



## 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

## 2022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



## 研究開発プロジェクト概要

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

[https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/11\\_ishiguro.html](https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/11_ishiguro.html)

## 課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
石黒 浩	大阪大学 大学院基礎工学研究科	教授
小川 浩平	名古屋大学 大学院工学研究科	准教授
仲田 佳弘	電気通信大学 大学院情報理工学研究科	准教授
塩見 昌裕	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 インタラクション科学研究所	室長
吉川 雄一郎	大阪大学 大学院基礎工学研究科	准教授
港 隆史	理化学研究所 情報統合本部	チームリーダー
中村 泰	理化学研究所 情報統合本部	チームリーダー
河原 達也	京都大学 大学院情報学研究科	教授
猿渡 洋	東京大学 大学院情報理工学系研究科	教授
東中 竜一郎	名古屋大学 大学院情報学研究科	教授
李 晃伸	名古屋工業大学 大学院工学研究科	教授
駒谷 和範	大阪大学 産業科学研究所	教授
原田 達也	東京大学 先端科学技術研究センター	教授
黒瀬 優介	東京大学 先端科学技術研究センター	助教
Lin Gu	理化学研究所 革新知能統合研究センター	研究員
棕田 悠介	東京大学 先端科学技術研究センター	講師
鈴木 潤	東北大学 データ駆動科学・AI 教育研究センター	教授
長井 隆行	大阪大学 大学院基礎工学研究科	教授
中村 友昭	電気通信大学 大学院情報理工学研究科	准教授
杉浦 孔明	慶應義塾大学 理工学部	教授
谷口 忠大	立命館大学 情報理工学部	教授
鈴木 陽介	金沢大学 理工研究域	助教
平田 雅之	大阪大学 大学院医学系研究科	特任教授

課題推進者	所属	役職
宮下 敬宏	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 インタラクション科学研究所	所長
内海 章	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 インタラクション科学研究所	室長
吉見 卓	芝浦工業大学 工学部	教授
河岡 慎平	京都大学 ウイルス・再生医科学研究所 東北大学 加齢医学研究所	特定准教授 准教授
和泉 自泰	九州大学 生体防御医学研究所	准教授
春野 雅彦	情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター	室長
住岡 英信	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 石黒浩特別研究所	グループリーダー
中江 文	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 石黒浩特別研究所	主任研究員
宮下 敬宏	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 インタラクション技術バンク	バンク長
熊崎 博一	長崎大学 生命医科学域	教授
西尾 修一	大阪大学 先導的学際研究機構	特任教授
村田 正幸	大阪大学 大学院情報科学研究科	教授
中野 有紀子	成蹊大学 理工学部	教授
神田 崇行	京都大学 大学院情報学研究科	教授
久木田 水生	名古屋大学 大学院情報学研究科	准教授
石井 夏生利	中央大学 国際情報学部	教授
新保 史生	慶應義塾大学 総合政策学部	教授
湯浅 壘道	明治大学 専門職大学院	専任教授

## 1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

### (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。

このなかで石黒がPMを務める本プロジェクトでは、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して生み出された代表的な成果は以下の通りである。1) 存在感CAに対して表現力豊かな振る舞いを設計することにより、操作者はCAを通してホスピタリーある振る舞いを行うことができるようになった。CAの動作は自動生成されるため、操作者は明示的な操作をせずとも、いつでもどこでも表現力豊かに振る舞うことができる。2) 抱擁型CAの開発により、CAを通して利用者に対してリラックス対話を提供することができることを、心理評価によって確認した。親しい人以外との抱擁しながらの対話は心理的抵抗が大きく、そもそもCAを介さなければほとんど不可能である。CAによる抱擁技術は操作者の能力拡張に貢献する。3) モラルコンピューティング技術により、操作者の不適切な言動をセンシングし、不適切な操作を無効化することができるようになった。また、操作者のモラル上不適切な発言を適切な発言へと変換することで、誰でもCAを通してモラルある言動ができるようになった。

以上のように、CA技術により、モラルがあり、ホスピタリティある対話行動が可能となることを示すことができた。

**複数体CAの連携・強調技術:**複数CAの同時操作に関して生み出された代表的な成果は以下の通りである。1) 複数体CAが強調して動作するためのプランニングアルゴリズムにより、マニピュレータを有するCA同士が物体把持を伴う家庭内の片付けタスクや配膳タスクを協調して実行できるようになった。協調無しの場合よりも作業効率や操作負荷などが改善したことが確認された。2) 自律対話と遠隔対話を組み合わせる自在対話技術の開発が進み、一人の操作者が複数のCAを同時に操作しながら複数の利用者を相手にモラルある対話を行うための基礎技術が開発された。3人の利用者に対して同時並列に傾聴及びプレゼンテーション対話が可能であることを確認した。3) CAが自律的に環境を認識・予測する技術として、例えば非剛体物体の四次元モデリング技術などを大きく進展させ、人間の身体など、時間とともに変形する対象の認識精度を大幅に高めた。CAの自立機能を向上させることで、操作者の負担が減り、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。

以上のように複数体の CA を連携させるための基盤となる技術が多数開発された。

**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。とりわけ社会的に大きな注目を集めたのは、デジタル庁の河野太郎大臣による CA 遠隔操作公務の実証実験であった。河野大臣は商業施設に設置された河野大臣に酷似した CA を議員会館から遠隔操作することで、通行人に対してデジタル庁の取り組みについて説明を行ったりした。本実証実験を通して、公人による CA 利用の社会受容性について検討した。印象評価の結果、多くの人が 目の前に大臣本人が来て話していると感じ、話が届きやすいと感じていることが判明し、CA のホスピタリティのある対話行動を実証できた。その他の実証実験としては、精神科医療の現場における CA 活用の医療的効果を検証するために、精神疾患を有する患者に CA の遠隔操作を通して医療人と対話をしてもらった。実際に緘黙(かんもく)症状の改善を確認し、CA 活用が精神科医療にもたらす効果について大きな科学的知見を得ることができた。高齢者の CA 遠隔操作による教育・医療現場での就業についても引き続き検証を進め、高齢者により複数体の CA を操作して複数のタスクを実行可能であることが確認できた。ただし、高齢者のなかには操作になかなか馴染めない方もいる。今後、より直感的に分かりやすい操作インターフェース、及び、操作の教示・訓練方法について検討を進める。大阪府堺市に実証実験拠点として高齢者遠隔操作ブースを開設した。今後はここを拠点にして、集中的・効率的に実証実験を運営していき、高齢者による操作性の課題を解決する。

以上のように、多様な実証実験により、CA 技術が多様なフィールドにおいて活用できることが示された。

**生体影響調査:** 当該年度は主に、従来型の遠隔対話システム(Zoom など)やテレビゲーム等を利用した際の血液データ等を採取し、マルチオミクス解析を行った。解析の結果、それらの利用が免疫細胞の遺伝子発現や代謝に与える影響が明らかとなり、被験者を生体応答の仕方によって層別化することができた。遺伝子発現変化による層別化と代謝動態による層別化のパターンは異なっており、双方の情報を取得することの重要性が明らかとなった。

