認識能力が上がったと感じるか、と尋ねたところ、72%(18 名)の参加者が同意する回答を行っており、状況認知能力が向上したと感じさせるインターフェースになっていることを確認した。

##### (2) CG-CA の研究開発

対話において CG-CA を遠隔操作した場合に、自分の体のように感じるかどうかについて、オープンキャンパスに参加した高校生を対象として実験を行った。CG-CA に対する行為主体感(sense of agency)を指標として評価を行ったところ、80%以上の実験参加者が行為主体感を感じる事が分かった。

##### (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」(<https://www.nifrel.jp/>)における実証実験を通して確認し

た。

また、1人複数体 CA 操作における対話タスク遂行のために、東急ハンズ心齋橋店にて、1人5体での商品の場所案内タスクを行う実験を実施した。自律 CA の失敗のリカバリと同時に知識情報の追加・修正を行える操作インターフェースを提案し(図2)、接客未経験を含む操作者2名が4日間の操作・修正作業を実施した結果、操作前の自律 CA では38%(答えのない質問を含む)だった対応成功率は操作期間中に約63%に達し、顧客満足度では約90%の顧客が満足だと回答した。

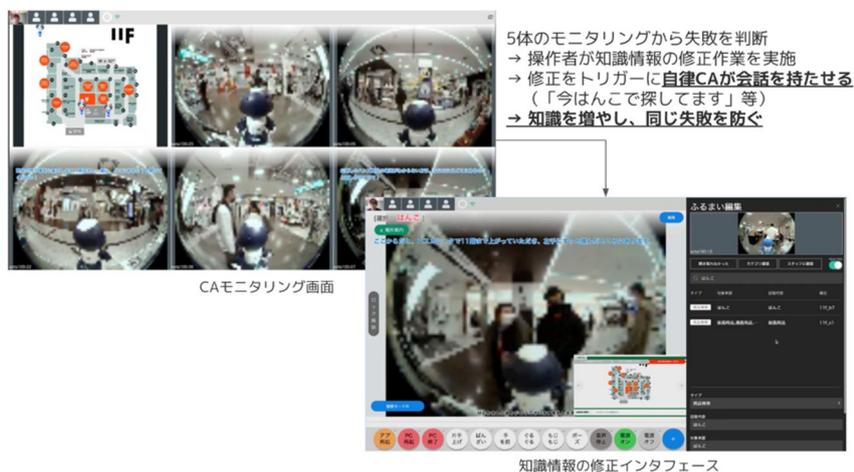


図2 場所案内タスクを行うための CA 操作インターフェース

また、対話方針や知識への介入を行うメタレベル遠隔操作システム(自律-遠隔ハイブリッド)を開発中である。アバターまつりにて、1人20体のシステムテストを実施し、自律 CA の異常検知やインターフェースの使いやすさに課題を確認した。2024年度のドバイでのフィールド実験に向けて開発を推進するとともに、1人100体操作を目指す。

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とは、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、利用者の発話を経て、遠隔操作者が再び発話するまでに提示される必要が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、令和4年度に作成されたプロトタイプシステムを拡張し、CA と利用者2名の、3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することができた。また、当該プロトタイプシステムを利用したフィールド実験を実施し、利用者が実用上問題なく利用できることが確認された。

### (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の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3体CAの非操作時に発生した事を理解できるよう適切に表示するシステムの作成を行うことを目的とし、令和4年度に作成したプロトタイプシステムを用いて、3体のCAを遠隔操作した場合に、インターフェースに表示される情報量と提示方法の組み合わせにより、CA1体の場合に比べて70%以上の速度で、操作者が3体のCAの対話内容を理解しながら、3体のCAを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ができた。本成果の一部は、HAI2024において発表され、Best Paper Nomineeに選出された。

**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の基本プラットフォームの研究開発**

これまでに開発したアクチュエータユニットを用いて存在感CAの腕部を試作し、動作確認と耐久試験を行った。キャリブレーション不要で使用できるよう、ユニットのギアと制御回路の改良を行い、出力軸の絶対角度を取得できるようにした。存在感CAの移動台車を用いて、腰関節、膝関節、車輪の各動作を確認した。腰関節と膝関節の動作確認は、想定される上半身重量10kgの負荷をかけた状態で行った。

操作インターフェースでは、コントローラの位置情報を活用して存在感CAの腕部を直感的に操作できるシステムを実装し、実際のデモンストレーションを通じてその機能を披露した。また、コントローラを用いた入力により台車を操作できるようにした。コントローラと存在感CAの接続については、CA基盤への対応を行い、両眼の映像の送受信を確認した。

現在、身体の各要素を統合し、存在感CA全身の完成に向けて作業を進めている。

#### **(2) 万人と親和的に関わら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**

アイコンタクトはコミュニケーションにおいて重要な機能である。ヘッドマウントディスプレイを用いた没入型の操作インターフェースを改良した。この改良により、存在感CAを介して操作者と対面者が視線を合わせることができる新しいシステムを開発した。また、操作者に様々な表情を行わせ、それらが存在感CAでどの程度再現できるかを確認した。インターフェースおよびCAの両方に課題があるため、表情によっては再現が難しい。そのため、CAの動作を誇張するなどの調整が必要である。CAの受容性に関しては、実際にCAを介して対話を行い、ヒアリングを実施した。

**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、抱擁型生命感CAを用いた予備的な実験の実施を、成人の健常者を対象に進めた。具体的には、開発を進めてきた抱擁型生命感CAを用いて、被験者を抱擁して頭を撫でてとんとんとしたり、抱擁を行って対話したりする実験を行った。

本年度は2回の実験を行い、2週間以上の期間において合計56人の被験者が参加した。抱擁を伴うインタラクションを行った後、アンケートで主観的な印象を計測した。1回目の実験では、抱擁動作を通じて知的さや楽しさを感じるかどうか、2回目の実験では抱擁を伴う対話を通じて親密さを感じるかどうかを検証した。その結果、いずれの場合もアンケートの中央値を有意に超える結果が得られた。すなわち、成人の健常者を対象に抱擁型

CAの有効性を確認することが出来た。

## (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、聴覚誘導性被接触感覚を想起させる UI を開発し(図 1)、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、CA の外観に対応した接触音が再生される機能を実装した。また、外観に対応しないビープ音を再生する機能も実装した。この UI を用いて、CA が触れられた際の音声の特性変化が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。その際に、接触音の特性を変化させることで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。再生する音声の違いがもたらす影響を検証した結果、触れられた際の非接触感(Q1)、触れられた際の不快感(Q2)、触れられている様子の理解しやすさ(Q3)、使いたいと思う度合い(Q4)の項目において、外観に対応した音声が有意に影響を与えることが明らかとなった。開発した UI を用いることで、7 割以上の操作者に対して聴覚誘導性被接触感覚をより強くもたらせることも確認できた。今後、これまでに開発した視覚誘導性被接触感覚をもたらす UI との統合を行う予定である。

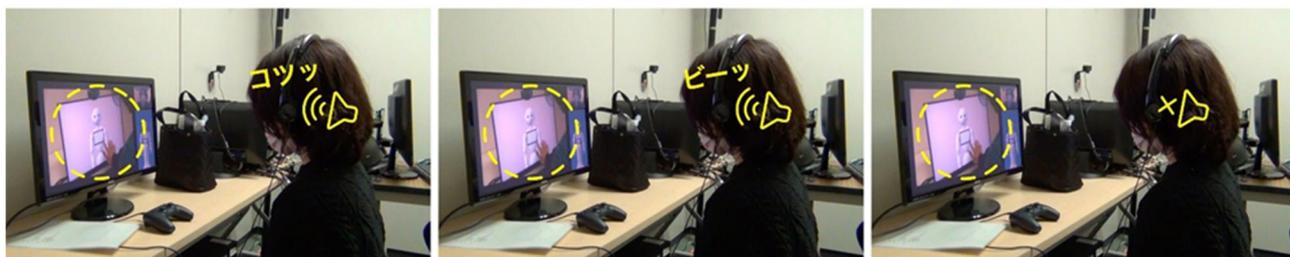


図 1 聴覚誘導性被接触感覚を想起させる UI の動作例と、異なる音が再生される様子

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

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、(A) 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、(B) 既存 CA(Sota100、コミュ)を用いた実証実験に取り組んだ。

課題(A)の移動テレコの開発において、

- ・ 頭部前面の有機 EL ディスプレイに様々なキャラクターの顔面を描画することで、多様な人格を切り替え、感情表現をしながら対話できる機能を生命感 CA に実装し、ガイドサービス状況を模して心理評価させる予備実験を実施した。サービスの満足度に関する複数の尺度による評価において、CA を用いたサービスが、人がサービスを提供する場合の 70%以上のパフォーマンスであることを確認した。
- ・ 静音動作が可能な2輪独立駆動機構と上下の伸縮自由度を持つ胴体機構を組み合わせた移動台車に従来型の人間型 CA を搭載し、CA の身体動作や上下動作を伴う接近移動機能を開発し、CA の温かな印象や権威性を持つ印象を調整できることを示した。また、CA の身体動作、上下動作を伴う移動によって、ユーザを目的地まで誘導する実験を実施し、ユーザの主観評価において、当該動作を行わない場合に比べて、CA のホスピタリティと感情表現の評価が有意に上昇することを示した。

課題(B)の実証実験において、

- ・ 発達障害者の学習支援実証実験:特別支援施設(翔和学園)において、人に学習内容を説明させること

による学習 (learning by teaching) の機会を発達障害者青年に提供するサービスにおいて、従来型 CA (コミュニー)、その CG 版である CG-CA、操作者本人が顔出し登場するオンライン対話システム (Zoom) を用いた場合を比較する実験を実施し、学習効果と本人の特性 (自閉症や感覚過敏特性の重症度) との関係の評価した。

- ・ 5歳児の発達評価実証実験: 研究開発項目7課題2(熊崎)と連携し、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、子どもの社会的認知発達の程度を推定するシステムを実装した2体連携型の CA を用いて、検診サービスを提供する実証実験を実施した。遠隔地のボランティア大学生や現地の医療従事者を操作者として、CA を通して子どもの認知発達評価を目指したデータ収集に取り組んだ。

## (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、(A) 複数地点複数 CA 遠隔操作システムの開発、及び、(B) 社会的な立ち位置のスイッチを伴う対話、及び、(C) CA 同士が連携する仮想対話空間の評価に取り組んだ。

課題(A)において、

- ・ 自律対話機能を持つ小型ロボット(コミュニー)と移動機能を持つロボット(移動テレコ)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 CA 制御システムを開発した。商業施設(ATC)の通路で、コミュニー3体、移動テレコ2体を用いて印象評価する実証実験を実施した。一人の操作者は1体の移動テレコと3体のコミュニーを操作して16日間で750人以上の人に対して対話サービスできることを確認した。その際に小型ロボットが提供する対話サービスにおいて、当該ロボットの提案内容について別のロボットが意見を言う形の推薦手法を開発し、ロボットの提案の受け入れ率が高まることを確認した。
- ・ 複数の CA が連携して操作者に対話を引継ぐ手法の開発を行い、操作者が操作する CA の隣に配置された CA がこれまでの数分程度の対話を引継ぎ時に要約して発言する対話による引継ぎ場面の被験者実験を行い、操作者役の被験者が CA 対が自律的に会話した内容を平均で約87%理解できることを示した。

課題(B)において、

- ・ 操作者の発言の対話行為(質問)／対話状態(沈黙時間)に応じて、補助 CA にさせるフォロー発言の候補を提案するインターフェースを用いた操作者の対話の自己支援効果を評価する実験を行った。対話者に対して過剰に質問をすることが求められる対話状況においても、補助 CA によるフォローによって操作者の罪悪感が軽減する効果が確かめられた。
- ・ 研究開発項目4課題1(長井／堀井)と協働し、物理的作業をする CA (HSR) と従来型の CA を連携対話させる遠隔操作システムを開発し、CA 間対話により怒りや疲労感を低減させる効果を確認した。

課題(C)において

- ・ ロボットをアバターとするオンライン会議システムとして開発した半自律社会的 CG アバタールーム (CommU-Talk) において、話しやすさの評価尺度を作成し、対話の参加人数と話しやすさの関係を明らかにした。また、アバターとして人間型の CG を追加したバージョンの開発も行い、アバターの見た目の違いによる話しやすさへの影響を調査した。

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

自然な CA の動作生成に関しては、これまで Conditional GAN(条件付き敵対的生成ネットワーク)を用いて、動作の外向的な動作と内向的な動作の違いも表現できるような、音声に基づくジェスチャ生成システムを開発してきた。さらに、より滑らかな動きを生成するため、Denoising Diffusion Model という深層学習法を用いた改良を行い、被験者実験を通してその効果を検証した。また、CA が複数人と対面しているときの視線行動については、これまで人の対話中の視線行動データに基づいた視線モデルを構築し、異なる外向性を持つ人のデータから学習した視線モデルが同じ音声でも異なった外向性の印象を与えることを明らかにしてきた。この研究では、モデルの対象となった人の性格しか再現できないが、本年度は、モデルのパラメータとして、視線逸らし率を明に導入することで、外向性の度合いを指定して、それが現れる視線動作を生成できるようにした(すなわち様々な度合いの外向性の視線行動が生成できる)。

操作者の内部状態を認識し、リアルタイムに CA の動作に反映するシステムとしては、操作者の音声から表情や頭部動作を生成するシステムを構築した。人の対話時の動作データに基づいて Denoising U-net を用いて生成器を学習し、音声データを入力として、対応する表情や頭部動作が生成できることを、アンドロイド Nikola や汎用アバターアンドロイドを用いて確認した。学習データを変えることで、異なる性格や人格を表すような表情・頭部動作生成が可能となる。

CA を用いて操作者以上にホスピタリティのある振る舞いを生成する試みとして、日本の所作の専門家の協力の下、言葉なしに所作の振る舞いのみで人とインタラクションを行うアンドロイドのデモを作成した。表出能力の拡張として、アンドロイドの周囲に配置した LED やディスプレイ、多数のスピーカーを用いて光、映像、サウンドを用いてインタラクションの状態を表出するようにした。このデモは、2023 年度の ATR オープンハウス等で実演され、70 名以上の体験者の多くが、アンドロイドと心が通じ合ったと感じたと述べている。CA の動作や、CA の表出能力を拡張することで、操作者以上のコミュニケーション能力を実現したり、ホスピタリティのある振る舞いを実現したりすることの可能性を見いだした。