**倫理・法的問題:** 当該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。シンポジウムを二回、国際ワークショップを三回、倫理セミナーを六回開催した。法的問題については、引き続きプライバシー問題・法制度問題・公人 CA の問題という観点から論点の整理や知見の集積を行い、成果を論文として公表した。

### (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:** 研究開発のスピードを高めるために、当該年度においても引き続きプロジェクト内での連携を大いに推進した。当該年度における主たる進展は、プロジェクト全体でソフトウェアやデータセットの共有が大きく進んだことである(計6件)。とりわけ音声関係の基礎研究を担うグループから多数の技術が提供されることとなった。

**事業化:** PM 自身が設立した AVITA 株式会社では主に CG-CA の事業化が着々と進んでいる。デジタルヒューマンなど活用したりリモート接客サービスの提供や、コンビニエンスストアでのアバターオペレーターへの雇用創出などに取り組んだ。

**国際連携:** PM は国際的な会議において実際に存在感 CA を用いて講演を行い、世界の研究者や政府関係者に対して本プロジェクトの CA 技術の有用性を訴えることができた。

**アウトリーチ:** 当該年度における主たる成果は、プロジェクトのホームページ上で、本プロジェクトの成果を動画として公開したことである。現在のところ計 13 本の動画が公開されており、研究開発の内容を一般の方にも分かりやすく伝えることができた。

## 2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

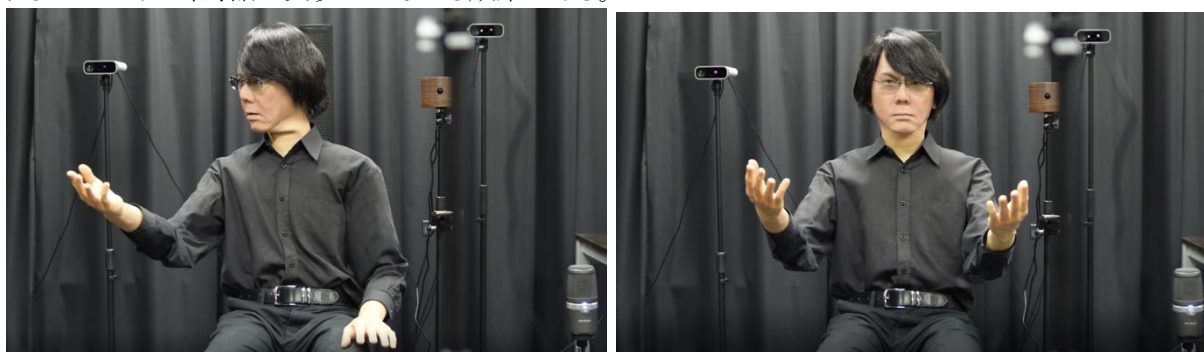
### (1) 研究開発項目1: 存在感・生命感 CA の研究開発

#### 研究開発課題1: 存在感 CA の開発と高臨場感インターフェースの研究開発

当該年度実施内容:

##### (1) 存在感 CA の研究開発

本年度は、ジェミノイド HI-6 に対して、日本らしい所作の専門家と共同で身振り手振りをデザインし、本人よりも表現力豊かな振る舞いをする事ができる存在感 CA を実現した。課題推進者の石黒本人が本 CA を通して学会やシンポジウムにおいて講演を行い、特別なトレーニングがなくとも、表現力豊かな身振り手振りを通して聴衆に訴えかける講演を行うことが可能であることを確認した。本プロジェクトが目標として掲げるホスピタリティ対話の実現につながる成果である。



本 CA を通じて実施した講演会では、参加者に終了後のアンケートを実施し、本 CA の存在感に関する印象調査を行った。調査の結果、講演会の参加者は本 CA を擬人化して認知していること、本 CA に有能さを感じていること、本 CA に不快感を感じていないこと、本 CA を通した講演に教育的効果を感じていることについて、平均点以上のスコアを確認した。とくに擬人化(外見)、教育的効果(集中)、教育的効果(モチベーション)、教育的効果(わかりやすさ)の項目では高スコアを獲得した。

操作者に CA が自分の体であると感じさせるための遠隔操作インターフェースの開発に取り組んだ。遠隔地の映像をそのまま操作者に提示するのではなく、様々なエフェクトを加えることで、認知的な臨場感を与えることを目指した。具体的には、CA が視線を移動した際にぼかしを加えたり、呼吸リズムを模した上下の揺れを加えたりすることで、操作者が CA の体験を一部共有できるようにした。

##### (2) CG-CA の研究開発

スクリーン上に投影された CG-CA が環境内の様々な事物に対して視線を向ける様子をモデリングするために、被験者実験を実施し、CG-CA の視線の向きを様々な位置から被験者に評価させ、データを収集した。その結果をもとに、スクリーンと被験者との角度と、CG-CA の頭部回転角度との交互作用を考慮した視線制御モデルの構築を行い、CG-CA が環境内の事物に対して自然に反応するための技術を開発した。

##### (3) CA 自在操作インターフェースのシステム開発

1人の操作者が同時に2台以上の CA を操作するためのインターフェースを開発し、その評価のために様々な場所で実証実験を行った。例えば空港の販売店舗での実験では、1人が2台以上の CA を操作することによる販売促進効果を検証し、推薦商品の売上率が 130%以上、店舗全体の売上も 110%以上増加したことが確かめられた。今後は CA の視線操作に関わるストレスを軽減するために、視線制御のモデルを構築し、操作時のストレス低減をいっそう目指していく。

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

CA を遠隔操作しながら現地の人(対話者)と対話する際のインターフェースには、対話者に加えて、後ろを通行する他人や時計、おもちゃ、商品棚など多くの情報が表示される。その中には、対話に必要な情報も含まれ、それらは操作者の認知的負荷を増大させることが知られている。本年度の研究では、必要の無い部分に自律的にブラーをかけ、情報量を適切に低減させるシステムを構築した。

ブラーを用いて情報量を低減させた場合、操作者の認知的負荷が低減されるか、臨場感を阻害されることはないかを、すべての情報を表示する場合と比較することで、システムを評価したところ、ブラーを用いることで、臨場感を保ちながら、認知的負荷を低減できることが示された。

#### (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

少数のオペレータが多数の自律エージェントを同時に操作する状況において、操作者が操作を開始する際に、自律対話時になにが起きていたのかを理解することは、人-CA 協働システムにおいて重要な問題である。これに対して本年度は、複数人の操作者が複数体の CA を操作する状況において、他の操作者及び自律 CA が対話者で行っている対話の状況を示す情報を、実時間で表示するインターフェースのプロトタイプシステムを構築した。構築したプロトタイプを評価するため、大阪エキスポシティ内の水族館ニフレルにて1ヶ月間、当該システムを運用する実証実験を実施した。ニフレルでは、6 台の CA を2名のオペレータが常時操作することで、来場者に動物や施設に関する情報を提供した。実証実験を通じて2000人程度の来場者との対話及び、1000回程度の、CA に対するオペレータの介入事例を収集できた。これにより、プロトタイプシステムが実世界においても一定程度動作することが確認できた。

その際、複数地点の文脈理解に必要な情報は何かをオペレータへのインタビューにより収集できたことから、これらのデータは、今後より使いやすい CA の操作インターフェースのデザインに生かすことができると考える。

課題推進者: 小川浩平(名古屋大学)

## 研究開発課題3: 人間型移動ロボット存在感 CA の研究開発

### 当該年度実施内容:

#### (1) 移動可能な存在感 CA のための電動アクチュエータユニットの開発

存在感 CA の頭部を開発した。また、存在感 CA の表情や視線を操作者のそれと同期させるための操作インターフェースを開発した(図1)。アクチュエータユニットと移動機構の車輪について実験によって動作を確認した。手については構造の試作を行った。移動中の人らしい状態の揺れについては、シミュレーションモデルを作成して検討した。



図1 アンドロイド・アバター「Yui」

## (2) 操作者の動作を子どもらしい動作に変換する機能の開発

存在感 CA の操作は、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用いている。眼球、瞼、頬、口の動きを、ヘッドマウントディスプレイを装着した状態で計測し、計測したデータに基づいて、存在感 CA の顔の対応する駆動用モータを動作させた。操作者の動きをどの程度、存在感 CA に反映させるかについては、システム上で調整可能とすることで、動きが変換できるようにした。

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 によって心理的な安心感をもたらすことが出来るかを検証するため、被験者を対象とした実験室実験を実施した。具体的には、これまで開発を進めてきた抱擁型生命感 CA を用いて、被験者が他人を抱擁して対話したり、被験者が抱擁型生命感 CA に抱擁されたりする体験を伴う実験を行った。

実験には30人の被験者が参加し、それぞれの体験を行った後、アンケートで主観的な印象を計測した。具体的には、被験者がこの抱擁型 CA を用いて親しい誰かと対話する場合、および親しい誰かがこの抱擁型 CA を用いて被験者と対話する場合をそれぞれ想定し、抱擁型 CA を用いることで心理的な安心感がそれぞれ増加しうるかどうか、についての11段階アンケートである。その結果、平均値はいずれも8以上となり、中央値を有意に超える結果となった。すなわち抱擁型生命感 CA を用いることで、自身や対話相手に対する心理的な安心感を増加させられることを確認できた。

### (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、視覚誘導性被接触感覚を想起させる UI を開発し(図1)、視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、利用者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を実装した。また、その触れられた部位をオペレータ側の UI で可視化する機能も実装した。この UI を用いて、オペレータの視点が一人称・三人称・遠隔地映像視点に変化した場合、どのような印象変化をもたらすかを検証した。



実験には 37 人の被験者が参加し、触れ合いを伴う対話を CA 越しに行った。その際に、視点や可視化機能の有無で視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。タッチ可視化・操作視点・CA の性別・参加者の性別という 4 要因の影響を検証した結果、不快感および状況の理解しやすさにおいて、タッチ可視化要因が有意に影響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、視覚誘導性被接触感覚をより強くもたせることを確認できた。今後、不快感を減らしつつ、被接触感覚を強くもたすための UI 改良を進める予定である。

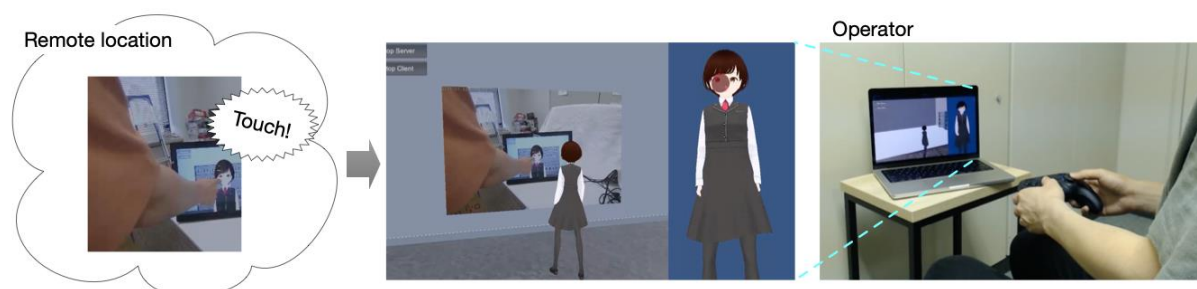


図 3 視覚誘導性被接触感覚を想起させる UI の動作例と、触れた部位が可視化された様子

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

当該年度は以下の課題に取り組んだ。

- (A) ダイレクトドライブモータを用いて、完全無音で動作する生命感 CA (テレピー) の開発
- (B) 本生命感 CA の機構を踏襲し、移動機能を持たせた廉価版の CA (移動テレコ) の開発
- (C) 既存 CA (Sota100、コミュニー) を用いた実証実験

(A) のテレピーの開発においては、動作音の有無による効果を比較する実験を行い、無音動作の CA は高い経験性と主体性が評価される可能性を示した。(B) の移動テレコの開発においては、頭部前面の有機 EL ディスプレイに、オペレータの表情を別人の外見で描画したり、様々なキャラクターの顔面を描画したりすることにより、CA における多様な人格・感情表現機能を開発した。また、当該 CA を、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搭載し、人間の歩行を模倣した移動時の動作により、CA の移動意図を表現可能であることを示した。そして、予備的な心理学実験を実施し、遠隔操作で人とかわる場合に、身体動作を伴う音声および移動の複数のモダリティを用いる条件において、75% の操作者が当該 CA を自分の体であると感じることを確認した。(C) の実証実験においては、4 月～7 月の期間、6 回、合計 14 日の間、小学校の高学年の教室に従来型 CA (Sota100) を導入し、複数オペレータによって、授業・休み時間の見守りを実施し、実施期間前後で、生徒の学校生活満足度 (Hyper-QU)、発表や休み時間の過ごし方において改善を認めた。5 歳児の健診において、複数の CA を用いて、子どもの認知発達を評価することを目指しデータ収集に取り組んだ。その他、特別支援施設や、中学生を対象とした英語教育、精神科病院といったフィールドにおいて多くの実証実験に取り組んだ。

### (2) 連携対話の研究開発

当該年度は、利用者との間で対話を破綻無く継続する CA の対話機能として、同一箇所で使用される複数の CA を連携させる対話システムの実現に向け、以下の課題に取り組んだ。