### (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

別の人格を状況に合わせて表出させるために、状況推定として、人の行動から意図を推定する(人の過去の行動の観測から、未来の行動を推定する)研究を進めた。人の歩き姿(骨格運動軌跡)や視線の動きなどのマルチモーダル情報から、意図を推定する深層学習モデルを構築した。具体的には、施設の受付 CA で必要な認識として、施設の来訪者が施設内で検温消毒する意図があるかどうかを推定する機能(施設内の入口すぐのところに設置された機器で検温消毒するか否かを、入口に入った瞬間までの行動の観測から推定するタスク)に着目した。そして構築した認識器によって、人が見て判断する場合の平均パフォーマンスを有意に超える性能が得られた。別の状況として、歩行者の意図(道を渡ろうとしているか否か)を推定する状況でも提案手法を使用して、従来法を上回る推定性能が得られた。検温消毒の意図や道路横断の意図の 2 つのタスクにおいて成果が得られたが、このように人の行動意図を推定することで状況が推定できれば、それぞれの状況に合わせて人格を切り替えることができるようになる。

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た。さらに、視線動作と音声のマルチモーダル情報の相互効果についても調査を進めている。

リアルタイムに人格変換を行うシステム実現のために、音声上での人格変換として、話者変換および感情音声変換について研究を進めた。不特定多数の入力音声から、選択可能な特定の声に変換するモデルを学習し、リアルタイムかつ高音質の音声変換に成功した。この成果により、1 人の操作者が複数の CA を異なる人格で表

出することが可能となる。その実例として、1 人の操作者が、1 体の生命感 CA(CommU)と 2 体の存在感 CA (ERICA と SOTO)の 3 つの CA を操作して、子供のケア、受付業務、筋トレコーチの業務を同時に行うシステムを実装した。操作者の音声は、それぞれの CA から子供相手に適した音声、受付に合わせた音声、コーチに合わせた音声に変換されて出力される。これにより操作者は、それぞれの CA の置かれた状況に適した表出で相手に話しかけることができる。この技術は、1 体の CA を複数人の操作者で共有する場合にも有効である。すなわち、操作者が変わっても、CA の人格に一貫性を持たせた表出も可能となる。

**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

従来から用いていた変分自己符号化器<sup>1</sup>に加えて、近年、高品質な生成モデルとして注目されている拡散モデル<sup>2</sup>を用いた対話中動作のモデル化に取り組んだ。その特徴は、自身と対話相手の振る舞いの同時確率をモデル化することである。さらに、条件付きの生成を行うことで、チャットボットのように次の行動を生成するだけでなく、対話相手の動作に対応した動作の生成など、さまざまな応用が可能となっている。また、拡散モデルを用いた対話中動作の生成モデルでは、通常、繰り返し操作が必要なために計算量が多く、リアルタイムでの生成が困難であるが、高速なアルゴリズムを利用することで 30ms 程度で数秒分の動作を生成するなど、十分にリアルタイム性を持った CA の半自律動作に用いることが可能な生成モデルを構築した。

また、これまでに開発してきた生成モデルの CA の半自律操作システムへの応用にも取り組んだ。アンドロイドの CG モデルに対する半自律動作システムでは、アンドロイドに対面する対話相手の動きに合わせて上半身の動作を生成することで、対話相手の振る舞いに合わせたジェスチャを行う操作システムの構築を行った。また、頭部動作に関しても同様の生成モデルを用いた動作生成システムを開発した。すなわち、顔画像 CG-CAを用いたビデオ対話システムに応用し、その評価を行った。対話相手の表情などの顔の動きに基づき自動的に顔の動きを生成する半自律モードで動作する CA と対話したユーザが CA の動作がユーザの表情などの顔の動きをそのまま再現する遠隔操作モードであったと認識するケースが、遠隔操作モードで動作する CA と対話したケースの 8 割を超えるなど、人間らしい動作を行う半自律型の操作システムを構築できることを示した。

#### (2) 環境全体の状態変化への人間レベルの反応動作モデル

ロボットの視線に合わせて取得したセンサ情報を用いた制御システムの構築を行った。主に二つの方向性で研究を進めた。一つ目は逆強化学習及び強化学習を用いた動作学習の枠組みを構築した。ここで用いるロボット(アンドロイド)はフードコート前に待機し、通行人に対して手指の消毒を要請するタスクを与えられている。最初に遠隔操作システムを利用して収集した動作データを用いて逆強化学習を行い、人間による操作を模倣する(人間からロボットへのスキルの転移)。その後、模倣した制御則を基盤としてロボット自身の試行錯誤により人間による遠隔操作を超える方策を獲得した(通過しただけの通行人を含めて、ロボットの視野に入った人の内 8%を超える人が消毒を行った。遠隔操作においては 5% 程度)。この枠組みは、人間の持つスキルをロボットが獲得するだけでなく、継続的な学習により人間を超えるスキルをロボットが獲得できることを示唆している。

二つ目は遠隔操作型の移動ロボットの生成モデルを用いた動作生成システムの構築である。人間がロボット

<sup>1</sup> 2013 年に提案された砂時計型の深層ニューラルネットワーク。データの特徴抽出を行う符号化器と、特徴に基づいて疑似データの生成を行う復号化器から構成される。

<sup>2</sup> 2020 年に発表された画像の生成モデルの論文で注目され、現在では音声や動作データなどの多様なデータに応用され、盛んに研究されている生成モデルである。品質の高い(元のデータとの区別が非常に困難な)疑似データを生成することができる。

の操作を行っている際のデータ（操作自体と観測される動画など）を利用して生成モデルを利用することで、人間の操作を模倣するシステムの枠組みを実装した。具体的には、移動中に得られる観測画像列の時間的変化、また、その観測に対応する行動（操作）を生成することで人間による操作とその結果得られる観測画像列をシミュレートする生成モデルを構築した。現在、ロボットの行動が与えられた場合の観測画像内の人間の振る舞いの予測精度の評価や、生成される行動の適切さの評価を行うなど、生成モデルによる制御システムの実現性について検討するとともに、精度の高い生成を行うことが可能な生成モデルの構築に取り組んでいる。

**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を強調・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(猿渡)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、複数人を対話相手とする状況を想定して研究を行った。複数人の音声を重畳した音声データにおいて、85%の音声認識率を確認した。また実際に、3名による会話データを多数収録した。

#### (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。当該年度はさらに、大規模言語モデルのChatGPTからPC上で動作するトランスフォーマーT5に知識蒸留することで、想定対話に特化した応答を迅速に生成することを実現した。応答生成の精度は94%であった。さらに、2名を相手とする傾聴システムをロボットに実装し、精神科病院のデイケアプログラムで実験した。実際にこのシステムを体験することで、それまで(同じデイケアに来ていても)ほとんど話すことのなかった人どうしが自然に会話ができるようになることが確認された。

#### (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。音声変換を含めた実装及び大規模な被験者実験を行った結果、7段階の満足度に関する主観評価において、人間が1対1で遠隔操作している場合が平均6.10であったのに対して、3並列の本システムでは平均4.23となり、概ね70%以上の性能となっていることを確認した。また、自律の場合は3.35で、それより有意に高い満足度を実現した。

**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

多様な利用者に対応できる自律 CA 用音声合成を実現するには、その音声合成モデルを構築するための超大規模音声コーパスと、コーパスからの効率的なデータ選択・保存技術が必要不可欠である。本年度は、超大規模(数十万時間)音声コーパスとして声色を自然言語で記述した音声コーパスを構築した。これに関連して、大規模データを効率的に取捨選択するアルゴリズム、音声離散トークンを用いる高品質・低ビットレート音声合成モデルの学習アルゴリズム、自然言語により声質を表現するアルゴリズムを開発した。これらにより、多話者多スタイルから成る大規模データを効率的に使い、非実在話者音声(非実在話者音声)を自然言語で制御する技術のプロトタイプを開発した。来年度中にその性能を評価する。また、感情制御可能な高品質低遅延音声合成ソフトを MS 全体向けに共有した。

### (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、同一の話者に合成および変換可能なソフトウェアを開発し、ムーンショットプロジェクト全体に展開した。違和感の低下については、後述の(3)の検証と同時に進める予定である。

### (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未定かつ 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およびそのリアルタイム処理系を実現した。今年度は、本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(これは音声変換を経て発声される)の切り替え時の違和感低減に関して研究開発を行った。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、目的音声と背景雑音の SN 比などを用いて CA 発話と遠隔音声を変形させるアルゴリズムを開発した。具体的には、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)に着目し、CA 発話・遠隔音声の音量レベル制御および高域強調を実装し、利用者側における CA 発話の明瞭性および一貫性を向上させた。少数名ではあるが主観評価実験を実施し、提案法による違和感の低減が確認された。

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

教育対話システムを構築した。本プロジェクトにおいて作成した教育のためのコンテンツデータを用いて実装した。このデータは Wikipedia における所定の見出し語について、説明スライド 2~3 枚、5 分程度の口頭での説明およびその書き起こし、想定問答集を含むものである。このデータを大規模言語モデルのプロンプトに含めることで、ユーザに見出し語について説明した上で質疑応答を行うシステムを構築した。なお、プロンプトとは、大規模言語モデルにおける入力に対応し、質問だけでなく文脈や事例なども含まれる。ここでは、回答に必要な

情報として想定問答集などの事例をプロンプトに含めている。

接客を行う対話システムについては、本プロジェクトにおいて作成した接客対話データを用いて実装した。このデータでは複数の商品についてオペレータが客に商品を説明し、推薦を行っている。このデータについて、まず、クラウドソーシングを用い、オペレータが対話内で実施していると考えられる接客に有用な戦術(注意すべきポイント)を書き出してもらった。そして、商品情報に加えてこれらの戦術を大規模言語モデルのプロンプトに含めることで、所定の商品に関して人間の戦術を踏まえた接客を行う接客対話システムを構築した。

なお、ここで対話データベースとは、大規模言語モデルそのものやそれを活用するための知識源やプロンプト、ファインチューニングするための外部の対話データを指している。上記では、大規模言語モデルや教育・接客に関わる知識源、プロンプトを用いており、これらを総称して対話データベースと呼んでいる。

教育対話システム、接客対話システムについてクラウドソーシングを用いて満足度評価を行ったところ(N=20)、前者は7段階中5以上(満足度が高く適切にタスクが遂行されたと考えられる数値)の評価値が95%、後者については5段階中4以上(同様にタスクが遂行されたと考えられる数値)の評価値が95%であった。

また、本プロジェクトで構築した日本語大規模タスク指向型対話データセット「JMultiWOZ」を用いて構築した旅行サービス(接客に近いタスク)の対話システムにおいてもクラウドソーシングを用いて評価したところ(N=40)、タスク達成率は最大で75%であった。

## (2) 対話状況理解および可視化

教育対話システムの対話ログ(上記(1)において取得したもの)を用いて、対話状況理解および可視化の評価を実施した。具体的には、対話ログに対して、これまでに提案してきた、対話をより短い対話に変換する対話要約手法(Dialogue Format Summary; DFS)を適用し、その結果を第三者にアンケート評価を行ってもらうことで、その対話状況理解や認知コストへの寄与を計測した。(なお、対話要約手法は、話者の発話を表す吹き出しが連続した形式で対話を表現するため、可視化の要素を含む。本研究では、対話要約手法を理解方式であるとともに可視化方式と考えている。)20個の対話について、要約は20%という高い圧縮率(文字数を全体の20%にする)であっても元の対話の主要な内容の50%以上を含むことが確認できた。また、NASA-TLXと呼ばれる認知コストのアンケートでは、精神的負荷が元の対話を読む場合と比べて50%以下であることも確認できた。さらに、従来型の文章要約との比較においても、DFSの認知コストが低いことも確認できた。

接客対話システムの対話ログについても、同様の評価を実施した。その結果、20個の対話について、教育対話システムと同様、20%の圧縮率の要約は元の対話の主要な内容を50%以上含むことが確認でき、また、精神的負荷が元の対話を読む場合と比べて50%以下であることも確認できた。

## (3) 対話制御および制御インターフェース

教育対話システムにおいて、構築した制御インターフェースを用いた話者切り替え実験を行った。具体的には、クラウドソーシングを用いて(N=17)、一方の話者が自律対話に介入できる発話の割合を100%(すべてに介入)、もしくは、50%となるよう制御した場合に、どの程度相手の話者の満足度がかわるかを検証した。その結果、半分の発話をシステムが行う50%条件であっても、ユーザの満足度が変わらないことが確認できた。また、接客対話システムにおいてもクラウドソーシングを用いて同様の実験を行ったところ(N=20)同様の結果となった。これらのことから、オペレータの対話コストを50%以上削減しながら質を担保した対話サービスを実現できることを確認した。

加えて、昨年度のニフレルにおける実証実験で取得した対話データを用いて、ユーザとロボットのインタラクションにおける対話破綻検出データを整備した。そして、この音声や動画のデータを元に、距離学習を用いる手法によって、対話破綻検出モデルを学習したところ、F値で0.821を実現した。再現率を80%程度となることを許容できるのであれば、80%の適合率で対話破綻(すなわち介入タイミング)が自動判定できることになる。よって、こ

の技術によって80%の介入判定のコスト削減が見込まれる。

#### (4) その他の進展

日本語では初の大規模タスク指向型対話データセット「JMultiWOZ」を公開した。本データセットにより日本語のタスク指向型対話システムが構築できるようになった。我々は本データセットから構築した対話モデルを公開するとともにベンチマークデータを提供している。現状の日本語のシステムは GPT-4 を用いてもタスク達成率が57%程度であることを確認した。タスク達成率は T5 と呼ばれる大規模モデルを用いると75%に改善することも明らかにした。

研究開発課題1(河原)と共同で、話者自身の性格特性を含む雑談対話データセット「RealPersonaChat」を構築し公開した。本データセットでは、話者自身の性格特性やペルソナを含む自然な対話のデータセットとして構築されている。既存のデータセットと比較してその自然さを確認した。

これらの成果は、接客対話システムの構築や雑談対話システムを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

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)をいかに獲得するか、およびそのための存在感・生命感 CG-CA のデザイン・設計に取り組んでいる。