- (A) 2 体の CA を連携しながら対話する機能の開発
- (B) 複数の CA を連携することで自律機能と遠隔操作の間の移行を支援する機能の開発

### (C) 一か所で複数の CA を同時に使用する実証実験

(A)においては、操作者のある種の発言に応じて、CA がフォロー発言を行うことで、操作者の対話における罪悪感を低減する支援効果を確認した。2体 CA を用いて対話できるシステムにおいて、操作者の発言を生成する CA を自動的にスイッチさせる機能を開発し、操作者の対話における主観的発言権、被支援感を増加させる支援効果を確認した。さらに、研究開発項目4課題1(長井)と協働し、物理的作業をする CA(トヨタ社製 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 間対話の評価実験に取り組んだ。

(B)においては、自律対話機能を持つ 2 体の CA を複数地点に設置し、少数のオペレータにより、複数地点での対話サービスの同時提供が可能な CA 制御システムを開発した。書店において、商品推薦の対話サービス提供の実証実験を実施し、オペレータの操作における心理負担の軽減が可能であることを示した。1 人の主操作者が 2 体の CA を用いて 2 か所(すなわち 1 人で 4 体)で利用者と対話することができている。

(C)においては、移動機能を持つ CA を用いて、訪問客に接近・対話・誘導し、自律型・設置型 CA に対話を引き継ぐシステム、設置型ロボットや来訪客に接近・離反しながら対話する連携対話システムを開発し、実証実験を実施した。特別支援施設において、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)を用いて、研究開発項目7課題2(熊崎)と連携し、発達障害の青年グループに対する面接訓練の評価に取り組み、非言語能力の改善効果を示した。さらに、近接した地点間で使用される CA 間のクロストークや環境音ノイズを低減するための音声の変換法およびサウンドマスキング法を提案し、対象音を聞き取るパフォーマンスを改善させる効果を確認した。

**課題推進者:** 吉川雄一郎(大阪大学)

## 研究開発課題6: 存在感 CA の自在動作生成の研究開発

### 当該年度実施内容:

#### (1) 操作者の状態を表出する存在感 CA の動作の自動生成

まず、存在感 CA の開発として、本年度は、存在感 CA の頭部を開発した。顔部のデザインは、一見人に見えるが性別や人種等が特定されないようなデザインとし、誰が操作しても違和感のない CA を開発した。頭部の皮膚は簡単に交換可能な仕組みを導入しており、実在する人物に似せた CA に変えることも可能である。さらに、人を超えるような表出能力を持たせる試みとして、CA の皮膚下に LED デバイスを埋め込む検討を行った。

操作者の内部状態は、CAと相対している利用者の言動や内部状態にも影響されるため、利用者の言動理解と内部状態推定も必要になる。その第一歩として、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)ことを試みた。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、意図を推定する研究を進めている。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タスクにおいて、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結果が得られた。

CA の動作生成に関しては、上半身のジェスチャ生成の研究において、動作のバリエーションを豊富にするため Conditional GAN(条件付き敵対的生成ネットワーク)に基づく手法に取り組んだ。今年度はこのモデルの拡張として、条件として韻律特徴の他に、動きの大きさと速さを表現するラベルも入力することで、生成された CA のジェスチャ動作により、話者のテンションおよび外向性の印象を変えることができることを、被験者実験を通して検証した。なお、より滑らかな動きを生成するため、Denoising Diffusion Model という比

較的新しい深層学習法を応用し、被験者実験を通してその効果を検証した。

CAが複数人と対面した対話における視線制御の研究においては、昨年度から、対話の役割(話者、メインの聞き手、サブの聞き手など)に応じた視線を合わせる率と視線を逸らす率に関する確率密度分布を学習し、逸らす場合の黒目の方向も取り入れたモデルを提案してきた。今年度は、小型ロボット CommU およびアンドロイド NIKOLA の視線制御に実装し、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は、同じ音声でも異なった外向性の印象を与えることを、被験者実験を通して検証した。

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、講演中の丁寧なジェスチャや、受付業務の基本的な動作(挨拶や案内動作)において利用者への気遣いを感じさせる動きを実装した。操作者は簡単な操作によって、(自分以上に)丁寧な CA の振る舞いを生成することができる。

## (2)操作者の複数人格を同時に表出する複数存在感 CA の動作の自動生成

状況推定については、上記(1)で記載した通り、人の意図(人の未来の行動)を推定する手法を構築した。検温消毒の例では、人に注意する場合と、人にお礼を言う場合を認識できることになり、それぞれの振る舞いのための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ている。上記(1)でも記載した通り、視線やジェスチャの動作生成モデルに対し、複数人格を表出する機能についても研究開発を進めている。ジェスチャ生成については、外向性を表出することができており、視線制御においては、外向性が異なる話者のデータを用いてこの視線生成モデルのパラメータの違いを分析し、同じ声でも、視線生成モデルのパラメータを変えることで、外向性の印象が変わることを、被験者実験を通して検証した。目が誇張された人型ロボット CommU でも、人間の姿をしたアンドロイド Nikola でも同様の結果が得られた。さらに、モデルパラメータを連続的に変えることにより、外向性の印象がどのように変化するのかについても現在検証を進めている。なお、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現在調査中である。

同時に複数人格を表出する際に、人格切り替えで操作者が失敗する可能性があり、それが発生した場合に特定の相手には特定の人格が「ぶれない」ような人格補正処理に関しても現在検討中である。その一環として、話者変換および感情音声変換についても研究を進めている。感情音声変換においては CycleGAN の深層学習モデルに基づく手法を試みてきた。話者変換においても、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も成功している。

**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

当該年度は、対話中の CA の動作をモデル化するために、所作の専門家と一般人のそれぞれについて対話の際の動作データを収録した。これらのデータをもとに任意のマスク部分に対する推論を行うことが可能な拡散モデルの定式化を行い、前年度から用いている手法よりも高品質な動作の生成を行うことが可能な枠組みを構築した。逆強化学習によるインタラクション動作学習の研究として、ショッピングモールのフードコート前で通行客に手指の消毒を依頼する受付ロボットの開発を行った。まず、最初に遠隔操作システムを構築し、逆強化学習を適用することで、操作に慣れた人間よりは低度であるものの練習中の人間の操作よりは高度のパフォーマンスを持つ方策を獲得できた。次に、逆強化学習で得た方策を強化学習を用いて

追加で学習することにより、操作に慣れた人間（逆強化学習の模倣のターゲット）よりも高いパフォーマンスを実現する方策を獲得できることを示した。以上は実証実験によって確かめられた結果である。最後に、一人称視点データ取得のためのロボット、センサシステムの開発を行った。これまでは二人の対話の様子を三人称視点で収録したデータを用いてモデル化を行ってきた。ところが、三人以上の対話の収録においてはオクルージョンなどの影響があるため、一人称視点のデータの取得を行うことが有効である。そこで、ロボット視点での対話動作のデータ収集装置の構築を行った。今後は実際にデータを収録していく。