対話性認知の獲得については、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ならではの対話性認知獲得手法を検討してきている。当該年度は、没入型 VR 空間における音声対話システムのインタラクション評価、およびモニター内の CG-CA との空間共有感を疑似的に与えるための自己投影法に関する研究を行った。特に後者の研究では、利用者の表情と動作を目の前の画面内でリアルタイムに模倣・再現する自己投影アバターを表示する方法と、Web カメラで撮影した利用者の姿を画面上の CG-CA の隣にオーバーレイ表示する自己映像法の双方について評価実験を行った。その過程で得られた知見として、(A)CG-CA と利用者の対面から発展させて、CG-CA、自己投影アバターあるいは自己映像、利用者の3者が対話をしているように画面を構成する手法が空間共有感の形成に大きく役立つこと、および、(B)画面内の CG-CA と利用者の自己アバターが画面上でインタラクションする様子を利用者が見ることで疑似的なインタラクション感覚を持たせる「仮想ソーシャルタッチ」が対話において有効であろうことが示唆された。

CG-CA デザインについては、昨年度までに4体のリファレンス CG-CA モデルを開発し、またその過程を通じて CG コンテンツ業者との意思疎通や研究上のデザインの狙いの共有方法、スムーズな協業体制等の知見を多く蓄積してきた。今年度は、さらに多様な文化背景やユーザ層を考慮して、新たに「海外」「キャラクター型」「感情表現重視(漫符等の 2D 特有の感情表現)」を重視した CG-CA「マギ」(図 1)を設計・開発した。具体的な狙いとして(1)海外における CG キャラクター文化の傾向を主とする意匠、(2)アバターとして「人のようだが人ではない」という認知を与えるための非人間的(亜人間的)ルックス、(3)これまでの CG-CA がキャラクターの個性を抑えた表現を採用していたのに対して、見た目でキャラクターと分かりやすくその背景が把握されやすいステレオタイプ、(4)漫符を用いた CG らしい豊かな感情表現、を狙ったものである。これまでの CG-CA と同じ仕様で制作されており共通のモーション・システムで動作する。主に、VR 環境での利用や、子供向けの用途での利用を検討している。また、従来の 4 体についても存在感・生命感の向上のための改修(高精細フェイシャルトラックキング(パーフェクトシンク)、キャラクター性に合わせた対話リアクションモーションの更新、等)の整備を行った。



図 1 CG-CA「マギ」

これらの CG-CA のうち「ジェネ」「うか」の 2 体については、プロジェクト成果の公開および関連分野の研究促進をねらいとして、ライセンスや権利の整備を行ったうえで 12 月に CC-BY ライセンスで一般公開を行った。

7 月に実施された大阪南港ATCでの実証実験(通称「アバターまつり」)において、実際に CG-CA を操作する体験を行った。操作体験を行った一般人 60 名に対してアンケートを行った結果、5 段階評価で「キャラクターを通じた会話は違和感があり、あまりやりたくないと思った」はそう思わない(1, 2 の合計)が 69.5%、「キャラクターを通じた会話は楽しく、もっとやりたいと思った」はそう思う(4, 5 の合計)が 74.6% と高評価を得ており、公共の場におけるアバターの利用において操作者が一定の対話性認知の獲得を期待できるデザインとシステムとなっていることが示唆された。

## (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おり、本年度はこの取り組みについて学生が人工知能学会で行った発表が賞を受賞した。また、当該学生には人工知能学会 SIAI 産学クロススクエアから招待講演の依頼があり、学生自身が招待講演を行った。本研究で開発した

speech2motion システムは音声認識システムのボトルネック特徴量から CG-CA のフェイシャルシェイプ(52 個) 変化量と頭部動作量(位置・回転量)を推定するものであり、韻律や声の高さと言った発話者情報に依存せずに 妥当な CG-CA のふるまいを生成する点に特徴がある。今後は CG 特有の誇張や強調を、データ収集を通じて モデル化する方向を推し進める。

また、初めての人からプロの操演者まで、様々なスタイルの CG-CA 操演データを収集するためのシステムを 構築した。大規模な操演コーパスを収集するためには手離れのよい収録システムが必要であり、ツールのインス トールから起動、動作からデータ送信までを 1 パックにするアプリケーションの構築が必要である。昨年度までに 構築した記録システムを拡張したシステムを構築中であり、その基礎部分の検証を行った。

### (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。本年度は、昨年度までに構築した CG-CA システム(MMDAgent-EX)をベースとして、実際に遠隔地から 操作を持続的に行い、継続的で実践的なサービスとして運用するための機能拡張を行った。具体的には、ファ イヤーウォールを越えた通信が容易である WebSocket 通信への対応、長時間運用のための安定性の向上、遠 隔のカメラの様子だけでなく遠隔地で CG-CA がどのように表示されているかを操作者が知るための遠隔スクリー ン伝送機能(ffmpeg+WebRTC でリアルタイムキャプチャ+伝送)、既存インフラである WebRTC ベースの通信 機構との統合のための機能追加、運用において必須であるサーバプッシュによるシステム自動更新および遠隔 シャットダウン等の遠隔管理機構などを実装した。

開発されたシステムは 7 月に実施された実証実験(通称アバターまつり)において実際に運用試験され、60 台の CG-CA を自律・遠隔両用の形で本システムで実稼働させることができた。このアバターまつりでは課題推 進者は CG-CA システムの全開発、コンテンツの構築、遠隔操作者の操作インフラ開発等、CGアバターのフロ ントエンド周りを開発し、今後の大規模実証実験のための基礎設計を行うことができた。

本年度構築したシステムは入力部(マイク・フェイシャルキャプチャ)と操作部が分離して実装されており、1 対 Nの操作が可能のように設計されている。実際にアバターまつりにおいて、本システムを用いて 1 人の操作者が 複数台のアバターを同時に担当することが可能であることを確認した。ただし、野外やイベント会場ではアナウン スや人の声などのノイズが非常に大きいことから、一人の遠隔操作者が複数台の設置アバター端末の様子を音 や画面でモニターするのは大変難しく、発話イベント検出や画像・テキストによる状況のリアルタイムアノテーショ ン、自律システム側から遠隔アバターを呼び出す等といった支援技術が必須であることが示唆された。

課題推進者:李晃伸(名古屋工業大学)

## 研究開発課題5:頑健な音声対話処理の研究開発

当該年度実施内容:

### (1) 音声対話における状況検出

ユーザの心象(どの程度その対話を楽しんでいるか)の推定について、より実際の使用状況に近い、学習時と は異なる環境(対面/オンライン)での推定性能の向上に取り組んだ。特徴量分布間の L1 距離で特徴量群を 選択することで性能の向上を得たが、環境の変化に頑健な特徴量についてより詳細な分析や知見が必要であ る。また心象の正解ラベルのバラつきについては、国際会議 SIGDIAL2023 での発表に至った。

さらに研究開発課題3(東中)で収集された実環境での音声対話データに基づいて、音声認識そのものでは なく、その区間を決める発話区間検出で問題が多く生じていることを見出した。この観察に基づき、大量の音声 データとその振幅変更や雑音重畳によるデータ拡張により、発話区間検出の性能向上に取り組んだ。この結果、 ユーザ発話が全く検出されないという誤りがあったターンの 7 割以上でユーザ発話の存在を検出できた。さらに

マイクとスピーカーとの位置関係による発話区間検出や音声認識の性能劣化に関する分析にも着手した。

## (2) 誤り発生時の対話の継続

前年度に構築したシステムの拡張や安定化を実施した。ここではユーザ発話の音声入力タイミングを考慮した拡張を行った。例えばシステム発話の最中にユーザが発話した際に、システム発話を止めるか否か、さらには止めた発話をシステムが再度続きから話すのか発話の最初からやり直すかといった制御が可能である。

さらに、システムで用いる知識グラフについて開発を進め成果発表に至った。まず知識グラフを拡充する際に問題となるエンティティの同一性判定問題に関する成果を PRICAI2023 にて発表した。また大規模言語モデルを用いて生成した文を用いて、知識グラフ補完の性能を向上させる手法を IJCKG2023 で発表し、Best Research Paper Award を受賞した。

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、時間経過とともに形が変わる非剛体物体のモデルを作成することが重要となる。変形する物体の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、本年度は視覚情報から家具などの人工物の変形可能なモデルの構築を実施した。

具体的には、1枚のRGBD画像から複数の人工多関節物体を再構成するための、エンドツーエンドで学習可能なカテゴリに依存しない手法を提案した。本提案手法は、予め定義されたパーツ数を持つ人工関節物体のみに焦点を当てた先行研究とは一線を画すものである。提案手法の特徴として、検出されたパーツの組み合わせとしてインスタンスを表現する、パーツレベル表現を用いた新しいアプローチを採用している点があげられる。この新しいアプローチを detect-then-group アプローチと呼ぶが、誤検出、様々なパーツサイズとスケール、エンドツーエンドの学習によるモデルサイズの増大という問題を抱える。これらの課題に対処するため、推論時における運動学を考慮したパーツ融合、パーツ形状学習のための異方性スケール正規化手法などを提案した。

合成データと実データの両方で評価した結果、本手法は、従来の手法では扱えなかった様々な構造を持つ複数のインスタンスの再構成に成功した。これは、変形物体の再構築という課題で世界初の結果である。

#### (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実施している。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。今年度は特に知識獲得を目指した視覚的質問生成 (Visual Question Generation, VQG) に着目した。

実世界の物体認識では、認識すべき物体クラスが多数存在する。教師あり学習に基づく従来の画像認識手法では、学習データに存在する物体クラスしか認識できず、実世界での適用には限界がある。これに対して、人間は、新しい物体に関して質問し、その物体に関する知識を獲得することで、その物体を認識することができる。このことに着想を得て、本年度は、モデルが新しい物体を瞬時に認識できるような質問を生成することで、外部知識を獲得するフレームワークを提案した。このフレームワークは、知識ベースの物体分類器、新しい知識を獲得するための知識を意識した質問生成器、質問する「方針」を決定する方針決定モデルの三つのモデルから構

成される。方針決定モデルは「確認」と「探索」という二つの戦略を利用する。実験により、提案パイプラインが複数のベースラインと比較して新規物体に関する知識を効率的に獲得し、獲得した知識を利用して新規物体認識を実現することが実証された。また、生成された質問に対して人間が応答し、モデルが獲得した知識を用いて物体分類器を再学習させるという実世界での評価も行った。これは、実世界での Human-in-the-Loop Learning-by-asking フレームワークへの基本的なステップである。

### (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

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。

UDA の従来研究では、知識を転送する際のターゲット誤差の上限を提唱している。例えば、Ben-David ら(2010)は、ソース誤差と周辺分布間の距離の同時最小化に基づく理論を確立した。しかし、ほとんどの従来研究では、その難解さのためにクラス情報を考慮した結合誤差は無視されている。本年度では、UDA 問題、特にドメインギャップが大きい場合には、結合誤差の考慮が不可欠であることに着目し、この問題に対処するために、結合誤差の上限に関する新しい目的関数を提案した。また、この上限をより厳しくするために、探索空間を縮小できるソース/擬似ターゲットラベル誘導仮説空間を採用した。仮説間の非類似度を測定するために、敵対的学習中の不安定性を緩和する新しいクロスマージン不一致を定義した。さらに、標準的な UDA ベンチマークにおいて、提案手法が画像分類精度を向上させることを実証した。

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、現在は他の課題推進者の協力を得て統合失調症に関する対話データを提供いただき、それらを学習に利用するための整備及び基礎的な解析を行なっている。ここでは、対話の動画データから音声や対話のテキストデータの抽出を行い、解析に利用するための 100 例以上の整備を行った。

### (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

上で収集および整備したデータを用いて解析を行なった。データは統合失調症の患者と正常な患者の対話データで構築されており、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して抽出し、対話の内容から識別するモデルを構築した。また、音声データを利用した識別モデルの構築も行い、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た。画像データに関しても取り組む予定であったが、コロナ禍の影響もあり多くの患者がマスクの着用を希望されていたこともあり、今年度は音声データとテキストデータのみでの解析を行なった。

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

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、以下の三つの進捗が完了している。1) 新しいビジュアル質問応答フレームワークが提案されたことで、画像と長期記憶を比較し、変化に関連する質問に回答することが可能となった。これは、直接ピクセル単位で比較するのではなく、長期記憶をグラフで表現し、より抽象的でタスクに関連した特徴に焦点を当てる手法である。この方法は、70%以上の精度で長期記憶を精査し、得られた知識を使って回答生成のプロセスを段階的に説明することができる。この研究は、大規模言語モデルの思考連鎖研究における重要な進歩となった。2) 長期記憶の生成を目的とした生成モデルの使用を提案した。医師が症状の特徴をスケッチとして記憶するように、この研究では医師の記憶にある症状の画像を直接生成することで、医療教育と診断をサポートする。長期記憶から画像一枚を生成する時間は 0.5 秒以内であり、長期記憶に保存された類似症状の画像を 70%以上の精度で取り出すことが可能である。このアプローチは将来的に自然画像を長期記憶から生成するために拡張される予定である。3) 実世界の連続的な物理的信号にシンボルを関連付けることで記憶を容易にする方法を提案した。現在言葉として記録することが困難な専門家の知識やスキルも、この方法を用いることで記録できるようになり、より多くの人々に伝えることが可能になる。特に、光スペクトルには本来「色」は存在せず、人間はほぼ無限に近い光スペクトルを数種の色に分類して知覚する能力を発展させてきた。この研究では、この人間の色知覚を模倣し、進化的圧力の下で光スペクトルを限定された色数に自動的に分割する初の概念実証を示す。この人工的に進化した「色」は、コンピュータビジョンタスクにおいて最適化されたパフォーマンスを示すだけでなく、人間の言語進化のパターンとも一致する。この方法は、物理世界をシンボルと関連付けることで、これまで言葉に表現しにくかった専門知識や技能を記録し、広く伝えるための道を開くものである。

##### (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

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に拡張し、特定の状況に関する医学研究の改善確認を行い、これら関連分野でのパフォーマンスを向上させる。以下の三つの進捗が完了している。1) 病気の進行と診断推論の各ステップに関する質問に答えることで、医師を直接支援する実用的なシステムを提案した。このシステムは、患者の現在の画像と過去の記録を比較し、言語モデルを統合して診断支援を行い、診断の精度を 30%以上向上させることができる。2) 既存の臨床アプリケーションでは、不十分なピクセル単位の外観類似性に基づいて類似画像を検索する方法がとられているが、これに対して、臨床的に類似した画像の記憶を取得する新しいシステムを提案した。このシステムは、記憶に表現されたスケッチによる症状画像をさらに生成することができ、ライセンスを持つ医師による評価で、医療教育と診断を効果的にサポートすることが確認された。3) 自然言語処理によって抽出された放射線報告の情報を活用し、医療タスクにおいて重要な識別領域を探索するようニューラルネットワークを動かす研究を行った。このアプローチは、病気分類、医療画像のセグメンテーション、医療画像テキスト分析を含む様々な医療タスクにおいて競争力のあるパフォーマンスを達成し、パフォーマンスを少なくとも 30%向上させた。

##### (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

最後に、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ついて、既存の進歩に基づき、モデルがキャラクターの振る舞い、思考、感情をある程度保存し、解釈する能力を示す研究を拡張した。この研究は、個性記憶メカニズムを用いて、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ることを目指している。適切なプロンプトを使用することで、モデルは特定のタスクに対する動機付けのレベルを判断し、行動を取ることもでき

る。心理特性と対人関係に関する心理測定で評価された CA モデルは、他者の感情を知覚し、理解し、適切に反応することができる点で、人間と比較して 40%以上のパフォーマンスを達成した。

**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

引き続き階層的な対称性を活用した時系列の将来予測のための手法開発を行った。複数人物の行動予測や複数企業の経済指標の時系列予測といった多くの変数からなる時系列の予測において、その時系列を構成する要素間を等価に扱えるような、要素の順序の入れ替えに依存しない予測モデルを構築することにより精度の良い予測が可能になると期待される。特に人であればチーム、企業であれば業界、といった所属を持っており、そのような所属情報により等価に扱う対象が変わりうるものが期待される。

このような所属情報による階層性を持ったデータは木構造で表すことができ、提案手法は木構造の葉から根の方向に情報を集約していくモデルと根から葉の方向に情報を拡散していくモデルを組み合わせることにより、所属情報を考慮した情報獲得を行う。

提案手法は経済指標のデータにおいて安定して既存手法よりも高性能な予測を示し、また NBA スポーツ選手の試合中の動きを予測するタスクにおいて選手のデータを半分程落としても、予測誤差の増大は1割程度に収まった。

高速な時系列予測を行うために、高速な計算デバイスであるスパイクニューロンを用いたデータ生成モデルを提案した。現在高性能な画像生成を行うことが出来る拡散モデルは逐次的に微小な変換を繰り返すことによりデータ生成を行う。しかしながらスパイクニューロンは出力を離散的な時系列で表現するという特徴があるため、離散的な時系列で微小な変換をモデル化する必要がある。提案手法では連続的な変換をスパイクニューロン同士を繋ぐ重みに吸収することにより、スパイクニューロンのみで画像生成を行う事を可能にした。

提案手法により以前に提案したモデルよりも高性能なデータ生成を可能にした。

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複数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。

さらに、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として、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ついて手法の提案を行った。強化学習において行動の良し悪しを測る価値関数の推定が重要である。提案手法では、モデル学習時に現れる価値関数のサンプルの分布の歪みを生成モデルで表現し取り除くことによる学習の効率化を目指した。提案手法により標準的なタスクでの学習効率や性能が改善された。

**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

令和3年度に設計した用語同定タスクのデータに関してデータ拡充を実施し、データ量を当初計画の3倍程度まで増強した。また、主に日本語に強い大規模言語モデルを活用した意味解析システムを実現するために必

要な改良を施し、用語同定タスクの正解率7割以上を達成した。具体的には、これまで構築してきた意味解析システムに対して、最新の日本語大規模言語モデルを適用する際に問題となる処理単位の違いを吸収するために、既存の学習済み言語モデルの処理単位を文字単位の処理単位に変換する機構を導入した。さらなる性能向上に向けて、最新の日本語大規模言語モデルを効果的に組み合わせる方法の検討を継続して実施している。

## (2) マルチモーダル意味理解の研究開発

前記(1)と同様に、令和3年度に作成した視覚情報(画像情報)を付与した用語同定タスクに対して、日本語に強い大規模言語モデル及び視覚モデルを合わせて適用し、画像情報付き用語同定タスクの正解率7割を達成した。より具体的には、用語同定の際に候補となる用語の画像情報を処理に利用するために、用語のセグメントに対して画像情報の特徴ベクトルを埋め込む方法を考案した。また、同様に、キャプション生成を活用して用語候補の画像情報を言語情報に変換し、変換された言語情報の特徴ベクトルを当該用語候補の追加情報として活用する方法を考案した。

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

一人の人が複数台の 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。本年度は、これまでに開発を進めてきた CA 操作システムを拡張し、言語指示やコントローラによる操作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(図1)。具体的には、図2に示すように病室と家庭を模した3つの作業環境に存在する3台のモバイルマニピュレータ(CA1:Stretch, CA3,4:HSR)と1台の対話ロボット(CA2:CommU)を1人のユーザが同時に遠隔操作し、配膳や病室内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、各 CA が CA 1台遠隔操作時の70%以上の速度や精度でタスクを実行できることを確認した。

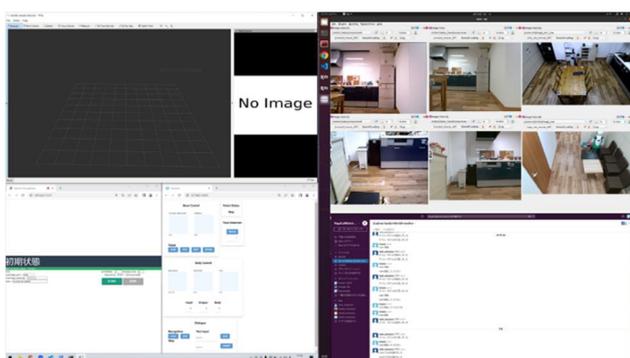


図1 CAからのセンサ情報を表示し、CAへの言語指示とコントローラによる遠隔操作を可能にするシステム

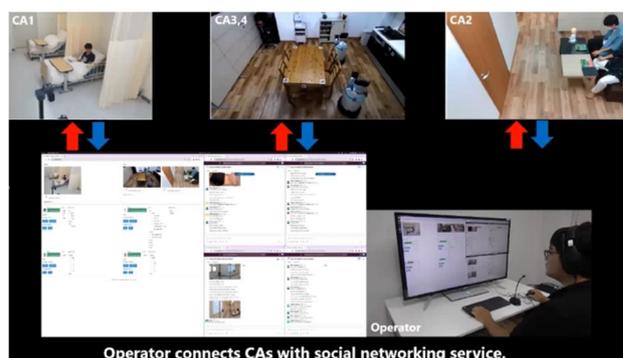


図2 ユーザの遠隔操作による4台 CA 協調配膳タスク

#### (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、大規模言語モデルによる単純な言語指示から複数台の CA に割り当てるタスク計画とその時空間的依存関係を考慮したタスク割り当てを実現するシステムを開発した。具体的には、遠隔操作ユーザから与えられた言語指示を環境中に存在する CA に割り当てるためのタスク (行動) 一覧に分解し、一般的なタスク実現の依存関係をプロンプトとして数例例示することで、言語指示から分解したタスク一覧の物理的依存関係に基づいたタスクグラフを大規模言語モデルによって生成する手法を提案した (図3)。また、タスクグラフを CA が持つ制約条件 (移動可能性、把持可能性など) に基づいた線形計画法により各 CA に割り当てることで、自律的な CA 協調動作が実現される。このシステムを CA 操作基盤とし、(1) 自在 CA 制御技術の研究開発の成果でもある CA 操作システム等と自然言語を通じて接続することで、万博デモやうめきた実証実験施設で用いる基本システムを確定させた。

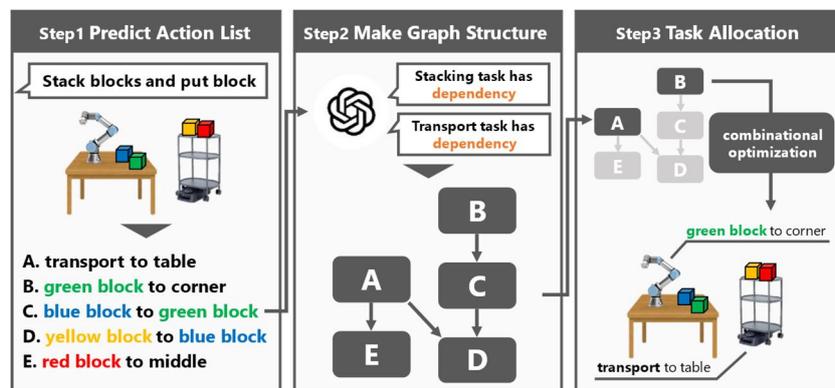


図3 大規模言語モデルによる複数台 CA のタスク計画と線形計画法による協調制御システム

### (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。本年度は、大阪大学基礎工学研究科内で構築した家庭環境と病室環境において、4 台の CA 同時操作による配膳や病室内支援タスクを実施した。また、上記(2)の成果でもある大規模言語モデルによる複数台 CA のタスク計画と線形計画法による協調制御システムを、大阪大学内に構築した家庭環境で実ロボットを用いることでその有用性を評価した。

課題推進者: 長井隆行 (大阪大学; 2023 年 4 月 ~ 12 月) ・堀井隆斗 (大阪大学; 2024 年 1 月 ~ 3 月)

### 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

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、行動をプランニングする手法を開発した。この手法では曖昧な表現を含む手順を具体化するプロセスと、プログラムを生成するプロセスの二段階のプロセスに分割することでより高精度なプランニングを実現した。さらに、視覚言語モデルを統合することで、現在の状態を認識する手法を開発した。これらの手法によりプログラムを生成することで、事前にプログラムされて

いない複数の行動系列を実行可能となった。実際に手順として料理レシピを与えることで、複数(3つ以上の)簡単な料理行動を実行できることを確認した。さらに、CA がコミュニケーションし連携するための意図調停を確率的生成モデルで定式化した。このモデルでは、CA 同士がコミュニケーションすることで、複数 CA のタスクの状態を表す潜在変数を教師なしで推論することが可能となった。この手法により、タスクに応じた CA の状態を事前に設計することなく、自律的に学習することができる。

## (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 の状態に応じた適切な協調行動が生成可能なモデルを構築した。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。CA の状態を表す潜在変数を利用することで、他者の状態も考慮した協調行動を実行することが可能となる。実験では、マルチエージェントのシミュレータを用いて、両者の状態を表す適切な潜在変数と、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、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、これまでに開発したマルチモーダル物体検索手法 MultiRankIt を高度化し、概念実証システム「実世界検索エンジン」を構築した。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。3体の CA を用いる概念実証を行うとともに、実機環境において再現率 88%・タスク成功率 80%を達成した。さらに、拡散モデルと基盤モデルに基づく参照表現セグメンテーション手法、およびプロトタイプに基づく対照学習による Sim2Real マルチモーダル言語理解手法を構築した。

### (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。

本年度は、これまでに構築した敵対的摂動のモーメントに基づく学習手法 HLSM-MAT を拡張し、対話的 Follow タスクにおいて言語理解精度 80%を達成した。具体的には、画像・言語・行動の潜在空間に敵対的摂動を導入するマルチモーダル言語理解手法 DialMAT を構築した。DialMAT の検証のため、CVPR2023 Embodied AI Workshop コンペティションに参加し、画像と言語を用いて対話的に Follow タスクを実行する DialFRED Challenge において優勝した。

**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

大規模言語モデルによるプランニングと場所概念モデルを統合した生活物理支援 CA のための行動計画手法を構築した。場所概念モデルから得られた各場所における物体の観測確率を GPT にプロンプトとして与える事により、現場環境に適した行動計画を実現した。この手法をベースとして複数 CA を大規模言語モデルにより結合した知識転移システムを構築し、新規環境導入時の学習を複数体の生活物理支援 CA に関して、2つ以上のタスクで4倍以上高速化させた。

また、SLAM の能動探索と場所概念モデルの能動探索を確率的生成モデルとして統合した手法を構築した。構築した手法は、CLIP や GPT などの基盤モデルを用いた画像キャプションにより環境の言語的情報を獲得し、この言語情報を場所概念モデルの観測にすることにより記号的知識を獲得できることを示した。

### (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

当該年度の研究においては特に近接覚センサを用いた CA が多様な物体を協調的にハンドリングするために必要な技術開発を行った。物理的な潜在空間の状態空間からオブジェクトタイプの情報を分離することにより、事前把握行動を生成するように設計された新しいフレームワークである条件付き NewtonianVAE を提案した。NewtonianVAE の限界である、各オブジェクトの情報を別々の状態部分空間にもつれ込ませることで、複数のオブジェクトで学習した場合に制御が実行不可能になることに対処するため、本手法では、分離を達成するための条件変数を組み込むことで、学習した状態空間を制御タスクに利用することを容易にした。

さらに、画像とテキストの対比学習に基づく基盤モデル CLIP を利用し、未知物体に対して高い汎化性能を持つ赤外光の反射率予測手法を提案した。実験により、提案手法は、未知物体に対する予測精度において、従来の CNN ベースの予測手法を上回ることが示された。

これらの技術を統合し、結果として生活環境もしくは病室環境に存在する物体に関して1体以上の生活物理支援 CA で、10種類以上の新規物体を含んだ具体的な生活物理支援タスクを1つ以上実現した。

### (3) 生活物理支援自在化フレームワーク開発と実証

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、Serket-GUI を Symbol Emergence in Robotics Toolkit (Serket) のノーコード Graphical User Interface (GUI) として開発した。Serket-GUI は、昨年導入されたコンテナ化されたソフトウェア開発環境である Serket-SDE バックエンドのウェブフロントエンドになることを目指している。Serket-GUI の現在のプロトタイプは、<https://serket.vercel.app> でアクセス可能であり、最新の Serket-SDE の引用の進行や機関の関与は、<https://coarobo.com/ja/community> で閲覧可能である。本実施項目に関わる学術的貢献には、3D セマンティックセグメンテーションのための対話的な追加学習システム、ロボットナビゲーションのための統合された VLM/LLM システム、および混合現実ベースの 6D ポーズ注釈システムに関する出版物が含まれる。これらの出版物はすべて、現実の世界で物理的自律型の CA を展開する目標に貢献するものである。これらの研究を通して 2 つ以上の生活物理支援 CA の知能を生活物理支援自在化フレームワークに基づき開発し、具体的な生活物理支援タスクを2つ以上実現した。