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・カフェや展示場・ホールのように多数の人がいる実環境において、話し言葉音声データを収録した。その上で、周囲の雑音や BGM などから、目的となる話者の音声を分離・強調し、発話区間を検出した上で、自動音声認識を行うシステムを構築した。音声分離・強調については、課題2 (猿渡)と連携して開発を行った。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処理系を最新の深層学習モデルを用いて構築した。騒音環境下の原音声を既存の音声認識システムで処理した場合の認識率は 64%であったが、本システムにより 86%まで改善することができた。

#### (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。話し相手の社交笑いや大笑いに対応した共有笑いの生成に関する研究を論文発表したところ、英国 Guardian, Telegraph, Independent, BBC World など数多くの海外メディアで取り上げられた。国内でも報道発表を行い、大きな反響を呼んだ。さらに、これまで開発してきた傾聴対話や説明・プレゼンテーション対話に加えて、面接・面談を行う対話システムの評価を行った。就職面接の練習を行うシステムについては、大学のキャリアサポートセンターの協力も得て評価を行った。このシステムの応答を評価したところ、適切に生成できている割合は 77.5%であり、(人間の対話に比べて)面接練習として効果的と考えられる割合は 77.1%であった。

#### (3) 自律対話と遠隔操作対話の切替え・融合

自律対話と遠隔操作対話を融合した自在対話システムの制御機構の設計と実装を行った。定型的な紹介や受け答えは自律で行い、人間関係の構築や自律での応答が難しい部分は人間が遠隔で行うことで、1人の操作者が複数の CA を用いた自在対話を実現した。自律対話システムから操作者にどのようなタイミングで切り替えればよいか検討を行った。傾聴対話においては、システムの応答の種類と頻度に基づいて対話の活性度(利用者のエンゲージメント)を評価することができることを発見し、これが低くなった利用者に優先的に切り替えることとした。プレゼンテーション対話においては、利用者から出される質問に答えられない場合に操作者に切り替える必要があるが、それが複数あった場合に、質問の客観性と長さ(=複雑さ)に基づいて優先度を設定することとした。これらについて、特許出願を行った。

さらに、傾聴とプレゼンテーション対話についてシステムを実装し、3名の利用者に対して同時並列に対話を行えることを確認した。被験者による対話実験を行ったところ、7段階の主観評価において、人間が1対1で遠隔操作している場合が平均6.2であったのに対して、3並列の本システムでは平均4.4となり、70%以上の性能となっていることを確認した。

課題推進者:河原達也(京都大学)

## 研究開発課題2:音響情報処理・音声変換の研究開発

当該年度実施内容:

### (1)多様な利用者に対応できる自律 CA 用音声合成

自律 CA が多様な利用者に対応するには、特定の CA 個性に限定されない多様かつ柔軟な音声合成技術を開発する必要がある。そのために、合成音声の自然性、再現可能な個性、再現に係る即時性のそれぞれの向上について研究開発した。本年度は、前年度よりも多数(1000 人程度)の操作者の個人性を高精度に再現する音声合成技術を開発した。評価の結果、1000 人の話者について、5 段階主観評価で 4.0 に接近するスコアを確認した。併せて、音声合成の制御性改善に向け、人間の知覚評価に基づく合成対象話者の探索技術、性別・母語などのカテゴリカル属性の補間が可能な非実在話者の音声合成技術、合成音声品質と発話感情を高精度に予測する深層学習技術を提案した。

### (2)自律 CA 発話と遠隔操作発話を同化させる音声変換

CA 発話と遠隔発話をシームレスに融合するには、上記(1)で開発する自律 CA の合成音声と、遠隔操作者による遠隔音声を、違和感なく切り替える必要がある。この際、合成音声と遠隔音声の個人性の不整合により利用者に違和感を与えてしまうため、遠隔音声を合成音声に整合させるための音声変換技術を開発する必要がある。本年度は、前年度に開発した音声変換ソフトウェアを改良し、あらゆる話者の音声を所望のアバター音声に高品質かつ実時間で変換可能なソフトウェア基盤の整備を進めた。現在、当該ソフトウェアの利用形態及びライセンスについて最終確認を進めており、次年度の早い時期に MS 全体向けに共有予定である。

### (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。本年度は収録音声の強調・伝送処理に関して、課題推進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について研究開発を行った。具体的には、話者方向から到来する拡散性雑音も抑圧できるブラインド音声抽出手法に関して、オンライン処理アルゴリズムを実装した。本音声抽出手法に関して実環境を模擬した騒音環境にて実験評価を行ったところ、音声認識性能(文字誤り率)は 20%以下となった。これは音声認識率として換算すると 80%以上と見做すことができる。また、本オンライン処理ソフトウェアを MS プロジェクト全体へ展開した。

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

話し相手に関する対話サービスについて、14,000 対話を含む大規模な雑談データを収集し(京都大学との連携による)、事前学習済みの対話モデルをファインチューニングすることで、話し相手となる雑談対話システムを構築した。クラウドソーシングで被験者を集め、リアルタイムに対話を行なう評価実験を行っても

らったところ、情報量・親しみやすさ・満足度の各観点について、5段階で情報量 3.76 点 (75.2%)、親しみやすさ 4.64 点 (92.8%)、満足度 4.04 点 (80.8%) の平均スコアを得た。このことから、70%のタスク達成率を達成したと考えられる。(ここで、雑談対話においては満足度の高い対話を行なうことをタスクと捉えている。)これは最先端のスコアであると言える。

案内およびプレゼンテーションに関する対話サービスについては、ニフレルにて実施した実証実験の対話ログのうち、自律対話(大規模言語モデル GPT3 を活用)のみの設定で実施された際のシステム発話に、適切か適切でないかのアノテーションを付与したところ、利用者がロボットに話しかけている 773 発話のうち 73.7%の 570 発話に対して適切な応答ができていたことが確認できた。これにより、案内およびプレゼンテーションにおいて70%のタスク達成率を達成したと考えられる。このパフォーマンスは大規模言語モデル ChatGPT を越える。利用者に知識を伝える自律対話システムのベンチマーク Open Domain KGD(Knowledge Grounded Dialogue)では、ChatGPT のスコアは 48%である。

## (2)対話状況理解および可視化

対話状況の理解を、対話履歴から作成された要約(対話要約)を読むことで元の対話の臨場感が伝わることとしたうえで、対話要約手法の評価を実施した。対話要約手法として、我々が提案する対話形式の対話要約(Dialogue summary in dialogue format; DFS)を用いた。対話履歴から DFS を複数作成し、クラウドワーカーが対話履歴と DFS から伝わる臨場感の高さを 5 段階で評価したところ、対話履歴そのまま(要約なし)の場合 4.0 点、DFS の場合 3.7 点だった。対話履歴をそのまま読んだ際の対話状況理解を 100%とすると、DFS は 92.5%の対話状況理解を達成していると言える。このことから、雑談において70%の対話状況理解が達成されたと考えられる。認知コストは要約の読みやすさによって測定した。対話履歴と DFS に対して、読みやすさを 5 段階で評価したところ、対話履歴 1.9 点、DFS3.0 点だった。読みやすさはおよそ 1.58 倍となっており、50%以上改善している。このことから、50%の認知コスト削減を達成したと考えられる。