本自在化フレームワークと可視化技術は、令和6年度より推進する大阪駅前の施設における研究開発項目 4 のデモに統合されて展開される計画である。

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

第2段階の CA 用触覚・近接覚センサの機能として、まず、指先表面に分散配置された近接覚センサ素子の

出力分布から、近傍の物体の局所的な曲率を推定可能にした。従来、近接覚センサは各指から物体までの最近傍点の距離と方位を推定し、未来の把持安定性を予測していた。これに対して、最近傍点近傍の曲率の情報を加えることで、物体把持時の力学的安定性をより正確に考慮することが可能となった。また、遠隔操作時に課題となる物体へのアプローチ位置誤差の問題に対して、従来の手のひらのセンサに加えて指先のセンサを効率的に利用した物体検知および誤差修正制御を開発した。

次に、近接覚センサ(距離数十ミリメートルから接触に至るまでを検出可能)に改良を施し、接触後に作用する外力を推定する触覚機能を追加した。触覚検出方式として気圧式を採用し、構造内の 8 か所の圧力の測定に基づいて接触点に作用する力とモーメントを推定することを可能とした。近接覚および触覚センサは、直径 40mm の球体内に内蔵され、CA の指先に実装可能である。

また、近接覚・触覚センサのモジュール型設計を導入した。本設計はセンサ部・ベース部・カバー部から構成される。センサ部ではそれぞれ高速性や情報量に特化した近接覚センサの構成が選択できる。ベース部では異なるセンシングモダリティの追加や種々のロボットプラットフォームに合わせた連結を選択できる。カバー部では用途に応じた硬質あるいは弾性材料の表面を選択できる。以上に加えて、既存のホームサービスロボットのグリップへの触覚・近接覚センサの実装、新規の CA 用 4 指ハンドの開発を行った。

遠隔操作環境を模した(固定視点カメラ映像・遅延あり)検証実験では、触・近接覚センサによる半自律的な補正制御によって、ボトル等の倒れやすい物体把持タスクにおいてタスク成功率が約 20% 向上し、さらにタスク成功時の所要時間が平均 13% 減少した。複数の物体が近くに置かれた中から一つずつ把持するタスクでは、ターゲット以外の物体との意図せぬ接触を低減でき、成功率は約 39% 向上した。ベルトコンベア上を移動する物体を把持するタスクでは、遅延がある中で物体の動きに短時間で対処する必要があるが、近接覚センサによる自動補正が有効であり、低速(約 60mm/s)で移動する農作物を模した物体に対して把持成功率が約 30% 向上した。また、移動速度を高速(約 140mm/s)にしても補正有りの場合は成功するパターンが確認された。このほか、センシング機能自体の性能評価実験の結果、物体(直径 60mm の球)に対するアプローチ誤差は最大 160mm まで補正可能となり、昨年度に比べて対応可能な誤差範囲が約 2 倍に向上した。以上より、複数のタスクで 20% 以上の達成率および作業効率の向上が確認された。

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

本研究では、随意性が高い BMI と自律性が高いアバターの長所を相補的に調和させることにより総合性能を向上させるため、下記の式で定義される BMI と CA を調和制御する。

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

評価関数(性能、操作感)  $\Rightarrow$  max

$v_{\text{cmd}}$ : 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

この基本コンセプトにもとづき、当該年度は、作年度に引き続き、生活支援ロボット HSR(トヨタ社製)を用いた CA の自律制御を上肢、下肢、会話機能に関して開発、実装、改良を進めた。ついで、これらの自律制御を侵襲型 BMI システムの随意制御と調和制御する手法を開発し、実装を進めた。開発にあたっては、課題1(長井/堀井)、課題3(杉浦)、課題5(鈴木)と連携することにより開発を進めた。さらに個別開発した自律 CA の操作、

対話機能を HSR 上に統合することにより、生活支援 CA HSR に自律制御性を実装し、これを侵襲型 BMI による随意制御と調和制御できるようにした。BMI の随意制御と CA の自律制御の調和的制御を特許出願した。

## (2) 植込み BMI 治験参加患者を対象とした臨床研究の策定

他のプロジェクトにて、重症の筋萎縮性側索硬化症(ALS)の患者を対象に、完全ワイヤレス体内植込み型 BMI 装置を用いて、その安全性と、スイッチ操作による意思伝達機能の有効性を検証する治験を計画・準備している。その治験に参加して主要観察期間を終えた ALS 患者を対象として、本課題の成果を臨床試験にて評価するにあたり、昨年度までの計画では臨床研究として行う計画であったが、これを探索的治験として行う計画として、より早期に実用化できる計画とした。また、新たな患者も参加できるようにし、ALS 以外の神経難病や脊髄損傷の患者も対象に加えた。臨床試験では、上記(1)において開発したシステムを用いて、CA による操作(上肢機能)、移動(下肢機能)、対話(会話機能)、3つの全ての機能に関して、その有効性を探索することし、その臨床試験のプロトコルの概要を策定した。

臨床研究では以下の機能の有効性を探索する。

- ・ BMI による HSR のアームの 3 次元随意制御と HSR のハンドの自律把握制御の調和制御の有効性
- ・ BMI で随機的に生成した短い文章から CA が丁寧な文章に補完し、その文章に内在する感情要素を推定して表情豊かに発話する調和制御の有効性
- ・ BMI の随意移動制御とポテンシャル場を利用した CA の自律移動制御の調和的移動制御の有効性

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 基盤第 3 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、低顧客密度)、模擬 CA サービスの種類(受付・案内・見学・教育)を想定した CA 基盤を構築した。さらに、100 体以上の CA を管理出来るように、CA のグループ分けとグループ管理機能を開発した。模擬 CA サービス提供場所の状況、模擬 CA サービスの種類において、複数の遠隔操作者が 100 体以上の CA を利用できることをシミュレーション環境、実社会環境で確認した。シミュレーション環境では、主に CG-CA を活用し、100 体の CA が接続出来ること、模擬 CA サービスのコンテンツを準備し、遠隔操作者が操作できることを確認した。アジア太平洋トレードセンター(ATC、大阪市住之江区)の実社会環境で、遠隔操作者 20 名、CA104 体を接続した機能実証を実施し、CA 基盤が機能することを確認した。

### (2) 階層的 CA 連携層の構築

令和 4 年度に構築した CA 4 種類(実機 2 種類、CG 2 種類)に対応した CA データベースを活用して、上記(1)の実社会環境での機能実証実験で CA 基盤に接続する 104 体の CA を登録した。CA サービスデータベースについては、同様に令和 4 年度に構築した模擬 CA サービス(受付、案内、見学、接客、買物)に対応するレコードを、上記(1)の実社会環境での機能実証実験に基づいて登録した。さらに、OMG において国際標準化が進んでいる Robotic Service Ontology (RoSO) を活用し、CA サービスを実施できる CA の組み合わせや、実施可能な CA サービスの組み合わせを判断できるように改良し、上記(1)の実社会環境での機能実証実験において、100 体規模の CA によって模擬 CA サービスが提供できることを示した。

### (3) 操作者割り当て遠隔操作層の構築

研究開発項目7と連携して実施している ATR エントランスでの受付実証実験の遠隔操作者に対するヒアリングに基づき、CA 操作者が在宅およびモバイルで操作する環境のネットワークと周囲環境の要件をレコードとして定義し、CA 操作者データベース第2期プロトタイプを構築した。そのデータと、RoSO を活用し、複数の CA サービスに対して適切な複数の在宅およびモバイル操作者を割り当てる手法と、CA 基盤の外部プログラムとして実装された CA の自律動作と組み合わせた CA 遠隔操作手法を提案した。ATR エントランスでの受付実証実験、および上記(1)の実社会環境での機能実証実験において、1 人の操作者が 3 体の CA を、1 体の CA を操作する場合に比べて、同等の速度・精度で操作できることを示した。

#### (4) CA 基盤機能実証実験

模擬 CA サービス提供場所(広域多地点・高顧客密度)として、アジア太平洋トレードセンター(ATC、大阪市住之江区)のショッピングモール共有スペース、テナント店舗等を活用し、研究開発項目1・2・4・7と連携して CA100 体以上による3種類以上の異種 CA サービス(模擬 CA サービス)提供実証実験を実施し、CA 基盤の機能の有効性を確認した。CG-CA 60 体、設置型 CA 37 体(Sota 30 体、CommU 3 体、パペットロボット 3 体、アンドロイド CA 1 体)、移動型 CA 7 体(Teleco 3 体、Robovie-R3 3 体、HANAMOFLO 1 体)、合計 104 体の CA を ATC に設置し、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)の三か所を遠隔操作場所として活用して実施した。CA と遠隔操作者は、CA 基盤へ、有線ネットワーク、あるいはモバイルルータを活用した無線ネットワークによって簡単なログイン認証により接続できること、遠隔操作者が CA を遠隔操作可能であること、模擬 CA サービスが提供可能であること、などを示した。

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、課題1(宮下)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 CA 基盤にそれぞれ異なるタスクを実行する複数のグループを設定・管理できるアカウント管理機能を導入することで、100 体以上の CA、10 種類以上のタスクに対応可能な CA モニタリング層を構築した。実証実験において、通常のインターネット回線を介してクラウド上に設置した CA 基盤を利用し、18 グループ・128 アカウントによる運用において実際にモニタリングデータが取得できることを確認した。

### (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、インターネットを介して CA 基盤を利用し CA 操作を行う実環境において、1 人の操作者が 3 体以上の CA を操作する条件での検証を行い、蓄積したモニタリングデータに含まれる過去の CA 活動と現在の CA 活動との類似性に基づいて操作者が次に行うべき発話・操作を選択可能な操作候補群として操作者に提示する操作支援によって、操作者自身による発話量を減少させ、操作効率を最大 3 倍以上に向上できることを確認

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

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、本項目では、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。

2022 年 9 月に OMG 2022Q3 TC Meeting へ提出し受理された RoSO1.0 Initial Draft は、日韓からの提案を調整する時間が十分に確保できず、両提案の一部が併記される形となった。そこで、その後、日韓提案の統合一本化に向け、隔週で日韓 OMG 参加メンバーの情報交換および仕様改訂作業を進めた。また、OMG Architecture Board のメンバーのアドバイスも反映させて取り纏め、完成した RoSO1.0 Revised Draft を、2023 年 9 月の OMG 2023Q3 TC Meeting へ提出し、受理された。これを受けて、RoSO1.0 FTF が設立され、日韓で協力して、標準化仕様確定に向けた最終段階の活動を進めた。RoSO1.0 は、現在 Beta 1 版が発行され、これに対するコメントを広く募っているところであり、2024 年度は集まったコメントを反映させた形で FTF Report の取り纏めを進める。

#### (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、課題推進者会議や ICRA2023 での WS 等において、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情報交換をしつつ検討を進め、OMG での RoIS 下位レイヤの改訂に盛り込む活動に取り組んだ。その結果策定された RoIS2.0 Initial Draft は、2024 年 3 月に開催された OMG 2024Q1 TC Meeting へ提出され、受理された。また、OMG 2024Q1 TC Meeting の終了後、すぐに、RoIS2.0 Revised draft の策定にとりかかった。

#### (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こととし、この部分についての国際標準化を進めた。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、課題推進者会議や ICRA2023 での WS 等において、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意見交換をしつつ検討を進め、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。その結果策定された RoIS2.0 Initial Draft は、2024 年 3 月に開催された OMG 2024Q1 TC Meeting へ提出され、受理された。また、OMG 2024Q1 TC Meeting の終了後、すぐに、RoIS2.0 Revised draft の策定にとりかかった。

**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1: 生体応答統合解析

#### 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マルチオミクス解析

課題4(住岡)と共同で、ゲームと対話という二つのタスクを被験者が同時に実施する試験を実施した。具体的には、隙間時間を作りやすいゲームソフト(桃太郎電鉄)と対話を同時に実施し、その前後で血液を採取、血漿と免疫細胞を分離した。免疫細胞に関するトランスクリプトーム解析を実行し、また、課題2(和泉)と共同で血漿メタボローム解析を行った。

#### (2) CA利用者および操作者に対するマルチオミクス解析

課題4(住岡)と共同で、初対面のZoom対話を顔出しあるいはアバター利用で実施する試験を行った。(1)と同様の検体処理を行ったところ、初対面のZoom対話ではアバターを利用するほうが心理的な負担が軽いことがわかった。さらに、これまでに得られた友人同士の顔出しZoom対話との比較解析を実施したところ、アバターの利用によって、初対面であるにも関わらず友人同士の会話で得られたような生体影響が生じることがわかった。アバターの利用がポジティブな生体影響をもたらすという重要な証拠が得られたと考えている。また、心理指標と相関するオミクス指標を発見していることも大きな進捗であると考えている。

#### (3) 新しい遠隔対話システムに関する調査研究

課題4(住岡)と共同で新システムの探索を行った。その結果、MetaQuestなどのVRシステムが高いクオリティで構成されていることがわかり、次年度以降に検討を実施することを決めた。

#### (4) 多様なシチュエーションにおける生体影響調査

課題2(和泉)と課題4(住岡)と共同で、ヨガ・瞑想およびシナスタジア利用に関する検討を実施した。計画書に記載の通り、共同研究の準備状況からヨガを優先的に検討し、金井プロジェクト牛場グループとともに脳計測とオミクス情報の同時計測に成功、脳波と血液オミクスという全く異なるパラメータの統合解析への道を拓いた。

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) 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

本研究項目では、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、昨年度までに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、課題1(河岡)、課題3(春野)、課題4(住岡)、課題5(中江)において採取する各種体液検体を使用する。課題1および課題4において、ゲームと対話という二つのタスクを被験者が同時に実施する試験を実施した。具体的には、隙間時間を作りやすいゲームソフト(桃太郎電鉄)と対話を同時に実施し、その前後で血液を採取、血漿を調製した。ゲームシングルタスク(12検体:580脂質分子の内70種が変動(12%))、Zoom対話シングルタスク(12検体:580脂質分子の内35種が変動(6%))、ゲーム×ゲームマルチタスク(24検体:580脂質分子の内28種が変動(5%))、ゲーム×Zoom対話マルチタスク(24検体:580脂質分子の内116種が変動(20%))、Zoom×Zoomマルチタスク(24検体:580脂質分子の内28種が変動(5%))、合計96検体のメタボローム解析を完了させた。ゲームおよびZoom対話のシングルタスクとゲーム×ゲームおよびZoom×Zoomの同種のマルチタスクにおいては、血中の脂質分子の変動に大きな違いは見られなかった。一方、ゲーム×Zoom対話マルチタスクについては、血中の脂質分子が大きく変動し、特にヘキソシルセラミド分子群の増加やジアシルグリセロール分子の減

少が観測された。マルチタスクの難易度が上がることによって血中脂質レベルの変動が増加することが示唆された。

### (2) 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

課題1および課題4の共同で初対面の Zoom 対話を顔出しあるいはアバター利用で実施する試験を行い、取得した血漿サンプルのメタボローム解析を実施した。初対面の Zoom 顔出し対話(30 検体:580 脂質分子の内 35 種が変動(6%))と比べて、アバター利用(30 検体:580 脂質分子の内 24 種が変動(4%))の方が、血中の脂質分子の変動が小さかった。特に、初対面の Zoom 顔出し対話においては、遊離脂肪酸群の著しい増加が確認された。血中の遊離脂肪酸群の増加は、心理的負担の増加を現すバイオマーカーの可能性が示唆される。

### (3) 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

課題1および課題4の共同で実施取得した共感覚惹起システム「シナスタジア」を完全な形(振動+光+音響)と不完全な形(光+音響)で体験するシチュエーションで採取した 20 検体に対するメタボローム解析を行った。現在、詳細なデータの解析を進めている。

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

昨年度セットアップした MRI 装置内に 3D 表示を行うゴーグルを用いて自らの CA を操作して相手の CA とインタラクトする環境を開発し、MRI 外で没入感を確立し、その状態を保持したまま MRI で最後通牒ゲーム課題を実験した。

### (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

MRI で複数のヒト+複数の CA がインタラクトする環境を確立した。このシステムを用いて、自分のアバターが切り替わる時に、パーソナリティがどう変わるかを計測する fMRI 実験を 45 名の被験者を対象に行った。初期的な解析の結果、パーソナリティの主観的評価とともに皮膚抵抗など生理指標や脳活動も変化することを見出した。現在はこの結果をジャーナル論文化すべく詳細な解析を進めている。

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

予定通り血液検査を伴う実験を実施した。課題1(河岡)、課題2(和泉)と連携し、予定を大幅に上回る被験者数の実験を実施した。まず、複数のアバター操作を想定した状況として、36 名の被験者に市販のビデオゲームを2つ同時にしてもらう条件(非対話-非対話タスク条件)、市販のビデオゲーム1つと Zoom での対話を同時にしてもらう条件(非対話-対話タスク条件)、2つの Zoom で対話を同時にしてもらう条件(対話-対話タスク条件)のいずれかを2時間行ってもらう実験を行った。また、15 名の被験者には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を行った。また、シナスタジアを用いた予備検討実験を延べ 6 名の被験者で行った。いずれの実験においても、その前後における血液を採集した。

### (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

課題1(河岡)、課題2(和泉)と連携して実験を実施し、その結果の分析を進めた。例えば、15 名の被験者に

はアバターを利用して Zoom 対話を行う条件と利用せずに Zoom 対話を行う条件の両方に参加する実験を行った。その結果、気分尺度である POMS2 におけるネガティブな気分の総得点である TMD において、条件間の効果が見られ、顔が見える場合の方がネガティブな気分が低い可能性が見えてきた。これは期待していた結果とは逆の結果である。インタビューではアバターの動作に違和感を指摘した被験者もあり、アバターにおける動作の不自然さが強く影響している可能性がある。一方で、アバターを不自然に感じていない被験者では気分が改善している場合もあり、課題1、2によるオミクス解析の結果も含めさらなる検討を行う予定である。

### (3) CA 利用者および操作者に対する行動・生体信号解析

昨年度行った実験との比較として同様の実験を高年齢被験者で行った結果を分析した。その結果、脳波や皮膚電位において、若年層・壮年層の被験者と異なる応答を示すものと、同じ傾向を示すが強さの異なるものがあり、さらなる検討を行う。また、CA の自律動作が操作者に与える影響に関しては、受付業務を支援する CA システムが操作者に与える影響を調査した。研究開発項目1課題1(石黒)、同課題4(港)と連携して、これらのチームが構築したシステムが来訪者を自律的に認識し、環境ノイズや来訪者の足音を制御するインターフェースを操作者が利用した場合に、操作者がアバターロボットによって能力拡張を感じるかを検討した。その結果、アバターロボットの能力が自分の能力の一部と感じられる、能力拡張の実現可能性が期待される結果を得た。

### (4) 多様なシチュエーションにおける行動・生体信号解析

シナスタジアの実験に関する予備検討を、課題1(河岡)、課題2(和泉)と連携しながらのべ6名で行った。刺激呈示時間が 10 分弱と短いため、完全な形と不完全な形で比較するよりも先に刺激時間が与える影響に関する予備検討を行った。刺激呈示を1回体験する場合や複数回体験する場合などを検討した。その結果、行動指標である Affective slider による感情変化については実験前後で覚醒度は大きく上昇するが、快適度はそれほど変わらず、刺激が主観的な快・不快には大きく影響しない可能性を確認した。引き続き課題 1、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5: ホルモン検査と健康基準策定

**当該年度実施内容:**

### (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、本邦における歴史に基づき健康をどのように評価すべきかについての総説を投稿した。システムティックレビューを執筆するための300の論文を収集し、その論文を用いた執筆方針を検討したところ、PM との面談を通してテーマの絞り込みを行うこととなった。健康基準策定に向けた因子の絞り込みに向けて、アバターの特性を分類し、どのような方向性の因子を調査すべきかについて研究会を2回開催し、外部有識者の意見を聞いた。研究会において、どのような調査を行うべきかについての方針を決定した。

**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

CA 基盤の拡張機能として、CA 基盤に接続している複数の CA を場所やサービスに基づいてグループ分け

し、遠隔操作者がグループを選択できるようにする機能と、各グループを操作している遠隔操作者の現在の人数を確認できる機能を公開版 CA 基盤に実装した。この機能により、CA100 体による 3 種類以上の異種 CA サービスを提供可能にした。実証実験拠点の1つ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)を活用した実証実験により、CA100 体以上によって 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)が提供可能であることを確認した。

実証実験基盤のうち、アンドロイド CA の1つである Geminoid-TK について、アンドロイド CA 用制御インターフェースおよび身体動作を実装した。CA 基盤については、実証実験基盤の国際化のための改修(UAE リージョンのクラウドサービスへの適用)を行った。

## (2) 実証実験拠点の構築

大規模実証実験として、実証実験拠点のうち大阪拠点の1つ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)を活用し、CA100 体以上による3種類以上の異種 CA サービス提供実証実験(アバター100 実証実験)の実施を計画し、計画通り実施した。CG-CA を含む合計 104 体の CA を大阪拠点に設置し、大阪拠点の1つである堺市実験拠点(堺市南区)と東京拠点の1つである翔和学園(東京都中野区)に加えて、三和中央病院(長崎市布巻町)を遠隔操作場所として活用して実施した。

## (3) 企業連携・実証実験運営

アジア太平洋トレードセンター(ATC、大阪市住之江区)を活用し、CA100 体以上による3種類以上の異種 CA サービス提供実証実験(アバター100 実証実験)の実施を計画し、2023 年 7 月 11 日から 20 日に、研究開発項目1・2・4・5と連携して実施した。CG-CA 60 体、設置型 CA 37 体(Sota 30 体、CommU 3 体、パペットロボット 3 体、アンドロイド CA 1 体)、移動型 CA 7 体(Teleco 3 体、Robovie-R3 3 体、HANAMOFLOOR 1 体)、合計 104 体の CA を ATC に設置し、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)の三か所を遠隔操作場所として活用して実施した。その際、空間の制約を越える試みの1つとして、ドバイフューチャーラボおよびエミレーツ航空(UAE・ドバイ)との接続技術検証を行い、国境を越える可能性を見出した。さらにドバイフューチャーファウンデーションとの交渉により、現地での実証実験を実施できることが明らかになり、CA 基盤に対して国際化開発(UAE リージョンのクラウドサービスへの対応)を行った上で、UAE・ドバイと日本を繋いだ実証実験を実施し、遅延時間やインターフェースの改良点を確認した。

アンドロイド CA(Geminoid-TK)については、国内最大級のデジタルイノベーション総合展である CEATEC において、制御インターフェースおよび身体動作を特定個人の CA に適用した際の効果や社会的な受容性を検証した。また、効果的な情報発信を実施することができた。

企業連携・実証実験運営を進めるため設立したアバター共生社会企業コンソーシアムは、2024 年 3 月末現在で 142 法人まで成長した。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って立ち上げる分科会は、従来の3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)に加えて、まちづくり分科会、FA 分科会が新たに加わり、各社の事業の蓋然性を高める実証実験の計画を議論した。

**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 50 人の被験者のうち、30 人(60%の被験者)が CA を用いたことで社会行動の改善を示すことができた。また実証実験を多数行った。

### **(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 50 人程度の被験者のうち、CA を用いたことで 30 人が不安症状が軽減したことを示すことができた。また実証実験を多数行った。

### **(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、CA を用いたことで 25 人が社会参加を促すことを示すことができた。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)

## **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**

当該年度は、昨年度までに作成した複数台対応の半自律遠隔操作システムのプロトタイプを改良した。前年度のプロトタイプでは「どちらのロボットで誰と話しているのか、わからなくなって混乱する」「どこまで話したのかをとっさに把握できない」「どのタイミングで、ロボットに自動で話させればいいかが分かりにくい」という意見があったことを受けて、以下のようにインターフェースの簡易化を行った:

- ・主たる操作対象を大きな画面で表示し、他の対象は小さく表示するようにすることで、どのロボットで今話しているのかを明示化した。

- ・主たる操作対象は操作者が話し、それ以外の対象は自律対話に自動的に切り替わるようにすることで、自律対話の切り替えを不要とした。

- ・操作の手順として、最初に人が呼びかける、あるいは話すこととし、詳しい説明などは自律対話で行わせることを基本とすることで、ロボットが話している内容を引き継いで話すことを減少させた。

これらのことは、自律対話の性能向上により可能となっている。昨年度から検討を開始した ChatGPT による自律対話はある程度の対話が可能であるが、言語モデルが有している知識を用いて応答してしまうため、特定の店舗での案内などでは誤った内容を話してしまうなどの問題が見られた。このため、Retrieval-Augmented Generation の手法を用いて、店舗固有の知識などを事前に用意して、例えば書店に設置した CA では書店関係の質問に関しては用意した知識から得られる回答しか答えないように指示するようにして問題を回避することで、一般的な雑談は行いつつも、店舗固有の質問に対しては間違った回答は行わないような自律対話を実現できた。このことにより、操作者には呼びかけや挨拶、雑談など、個々の店舗に応じた知識がなくとも操作を行うことが可能ようになってきている。

このシステムを用いてテレビ会議システムとの比較を行った。被験者数は 60～79 歳の高齢者 7 名で、後述のボランティアに応募した方々である。実験では書店でのブックフェアの案内を行い、フェアや書籍の案内を的確に行えるかどうかを調べた。前述のインターフェースにより半自律操作を行う場合と、テレビ会議システムでブックフェアの案内文書を見ながら案内する場合とを比較したところ(被験者内比較、どちらを先に実施するかはランダム)、1 名を除き、ほぼすべての被験者で半自律操作の方で円滑に案内が行えることを確認できた。なお、テレビ会議システムの場合に画面上に文書を表示するのではなく、紙面を用意したのは、画面の文字が読みづらいという意見が多かったためである。1 名は自律対話での応答ができることが良くわかっておらず、半自律遠隔操作でも自分の知識で説明しようとしていた。後述のように、自律対話との切り替えがよく理解できない方も一定の割合で見られるため、改善方法を検討する必要がある。

## (2) 実証実験のデザイン・実施・評価

当該年度は前年度に設置した堺市での操作拠点の設備を改良するとともに、光明池駅前の商業ビルの協力を得て実証実験を進めた。また年度後半からは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。講座の受講者を商業ビルで定期的に行う実証実験に参加してもらうことも開始している。

この実証実験では、商業ビル内の複数の店舗や廊下に CA を設置し、店舗案内などを行わせている。前項での改良した遠隔操作インターフェースを用いて、1 名で 2-3 体を操作する仕組みとしており、遠隔操作時以外は自律対話を行うようになっている。複数台の操作は基本的には問題なく行えているが、時折、複数台を操作することに混乱する人も見受けられる。例えば 2024 年 2 月に行った実験では、5 日間で 13 名の高齢者(年齢 60～82 歳)が操作者として参加したが、2 名の方で問題が見られた。1 台だけの操作は問題なく行えるが、2 台を切りかえることがよく理解できないとのことだった。詳しい原因はまだわかっていないが、他の高齢者の方々についても普段と同様の話し方をする方も多く、対話相手には自分の外見ではなく CA が見えていることがよく理解できていないことなど、遠隔操作という概念自体が理解しづらい傾向がうかがえる。また前項であったような、自律対話との切り替えも、日常生活では存在しない概念なので、理解できていない可能性もある。これらの点について、今後、どのような手順で説明し、試してもらえば遠隔操作が理解できるのかを、講座での様子を見つつ調べていく予定である。

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) サービススライス制御技術の開発

サービススライスが構築可能なローカル 5G 通信システムによる無線局免許を申請し、2023 年 7 月 11 日～7 月 20 日の期間中、大阪市内の商業施設 ATC で 2 基地局を稼働させ、他の研究開発課題による遠隔操作ロボ

ットによる対話実験に 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アバターを使用しており、Wi-Fi を用いた場合に比べて広域の通信が可能であり、フロア全体を移動し遠隔操作に係る情報発信と情報取得が可能であることを確認した。通信容量、通信遅延ともにサービス運用上の障害とならないことも確認している。同期間中、2 基地局間のハンドオーバー試験については、セルエッジ(電波が届く範囲の末端)の領域で通信切替に失敗するケースが発生することも明らかとなり、安定した運用には至らなかった。対応策として、電波シミュレータを用いたセル設計に取り組んでいる。また、本実験では UE(端末)の信号計測結果をトリガーとするハンドオーバーの仕様になっており、セルエッジの信号強度を強くすると不必要に切替が発生する可能性がある。そのため、基地局がハンドオーバーを指示する基地局機能のソフトウェア実装を行った。約 1 万 5000 行のソースコード追加と研究室の実験によって、ハンドオーバーに繰り返し成功し通信が継続することを確認した。