案内およびプレゼンテーションに関する対話サービスについて、ニフレル実証実験におけるオペレータに対する介入時アンケート「やり取りの情報は介入に有用でしたか?」の結果、5段階評価で、DFS は 4.11 点 (82.2%)だったため、70%の対話状況理解を達成したと考えられる。認知コストについては、DFS は対話履歴の40%程度の長さの文字数となっていたため、50%の認知コスト削減を達成したと考えられる。

## (3)対話制御および制御インターフェース

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。クラウドソーシングを用いて、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)、50%、25%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、50%や 25%の場合も対話の満足度が 5 段階中 3.5 を上回っていることが確認でき、質の高い対話ができていることが分かった。これにより、オペレータの対話コストを30%以上削減しながらも質を担保した雑談対話を実現できることを確認した。話者切り替えのスムーズさについてのオペレータ評価も 50%の場合 3.76 点、25%の場合 3.92 点と高く、切り替えに要するコストも小さいと言えることから、雑談対話において、制御コストの30%削減を達成できたと考えられる。

案内およびプレゼンテーションに関する対話サービスについて、ニフレルにおけるイダコとオニダルマオコゼの紹介という題材について、一方の話者が自律対話に介入できる発話の割合を 100%と 50%の 2 パターンとなるよう制御してその効果を検証したところ、50%であっても対話の満足度が下がらないことが確認できた。これにより、オペレータの対話コストを30%以上削減しながらも質を担保した雑談対話を実現できることを確認した。話者切り替えのスムーズさについてのオペレータ評価においても 50%の際は 4.17 点と高かったことから、切り替えに要するコストも小さく制御コストの30%削減を達成できたと考えられる。

**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

公共の場で一般利用者からの対話性認知の獲得を目指した研究とモデル作成を行っている。まず、利用者の動きをリアルタイムに模倣する自己投影アバターを用いた発話誘引の研究を去年から引き続いて行っている。利用者の動きに合わせてリアルタイムに動く分身アバターをエージェントと同じ CG 空間内に表示することで、利用者をシステム内へ引き込んで会話のしきいを下げることを狙っている。CG の世界へ利用者を誘引するアプローチはゲームや VR で多く見られるが、問題を対話に絞りこんだ研究は他にほとんどなく、現在は小規模な実証実験を行いながら、対話性認知の獲得について再設計を行っている段階である。

複数モーションの線形結合による無段階の感情表出を用いたカウンセリング対話エージェントの研究を行った。自律ロボットや遠隔アバターの操作では、プリセットアクションを再生するものが多いが、よりリッチな対話を行うためには細やかな感情表現が必要である。研究では複数の基本モーションを重み付きでリアルタイムに混合表出するシステムを提案した。実験では 8 個の感情表現モーションを用いて任意の感情を 8 次元の重みベクトルで表現することで「弱い喜び」や「哀しみと悔しさの間」のような微細な感情表現を無段階にコントロールすることを可能にした。CG-CA を用いた遠隔カウンセリングタスクにおいて、当システムは利用者に高い自然性と人間らしさ、相談における信頼を提供することが示された。この研究は3月の HAI シンポジウムで国内発表を行い、優秀発表賞を受賞している。

存在感・生命感を伴う CG-CA の設計・デザインについて、複数の CG-CA モデルを設計し、その制作を進行した(研究開発項目1課題1(石黒)と連携)。昨年度は事例調査から CG キャラクターの3つの類型「ジェネリック型」、「キャラクター型」、「着ぐるみ型(VTuber 型)」の3つを見だし、うちジェネリック型について2体のモデルを作成した。当該年度は残る2種の着ぐるみ型として「うか」、キャラクター型として「ニルヴァ」の2体の CG-CA を完成させた。これで予定された3種(4体)のモデルの制作が完了した。



図 1:着ぐるみ型 CG-CA「うか」



図 2:キャラクター型 CG-CA「ニルヴァ」

### (2)CG エージェントの対話生成の実施

CG 会話に特有の誇張や強調を伴う言葉・声・動きのモデル化の研究に取り組んでいる。CG 会話の様式解明を進めるためには CG を介した会話のマルチモーダルコーパスが必須であることから、本年度は、まず CG 対話を実施・収録する音声とトラッキング情報を合わせたマルチモーダルコーパスの収集システムを開発した。実際にシステムを使って CG アバターを操作しながら会話を行うことで操作が自動記録される。音声とフェイシャルキャプチャ情報がタイムスタンプとともに自動計測・保存される。PC と Web カメラさえあれば動作可能であり、可搬性に優れている。これは、Vtuber 等のプロや、顔が出せない人に対して収録をスタンドアロンでお願いできる仕様を目指したものである。

このツールを用いて 1 名 2 時間の小規模な雑談対話データの収集を行い、それもとに音声から CG らしい会話動作(表情+頭部動作)を自動生成する speech2motion の提案・実装・評価を行った。実験の結果、まだ自然のキャプチャ動作には及ばないものの、人が違和感を感じない程度の頭部モーションを、音声のみから自動生成できることを示した。

### (3)CG-CA 対話システムの研究開発の実施

自律動作と遠隔操作の両方が行える CG-CA システムを、MMDAgent をベースに構築している。当該年度はシステムについて、新 CG-CA モデルを取り込み、操作プロトコルや組み込み方法について他の研究開発課題との仕様のすり合わせを行い、発展版をプロジェクト内で公開・共有した。Unreal Engine を利用した 3D-CG システム(Rubica 用)の開発、WebRTC 対応など、公開実証実験へ向けたツールの拡張と検証を行い、キャンパス内等での予備実験を行ってきた。

遠隔操作プロトコルの設計では、CG-CA に対してアクションを指示する、音声を伝送して話させる、フェイシャルキャプチャ情報を送り込む、あるいは任意のボーンやシェイプを直接外部から制御する、といったプロトコルを整備し、ドキュメントを公開した。また、昨年度策定した標準リアクション(38 種)について、それぞれのモーション設計および制作を行い、2D ベースのモデル全てが共通の仕様で動作するようにした。またフェイシャルキャプチャについても、Web カメラから AU(Action Unit:動作単位)を抽出する従来法の他に、iOS デバイスのデプスカメラを用いたフェイシャルキャプチャ機能にも対応し、より精度が高く自然な表情伝達が可能なシステムの開発を行った。いずれも GitHub を通じて希望するプロジェクトメンバーと状況を共有している。現在、多様なコンテンツや大規模なオペレーションに向けた技術面の準備が整った状態であ