また、5G リソース制御技術として、移動型アバターの位置予測結果に基づいたリソース割当の有効性を、実機を用いて示した。ただし実験では、移動型アバターとしてミニチュア車両を用いている。実験では、移動アバターが特定の位置に存在することを予測すると、1 スロットあたり平均 120 RB (Resource Block)のリソースを割り当て、存在しないと予測される場合には 1 スロットあたり平均 7 RB を割り当てていることを確認した。なお、5G システムでリソースを割り当てたととしても、アプリケーション層がそのリソースを利用できるとは限らない。そこで、WebRTC を用いた映像ストリーミングのレート制御手法を拡張し、アプリケーションにおける高速かつ動的なレート制御を実装した。その結果、移動型アバターが継続して移動する場合でも、特定の位置にいる時に映像解像度が 2560x1440 から 3840x2160 に、フレームレートは 30 から 40FPS に上昇し、ストリーミングの品質が向上することを示した。常に高品質でストリーミングする場合と比較して、カメラの台数に応じて最大 80% のリソースが節約できることが明らかとなった。

また、5G 環境と Wi-Fi 環境の遅延の差異が、アプリケーションに及ぼす影響を明らかにするため、VR (Virtual Reality) アプリケーション、特に VR 空間でのインタラクションを含むアプリケーションを実装し、通信の遅延と遅延のばらつきがユーザの体感品質にどの程度影響を与えるかを明らかにしている。免許を取得し運用している 5G 環境と Wi-Fi 環境において、MOS (Mean Opinion Score) 値による VR の体感品質評価を行った結果、Wi-Fi 環境ではトラフィック増加に伴って遅延のばらつきが増大するため体感品質が低下すること、および、5G 環境では遅延のばらつきが抑えられ体感品質が向上することがわかった。具体的には、遅延のばらつきはインタラクションの相手に付随する VR オブジェクトの位置誤差に表出し、体感品質に大きく寄与することが明らかとなった。これらの結果から、セルラーリソースが限られている場合には、遅延のばらつきを抑制するリソース割当が重要であることがわかった。

これらの成果と知見を反映した 5G リソース制御手法について、令和 6 年度、令和 7 年度の実地での実証実験で検証する予定である。

**課題推進者:**村田正幸(大阪大学)

## 研究開発課題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:**

### (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

1 種の技能特化型遠隔操作モジュールである遠隔対話モジュールによるマイクロタスク実行システムを構築し、1 名の TO により、1 台の CA がタスクを実行できることを、対話タスクで示した。対話タスクは、頷き返答選択実行タスク、メインアプリ選択実行タスク、シナリオ進行タスクの3つのマイクロタスクから構成されている。これらは1つの WebUI 上に実行コマンドを呼び出すことができ、タブレットから選択実行することができる。当該年度は、翌

年度以降にモジュール数、CA 数、TO 数を増やしていった際の構成の実現性を加味した、基本的な実験環境の準備構築、CA 機体の設計開発に注力して実施した。対話操作において、主に音声情報の取得に関する CA 機体側の課題が得られており、性能を上げるための開発を継続する。

## (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

1 種の操作モジュールである、対話操作モジュールについてマイクロタスク操作 UI の概念設計と試作を行った。操作者として日本人男性 8 名、イギリス人男性 1 名のエンジニアが担当し、操作者が 30 分以上、強いストレス無く利用できることを、5 段階の主観評価において平均 4 となり、80%以上の性能が出ていることを確認した。一般の方を操作者とした実験は実施することができておらず、翌年度においてこの UI 研究に注力し実施してゆく。

## (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

1 種の技能特化型遠隔操作モジュールである、遠隔対話モジュールによるマイクロタスク実行システムと、1 種のマイクロタスク操作 UI を用いて、1 台の CA を 1 名の TO により、1 種の対話タスクを実行できることを、アバターまつりの会場及び、特別養護老人ホームよみうりランド花ハウス内の実環境で示した。当該年度は基本的なシステム構成の準備と原理確認の意味合いが強く、翌年度以降に、複数台運用の際の操作負荷及び運用効果を示す研究に注力してゆく。

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 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) 動作スタイル変換モデルの作成

対話 CA においてホスピタリティ向上に有用な動作スタイルモデルを構築するために、日本、米国、インド、ドイツの 4 か国の YouTube 動画から、いくつかの元動作とスタイルを選択し、スタイル変換モデルにより、スタイル適用後のモーションデータを得た。しかし、これらは 2次元の骨格座標であるため、これを 3次元推定技術により、3次元骨格座標に変換した後、Unreal Engine 5(UE5)で動作するキャラクターモデルに適用して 3D-CG アニメーションを作成した。次に、作成したアニメーションについて、15 個の印象語(活発な・好感の持てる・丁寧な・礼儀正しい・熱狂的な・攻撃的な等)について、クラウドソーシングにより 60 名の実験参加者に印象評価を行ってもらった。その結果、「活発な」、「熱狂的な」といった印象を強化するスタイルと、「丁寧な」、「礼儀正しい」といった印象を強化するスタイルがあることが分かった。さらには、これらのスタイルの効果は元動作の特徴にも依存することが分かった。

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 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。本年度はこのために、操作者の操作内容の適切性評価技術の研究開発に取り組んだ。

移動型 CA が規範に沿っていない動きをしたことを検出する検出器を構築し、この検出器を搭載した移動型

CA を実装した。移動型 CA は遠隔地のオペレータからの操作の命令を受け、その命令の安全性を評価した上で移動する。このような安全装置によって衝突はもちろん事前に防止される。それに加えて、規範に沿っているかどうかについても、今回実装した検出器で行い、その旨を操作者に遠隔操作インターフェース上で表示する。実装した検出器とインターフェース上の表示で被験者が操作者として移動型 CA をあえて不適切に操縦した場合に CA が不適切操作を検知できると感じることを確認するため、10 人の被験者を集め、心理学的な評価実験を行った。実験は検出器を搭載した移動型 CA を遠隔地(大阪 ATC)に配置し、操作者は遠隔地(京都大学)にあるパソコンを使って操作をすることにした。実験の結果、移動型 CA をわざと不適切に操作した場合には 10 人全員が、CA が自分の不適切操作を検知して警告することができた、と報告した。これ以外にも、ロボットの移動に対する妨害の緩和のために人の回避行動のモデル化を行った。また、狭い通路でのすれ違い回避行動モデルの構築の研究にも取り組んだ。

## (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。本年度はこのために、操作者の操作内容の適切性評価技術の研究開発に取り組んだ。

アバターのサービスには適切な言葉遣いや態度が顧客サービスに重要であるため、そのオペレータを助け、顧客サービスの質を高めるシステムの実現を目指した。特に、オペレータが慣れていない場合やさぼっている場合には不適切な言葉遣いを使うことが問題である。そこで、提案システムでは、オペレータが適切に接客している間は自由な対話を許すが、不適切な発話が見られるオペレータに対してはシステムが介入し不適切な発話をフィルタリングしてサービスの品質向上を図る(図1)。このシステムの有用性を確認するため、42 名の被験者(21 名のオペレータと、21 名の顧客)を対象に心理学的な評価実験を実施した。オペレータが自由に顧客と話す従来のシステムと比較したところ、不適切な発話を行うオペレータにおいては、提案システムを活用した場合の方が、従来のシステムと比較して、顧客への丁寧さや顧客満足度におけるサービス品質が大幅に向上することが示された。また、顧客役の参加者 21 人のうち 17 人(81%)が提案システムを好むと答え、オペレータ役を担当した参加者 21 人のうち 19 人(90%)が悪質なオペレータを識別できると感じた。



図1: オペレータの不適切な発話(左)を適切に変換(右)して CA が顧客に対してサービスを提供

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:

### (1) 社会との対話

本研究開発では、アバター社会倫理の設計を進める際に、社会の多くのステークホルダーを巻き込んだ議論を行った。具体的には「アバター社会倫理設計コンソーシアム」において、工学者だけではなく、倫理や道徳性についての研究を行っている様々な分野の研究者(人文社会系だけではなく、社会心理学や動物行動学など

の自然科学系の研究者も)、企業、行政、メディアなどから多様な人々を招いて、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の検討を行った。具体的には以下の活動を実施した。

10 月に関西哲学会で「人工知能と人類の変容」と題したワークショップを対面とオンラインのハイブリッドで開催し、AI の発展に伴い人間や社会がどのように変容していくのか、またどのように変容していくべきかということ、人工知能研究者の高橋恒一先生、SF 作家の長谷敏司先生、人類学者の久保明教先生をお呼びして講演をしていただいた。また哲学的観点からの論点がフロアから出て、活発に議論が行われた。このことで技術による人間の拡張についての多様な視点からの意見の抽出ができた。12 月には科学技術社会論学会で「アンドロイドとジェンダー問題」と題したワークショップを行った。科学史研究者でジェンダー問題に詳しい隠岐さや香先生にゲストとして講演をしていただき、また本ムーンショットプロジェクトに参画する研究者が、7 月の「アバター祭り」の参加者への聞き取り調査や、アンケート調査で明らかになったアンドロイドに関連するジェンダー問題について発表し、フロアと議論をした。科学技術社会論を専門とする人々の、CA の可能性と課題についての理解を促進すると同時に、科学技術社会論やジェンダー研究の観点からの問題点などのフィードバックを受けることができた。

市民との対話イベントについては、2024 年 3 月にムーンショット目標 1 の新保プロジェクトとの共催で、「メディアコミュニケーションのリデザイン」と題した講演会を対面とオンラインのハイブリッドで実施した。情報技術史研究家の喜多千草先生と古代ギリシャ哲学研究者の中畑正志先生に講演をしていただき、その後、参加者とディスカッションをした。メディアについての歴史的な観点からの CA の位置づけと未来への展望や期待といった論点について多くの示唆を得ることができた。

## (2) アバターに関連する道徳・倫理に関する研究

アバターとのモラルインタラクションに関する実験室実験として、大阪大学と ATR で被験者を集め、生身の人間と CA (テレコに操作者の顔を表示させたもの) が混在したグループで議論をする実験を実施した。また対照実験として CA の代わりに Zoom を使う条件と比較するデータを取得した。この分析結果については 2024 年 7 月の国際会議、ICRES2024 で発表する予定である。

動画作成については、当初はモラルインタラクションに関するシナリオを作って、役者がそれを演じるという動画を作成する予定だったが、予想した以上に予算が必要であることが分かったために、今年度は動画のシナリオなどについての計画を立てるにとどまり、動画の作成については翌年度に実施することにした。その代わりとして上の実験室実験の動画を作成し、それを院生などに見せる予備調査を行っている。

予想外の成果としては、アメリカで CA に対して一般市民が持つイメージについてのアンケート調査を実施した。これによって CA に期待することや懸念されることなどが、日本とアメリカでどのように異なるか、あるいは同様であるかがわかった。日本とアメリカの調査比較はバルセロナで実施されたシンポジウムで報告した。

課題推進者:久木田水生(名古屋大学)

## 研究開発課題4: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

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昨年度から引き続き行い、また、特定の社会的地位にある実在人物の CA の研究開発や利用の段階から社会実装及び受容性に係る課題の抽出を行った。近年、生成系 AI の急速な発展に伴ってディスインフォメーショ

ン対策が各国で強化されるようになっており、CA も「本物の自然人ではない」という文脈、あるいは AI を利用する製品・サービス規制対象となる可能性が現出したので、それらの新たな観点から CA の利用に関する法的問題点を検討した。

**課題推進者:**湯浅壘道(明治大学)

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

当該年度実施内容:

### (1) 意図・状況把握・未来予測

本年度は、ロボット技術として応用することができる人間のさまざまな行動を特定・分類し、それらがロボットのパフォーマンスにどのような影響を与えるかを調査する研究を行った。ロボットが人間の意図を検出し分類するためのアルゴリズムについては、最初のバージョンを開発した。人間とロボットが連携して物体を輸送するタスクにおいて効果を検証した。また、人間の運動軌跡を予測するためのアルゴリズムを実装するために、2つの手法を開発した。2.5秒後の人間の3D骨格運動を予測する方法と、物体の手渡しタスクにおいて人間の3D骨格運動を人間の意図とともに予測する方法である。

### (2) 計画調停とコミュニケーション

ロボット工学において人間とロボットとの計画交渉は新しい分野であり、ほとんど応用がなされていない。そこでまず、人間の場合に意図が計画交渉にどのような影響を与えるのかという点について、科学論文のレビューを行った。これにもとづいて、人間とロボットが連携して物体を探索するタスクにおいて、人間の意図を理解しながら計画交渉を行うアルゴリズムを開発し実装した。また、人間とロボットが強調してナビゲーションをするタスクにおいて、ロボットから人間への計画の提案において、人間の選好がどのように影響するのかについて調査した。

### (3) デモンストレーション

二種類の実証実験を開始した。1) スペイン・バルセロナのカタルーニャ工科大学の数学科に設置してある食堂兼バーの受け付けにロボット Sota を設置し、スペインにおけるロボットや CA の社会受容性について調査を始めた。遠隔操作者は Sota を介して訪問者とコミュニケーションをとった。すでに二週間の予備実験を行ったが、今後システムに改善を加えて、さらに実験を継続する予定である。2) ソーシャルロボット IVO に人間の意図と運動予測のアルゴリズムを実装し、人間とのあいだで物体の手渡しタスクを実施する実証実験を開始した。とりわけ、人間の行動に対してプロアクティブに対応するためのシステムを構築し、性能を評価する。

**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 支援体制チームは前年度と同じメンバーである(小泉智・上野ふき・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係の職員)。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

**運営会議:**第 4 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・国立研究開発法人科学技術振興機構が参加)を 2024 年 2 月 26 日に開催した。各研究開発機関より計 15 の連携機関についての報告、アバター共生社会企業コンソーシアムより 13 の分科会員と 105 の情報会員についての報告、そしてアバター共生社会倫理コンソーシアムより 2 の設計ミーティング会員と 42 の情報会員についての報告があった。

また、当該年度では臨時の運営会議が二度開催された。まず、2024 年 1 月 9 日の臨時会議では、研究開発項目 4 課題 1 の課題推進者・長井隆行の死去により課題推進者を堀井隆斗講師 (大阪大学) へと交代する旨、承認がなされた。次に、2024 年 3 月 12 日の臨時会議では、翌年度より研究開発項目 4 課題 6 の課題推進者を平田雅之から貴島晴彦教授 (大阪大学) へと交代する旨、承認がなされた。

##### 研究開発機関における研究の進捗状況の把握

**サイトビジット:**PM による全課題推進者への第 4 回サイトビジットを 2023 年 5 月から 6 月にかけて行い、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 5 回サイトビジットを 2023 年 12 月に実施した。

**課題推進者会議:**2024 年 1 月 20 日及び 21 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 3 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。最後の全体討論では、2025 年以降も研究開発が継続していく場合に、各自の研究開発課題をさらにディスラプティブで革新性の高いものへと発展させていくべきことが確認された。また、翌年度より開始予定のめきた 2 期地区での大規模実証実験、および、ドバイの Dubai Future Lab.との連携による国際的実証実験の成功にむけて、一層の研究開発の進展を行っていくべきことが確認された。

**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。当該年度も引き続き、全プロジェクト内でソフトウェアやデータセットの共有が大きく進んだ。ソフトウェアについては、昨年までに 5 件の共有があったが、本年度より新たに研究開発項目2課題1(河原)および課題2(猿渡)により音声合成ソフトの高品質版がプロジェクト内で共有された。これは従来共有されていた音声合成ソフトを改善したものである。これにより、遠隔操作者の音声をもとに CA が発する音声が高精度で合成されることが可能となった。精度が向上したことにより、プロジェクト内の多くの研究開発課題において CA に実装され、実証実験の場で利用されている。音声認識や音声合成の基礎技術は CA の対話機能が実フィールドで頑健に働くためには必須の技術であり、今回のソフト共有はプロジェクト全体にとって大きな成果である。また、データセットについては、本年度より新たに 7 件の共有があった。とりわけ、研究開発項目2課題3(東中)より、2 件の対話データセットの共有があった。その一つである大規模タスク指向型対話データセットは日本語では初のものであり、これにより、日本語のタスク指向型対話システムの構築可能となった。CA 利用が想定される商店などでの接客サービスではタスク指向型の対話機能が要求されるため、本データセットの共有により CA の社会実装が一步前進した。

2023 年 8 月及び 2024 年 3 月に実施された第 5 回及び第 6 回の統合実証実験デモでは、各研究開発課題における要素技術の一つの CA へと統合させた成果を萩田 PD はじめとする JST のスタッフに披露した。今年度ではとくに、研究開発項目7課題2(熊崎)や課題3(西尾)における実証実験の様子を紹介することができた。CA が実際に離島の精神科診療において活用される様子や、高齢者が CA を通して社会へと参画する姿を確認することができ、着実に社会実装に向けた取り組みがなされていることを示した。

2023 年 7 月 11 日から 20 日にかけて、大阪咲州 ATC(アジア太平洋トレードセンター)において、「アバターまつり」と題して大規模な実証実験を実施した。本イベントでは、研究開発項目7を中心に本プロジェクト内の技術を結集し、長期にわたって 100 体以上の CA がサービス展開可能あることを実証した。ATC 内に遠隔操作ブースを設置し、一般の方を募集して CA 遠隔操作の業務にあたってもらった。複数体 CA の連携制御を可能する CA 基盤やインターフェースを整備し、一般の方にも複数体同時操作が可能であることを実証した。業務内容としては、設置型 CA として CommU・Sota・ERICA・PUPPET ROBOT を設置し、主に対話によるサービス提供(受付や案内等)を行った。移動型 CA として Teleco・Robovie・HANAMOFLORE を設置し、道案内・警備・商品紹介といった業務を提供した。また、CG-CA として Gene(ジェネ)を展開した。Gene では、遠隔地にいる高齢者(大阪・堺市)や発達障がいなどを有する若者(東京)が操作し、来場者との対話コミュニケーションを実施した。このように、幅広い層の市民の方々に遠隔操作者として参画してもらったことは大きな成果である。来場者も子どもから大人まで幅広い層に CA を体験してもらった。

#### 研究開発課題の追加・廃止

令和5年4月より新たに研究開発項目7課題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」(袖山慶直:ソニーグループ株式会社)及び研究開発項目8課題5「Cooperative Social PIA (Perception-Intention-Action) model for Cybernetics Avatars」(Alberto Sanfeliu:カタルーニャ工科大学)の 2 課題が参画した。前者では、一体の CA を複数人の操作者が連携して操作することで高度なタスクを達成するための、新しい操作アーキテクチャを設計・開発し、介護施設などにおいて高齢者を対象にホスピタリティある行動が可能であることを検証する。後者では、CA と利用者ないし CA と操作者との協調を可能にするシステムを設計・開発する。また、日欧での CA 受容の文化差を比較するための実証実験を、日本側の研究者と協力しつつ実施し、プロジェクト内での国際連携を進める。

研究開発課題の廃止は無かった。

#### ELSI に関する取り組み

研究開発項目8課題1(中野)が主導するアバター共生社会倫理コンソーシアムにおいて、当該年度は国内

シンポジウムと国際シンポジウムを開催し、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様々なステークホルダーと議論をした。国内シンポジウムは 2023 年 7 月 17 日に上記アバターまつりの会場で開催した。ここではとくに「アバター社会実装ガイドライン(草案)」をはじめ公表した。CA 技術を社会へと導入する際の法的・倫理的問題への「配慮」と、それら問題を克服して社会のなかへと「普及」させていくうえでの課題という 2 つの観点から、一般市民を交えて討論を行った。国際シンポジウムは 2023 年 11 月 3 日にバルセロナにて開催した。これは海外で開催された第 1 回目のシンポジウムである。技術問題を討論する討論では、現地の研究開発項目 8 課題 5 (Sanfeliu) を中心して、CA と人間とが協調するための技術的枠組みについて議論した。社会・倫理問題を討論するパネル討論では、現地の研究者と日本の研究者が、日本と欧米という異なる文化圏にまたがって CA を展開する際の間文化的問題について議論した。社会受容性が日本とは異なる文化圏へと CA を導入する際のデザインのあり方などが検討された。

### 国際連携に関する取り組み

当該年度より海外での実証実験の取り組みを進めた。バルセロナでは 2023 年 11 月に、日本とスペインの共同で実証実験を実施した。日本のスーパーマーケットで実施した実証実験のデザインをスペインにおいても採用し、日本とスペインとで異なる結果が出るかどうかを検証した(現在データを解析中)。ドバイでは二度の実証実験を行った。2023 年 11 月の実験では、ドバイの未来博物館に移動型 CA を設置し、日本にいる遠隔操作者が CA を通じた旅行を体験した。遠隔操作者の操作感や旅行感などのアンケート調査を行った。また、受付アンドロイド ERICA を設置して、CA に対するドバイでの社会受容性を調査した。日本での社会受容性との比較を行い、国際文化差比較を行った。2024 年 3 月の実験では、エミレーツタワーズに移動型 CA を設置して、来場者に対する案内業務や展示説明を行った。CA 利用者の行動などを計測し、CA に対する社会受容性の調査と国際文化差比較を行った。令和 6 年度以降は、Dubai Future Lab.との共同研究としてドバイでの実証実験を進めていく予定である。本年度では、日本側の研究機関とドバイとのあいだで共同研究契約を実現するための、様々な取り決めについて検討を進めた。

## (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。

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。また、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。また、今後の特許出願に向けて計 3 件の事案が準備中である。

### 企業コンソーシアムの運営

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」ではアバター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。本年度は新たに分科会会員 2、情報会員 18 の参加があった(総数は 2024 年 3 月末で 142 法人)。従来の 3 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)に加え、本年度より新たにまちづくり分科会と FA 分科会を設置し、検討を進めている。また、全体的取り組みとしては、第 7 回アバター技術社会実装情報交流会を開催し、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。大阪市にも登壇いただき、CA の社会実装の際にスーパーシティ型国家戦略特区の制度を活用するアイデア

について議論を行った。

### 事業化戦略

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」などのサービスを提供している。AVACOM は国内最大級の保険選びサイト「保険市場」にてコスト削減(接客人員の人件費)と売り上げの向上を実現したことを皮切りに、本年度も様々な業種において導入が進められた。2023 年 10 月には導入数が前年同月比で 1,492%を達成した。また ChatGPT を活用したアバターチャットボット機能を実装し、改良を進めた。株式会社ローソンと共同で、コンビニエンスストアにおけるアバター接客の規模も拡大した。2023 年 6 月には九州エリアの店舗で初めてアバター接客を導入した。全国からアバターオペレータを公募し、遠隔操作で接客・販売促進等の業務に就いてもらった。今後さらに店舗数を増やしていくことで、CA 活用による雇用創出のさらなる拡大へとつなげていく。さらに、AVITA では三重県明和町と共同で地方創生事業にも取り組んでいる。「めいわデジタルプロジェクト」のもとで、十二単衣を着衣するデザインが印象的なオリジナルアバターを作成するなど、CA 技術を通して住民にとって魅力的なまちづくりを推進した。その他にも AVITA では多数の企業・団体と積極的に連携し、着々と事業化を進めているところである。

### (3) 広報、アウトリーチ

**報道:**PM が NHK 大阪放送局の番組「ぐるっと関西おひるまえ」や、NHK の番組「関西 NEWS WEB」など、計 2 回のテレビ出演を行った。PM 以外にも、研究開発項目 4 課題 5(平田)の BMI 技術が数多く取り上げられるなど、日本において計 9 回の出演があった。また、スペインを拠点とする研究開発項目 8 課題 5(Sanfeliu)も現地のテレビ番組に積極的に出演し、スペインにおける CA 技術の広報に精力的に取り組んだ。その他、多数の新聞や雑誌の取材に対応したり、多数のプレスリリースを発出するなど、積極的に広報に努めた。

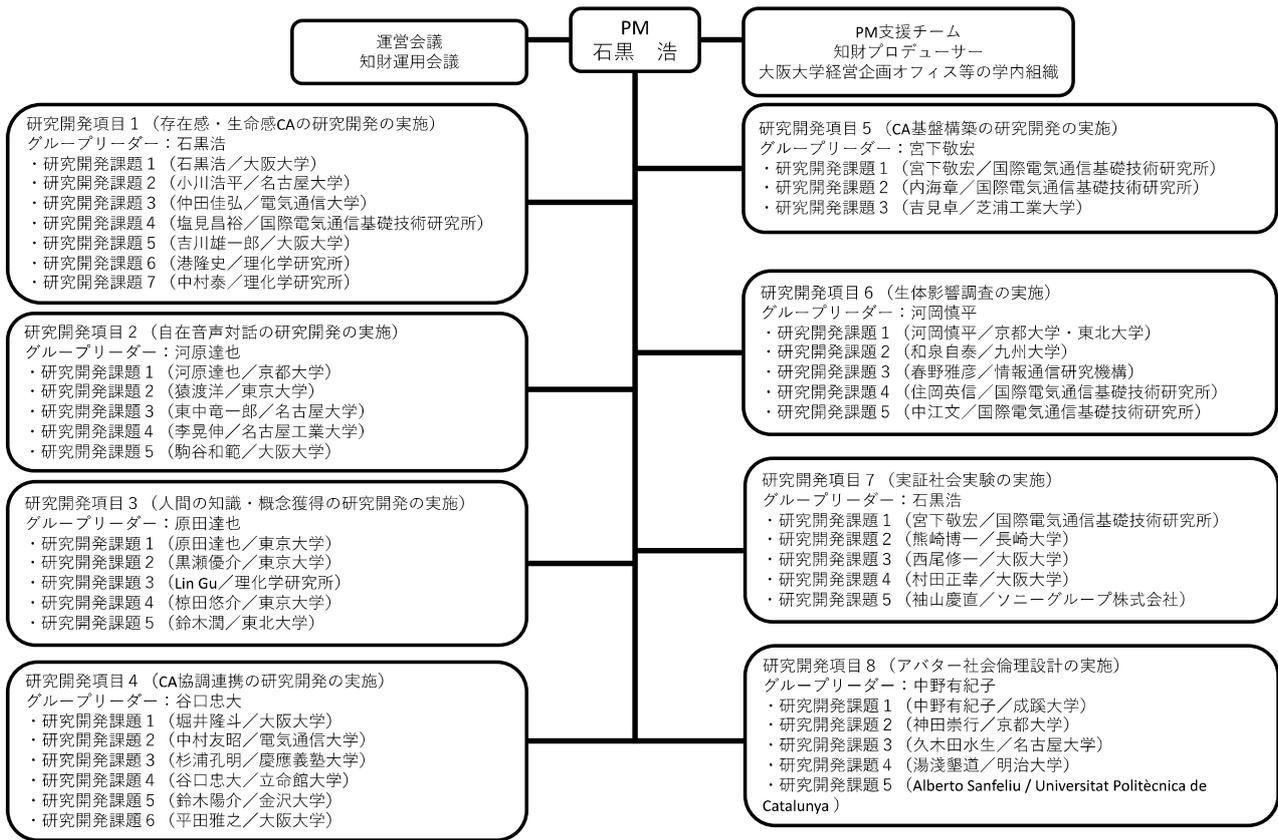
**アウトリーチ:**シンポジウムやワークショップ開催などのアウトリーチ活動については、プロジェクト全体で計 6 件行った。本年度においてはとくに海外にて初となるシンポジウムを開催した。スペインにおいて開催し、欧州におけるロボットや CG エージェントの社会受容性について、市民を交えて議論を行った。その他、広く市民・学生が参加できるイベントでの講演も多数あり、社会の様々な層に本プロジェクトの意義を説明することができた。

**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、今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 13 本を公開した(計 26 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 8 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内で共有されたデータは 4 件あった。プロジェクト外においても広く公開されたデータは 2 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	101	45	146
口頭発表	112	62	174
ポスター発表	26	21	47
合計	239	128	367

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	7	92	99
(うち、査読有)	5	89	94

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	4	0	4
書籍	4	0	4
その他	4	1	5
合計	12	1	13

受賞件数		
国内	国際	総数
22	12	34

プレスリリース件数
9

報道件数
85

ワークショップ等、アウトリーチ件数
6