る。

自律対話との融合システムは WebRTC ベースで行っており、相手の様子を遠隔地から Web カメラ映像で監視しながら(1)動作コマンドを送って発話+動作をさせる、(2)動作コマンド+音声伝送で会話しながらしぐさを見せる、(3)フェイシャルキャプチャと音声によりリアルな会話を行う、のように状況に合わせた遠隔操作への切り替えが行えるようになっている。また、自律モードから遠隔モードの切り替えを利用者に気づかせないように、切り替え時のモーションの自動補間等を実装した。関連研究実験ではカウンセリングタスク(傾聴対話)において1名が1名の対話相手を対象として動作することは確認している。任意タイミングでのスイッチングや複数端末に対する切り替え機能を実装しており、来年度には本格的な実験が可能である。

**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

CA の発話に問題があった状況を検出するには、システムの視線から見た利用者のふるまいを記録したマルチモーダル対話データが必要である。令和4年度は、そのような状況の検出に繋がるユーザ心象(利用者がどの程度その対話を楽しんでいるか)について、155対話 13,226交換のマルチモーダル対話に対して複数人による追加アノテーションを実施した。このマルチモーダルデータでは、ユーザ発話のテキストだけでなく、音声(韻律)、映像(表情)に加え、一部では生体情報も利用可能である。これにより、アノテーション結果の揺れを踏まえた推定が可能となるなど、状況検出の基盤となるデータ整備である。また利用者の部分集合ごとに推定モデルを学習することで、心象推定性能の向上の有無も実験的に確認した。

令和4年12月に ChatGPT が登場した。これによりシステムが言語的におかしな応答をするという誤りは大きく減少する。しかしながら、ChatGPT などの大規模言語モデルによるテキストチャットと音声入出力との間のインターフェースは、単純に音声認識結果を大規模言語モデルに入力するだけでよいわけではなく、ターンテイキング(発話タイミング)やユーザのエンゲージメントなど、音声対話レベルのエラーが依然存在する。例えば、全ての利用者が一発話をポーズなく一息で話すわけではないため、実利用者との対話ではターンテイキングのエラーが無視できない。これを含め、システムの発話内容が不適切という単純な対話破綻だけではなく、音声や対話レベルの誤りに起因する破綻に対処するために、マルチモーダル対話データに基づく状況検出は必須である。本年度に整備したデータに基づき次年度以降の開発を進める。

### (2) 誤り発生時の対話の継続

破綻が検出された際に、CA から適当な発話を行うことにより、対話を継続させるという問題を新たに場つなぎ対話と呼び、このプロトタイプの実現に着手した。令和4年度はこの問題設定に基づいて、最初のプロトタイプシステムを構築した。このプロトタイプシステムでは、上述した利用者のターンテイキングの問題も考慮して設計・実装する。このシステムを用いて、場つなぎ対話における対話の状況のモデル化や、大規模言語モデルに基づく局所的知識を反映した応答生成などの研究を進める。このように ChatGPT など大規模言語モデルの登場により、言語的に妥当なシステム応答の候補を容易に得られるようになったため、これを取り入れることでシステム発話の生成部分についての研究開発の労力は大幅に削減できる。

本年度は研究開発の初年度であったことから、このシステムで用いる知識グラフの整備を行った。これとともに、Wikidata から得た一般的な知識グラフに対して、これ以外の外部知識を用いて知識量を拡充する

際に問題となる、エンティティの同一性判定も取り組んだ。

ChatGPT など大規模言語モデルの登場により、Web 上などで既にテキスト化されている知識そのものを新たに準備する必要はなくなったため、上述の知識グラフを用いた手法は重点の置きどころをシフトする。一方で、大規模言語モデルに出力された情報を鵜呑みにせず、出力結果の確信度(事後確率)を得るという取り組みを進めて、より安定した事後確率を得るには上述の知識グラフを拡充する必要がある。Web 上のテキストとしては明確に書かれてないドメイン知識(例えば特定の水族館にいる動物の種類)について正確な情報を提供するのには大規模言語モデルだけでは解決できないため、ドメイン知識と一般的知識の融合に基づいて応答を作る必要がある。これらを踏まえて研究開発を進める。

**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。非剛体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、当該年度は複数視点から観測された視覚情報から非剛体物体の変形可能なモデルの構築を実施した。

具体的には、非剛体物体トラッキングの問題を解決するために、学習型アプローチの Lepard を提案した。Lepard は、点群表現を特徴空間と 3 次元位置空間に分離し、位置符号化手法を使用して 3 次元相対距離情報を明示的に表現するなどの特徴を持つ。非剛体点群のレジストレーションにも着目し、階層的な運動分解を行う Neural Deformation Pyramid (NDP) を提案した。NDP は、ピラミッド構造を使用して非剛体運動を表現し、各ピラミッドレベルは、MLP で示され、正弦波を用いて符号化された 3 次元点を入力し、前のレベルからの運動の増分を出力する。さらに、人工多関節物体を対象とした教師無し部品分解手法 (PPD) を提案した。関節アノテーションの教師情報や構造に関する情報がない状態で、多関節物体の動作を観察することで、カテゴリ未知の多関節物体のアピランスと構造を学習する新規手法の Watch It Move (WIM) を提案した。

変形可能な対象物体の場合、Lepard は、4D IoMatch と呼ばれる最も困難なタスクにおいて、最先端の手法と比較してダブルスコアで性能が高い。NDP では、多段階の剛体から非剛体への運動分解が可能となり、既存の MLP ベースのアプローチと比較して、解法が 50 倍高速化された。

##### (2) 未知物体や状況に関する情報を獲得する技術開発

未知物体や状況に関する情報を獲得する技術の研究と開発を実施している。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。今年度は特に視覚的質問生成 (Visual Question Generation, VQG) に着目した。

Visual Question Generation (VQG) は画像から質問を生成するタスクである。人間が画像に対して質問をする場合、その目的は多くの場合、何らかの新しい知識を獲得することである。しかし、VQG に関する既存の研究は、主に答えや質問カテゴリからの質問生成を扱っており、知識習得の目的は見落とされていた。そこで、知識獲得の観点を VQG に導入するために、我々は K-VQG と呼ばれる新しい知識獲得型 VQG

データセットを構築した。このデータセットは、画像に関する質問が構造化された知識に結びつけられた、初の大規模な人間によるアノテーションデータセットである。知識を質問の対象として符号化し、利用することができる新しいVQGモデルも開発した。実験の結果、K-VQGデータセットにおいて、我々のモデルが既存のモデルを凌駕することが示された。

### (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。

具体的には、新たなアプローチとして、ドメイン分類器とラベル分類器ネットワークを異なる方法で学習することで、特徴空間の重みづけを行う手法を提案した。クラスバランスの調整にも着目し、過去の実行結果を利用した反復ラベル分布調整法を導入した。ソースデータを利用しない教師無しドメイン適応(SF-UDA)の問題を解決するために、信頼性の高い分布に着目した特徴アライメント手法(CSFA)を提案し、ターゲットデータに対して信頼性の高いクラス表現を提供することができることを示した。具体的には、ユニバーサルドメイン適応(UniDA)問題として捉え、標準的なSF-UDAアルゴリズムとUniDAにヒントを得たアルゴリズムを同時に適用し、マルチタスクフレームワークを提案した。

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

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の開発のためのデータを整備した。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。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、現在は他の研究開発課題と協力し、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始めている。当初予定していた放射線科の症例データの画像抽出も並行しておこなっており、75%以上の画像を抽出できることを確認している。

### (2) 画像情報による少量のアノテーションデータを利用した診断システムの開発

医用データにおいてはいかにアノテーションやラベリングのコストを削減するかということが重要な課題である。医用画像のアノテーションは、高精度化のために曖昧な境界を統一されたルールのもとで実施するための時間的なコストや、専門的な知識をもつ人材を確保するためのコストといったものが、一般画像のアノテーションと比べると非常に高い。そこで昨年度に引き続き、所見文と画像というマルチモーダル情報を用いた診断システムの開発に取り組んだ。所見文中の単語同士の依存関係の木構造を獲得して幅優先探索を行うことで、疾患に関する位置の情報を抽出することに成功し、それらを用いることで弱教師付き学習を実現することができ80%以上の正答率を得られることを確認した。

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4つの進捗が完了している。1) 記憶システムの要である人工的知覚の恒常性を設計した。人間の脳は、ある物体に対する感覚が変化しても、その物体を一定のモノとして知覚するユニークな能力を持っている。昨年度の明るさの恒常性に関する研究を踏まえて、本年度はAIが大きさの恒常性の記憶表現を維持するための研究を行った。2) 脳の前頭連合野の前頭眼窩(FEF)領域は、長期記憶や短期記憶、眼球運動と関係をもつ。人間の認知システムは、認識が難しい微細な変化を感知した時に、長期記憶から知識を抽出し、変化後における特有の判別部位を直感的に注視するように視線を誘導する。そこで、人間の視線パターンを直接解析することで、長期記憶から短期記憶を抽出し、分類タスクに対してAIの注意メカニズムを調整することを可能とした。抽出された知識は、既存モデルと比較して、適合率を60%向上させることができた。3) 人工知能で広く用いられているdeformable convolutionは、一般に計算負荷が大きく、不規則なメモリアクセスがボトルネックとなることから、チップの小型化および軽量化だけでなく、CAへの広範な展開も制限されている。本研究では、人間の記憶メカニズムに関する先行研究を踏まえて、人間の認識策略を模倣し、各カーネルグループに独立したオフセットを割り当てることで、精度を維持しながら計算の所要時間を短縮した。計算スループットを高めるために、変形可能なメモリマッピング装置を組み込んだ新しい変形行列乗算ワークフローを設計した。4) 神経細胞やシナプスのノイズは信頼性の高い記憶に不可欠であるため、感覚データを長期記憶の潜在空間にガウス分布に符号化する人工記憶のメカニズムを設計する。この潜在空間はガウス球のような形状をしており、感覚データに存在する様々なパターンを捉えることができる。この潜在空間から、記憶を感覚データとして取り出すことができる。抽出に要する時間は0.25秒で、適合率は88.3%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3つの進捗が完了している。1) 人間の記憶メカニズムに関する既存研究にヒントを得て、映像を用いて手術ロボットの手術スキルを評価するシステムを設計した。提案手法は、人間のワーキングメモリのように、時空間的な次元でそれらを集約するものであり、本システムにより手術の熟練度を正確に評価することができ、手術CAに利用できる可能性がある。2) 医学における言語記述は、長期記憶における医療知識と直接関連する。医用画像から言語による記憶表現への埋め込みを追求するために、自然言語処理技術を利用して、医用画像と報告書の組み合わせから直接学習するモデルを構築する。具体的には、長期記憶から知識を自動的に抽出し、解剖学的部位と潜在的な疾患部位との結びつきを構築することで、多重関係グラフを作成することができる。このモデルにより、胸部X線画像から病気を正確に分類し、症状を特定することができる。長期記憶からの抽出の知識より、パフォーマンスは22%向上した。

#### (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、心理学の代表的なモデルであるRdoC(Research Domain Criteria)に基づき、人間の個性をシミュレートする記憶メカニズムを構築している。RdoCのフレームワークは、人間の基本的な神経行動機能の組織構造を模しているため、視線、顔画像や筋電、脳波を用いて、覚醒度などの基本的な心理効果を直接測定することができる。このフレームワークに基づくことで、人間の個性をシミュレートする人工的な記憶メカニズムを構築することができる。現在、統合失調症の患者については、理論的なモデルが部分的に構築されている。

課題推進者: Gu Lin (理化学研究所)

#### 研究開発課題4: 因果推論と予測機能の研究開発

当該年度実施内容:

##### (1) 複雑な非線形性を有する時系列間の関係性のモデリングに関する研究開発

高次元な時系列予測を高精度で行うためには時系列データの背後にある対称性を活用することが有効である。我々は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のような、複数のエージェントが相互作用しながら時系列生成を行っているデータに対して、そのエージェント間の順序の入れ替えに関する対称性を考慮した予測モデルを開発した。人物であれば所属組織や階級、企業であれば業種といった所属グループに関する情報を持っている。我々は順序の入れ替えにおいてグループを考慮した対称性を活用したモデルも開発した。

時系列予測モデルとして自己注意機構を積層する transformer 構造が有効に働くことが知られている。我々はこの自己注意機構を時系列方向のみならず、各エージェント間の関係性を抽出する方向にも用いることで順序変換への共変性を保持する予測モデルを構築した。さらにエージェントの所属するグループ内、グループ間での自己注意機構に分けて階層的に適用することにより、グループ情報を考慮した順序変換への共変性を活用するモデルへと拡張した。提案モデルを NBA の試合内での選手の行動の時系列予測や経済指標のデータセットといった高次元時系列に適用し、順序変換への共変性を考慮しない手法よりも良い予測性能を示し、さらにグループ情報を考慮することによりさらに予測精度が上がることを確かめた。

また、自己注意機構には入力時系列長が長くなるとその分予測にかかる計算量が大きく増大するという問題があった。この問題の解決のために、我々は時間的に離れた要素間は及ぼす影響が少ないであろうという時間方向のスパース性を仮定し、近くの時間からの影響は詳細に、遠くの時間からの影響は大ざっぱにモデル化することにより計算量の増大を減らす Grouped Self-Attention モデルを提案した。提案モデルを標準的な時系列予測のデータセットに適用し、提案手法は通常の self-attention と同等での精度を示し、さらに系列長が増加した時の計算量の増加が通常の self-attention よりも緩やかになることを確かめた。

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(文章中の単語またはフレーズに対して、CA がこれまでに知っている概念か知らない概念かを特定する)に対して、主に言語モデルの改良を実施することで正解率 7 割を達成した。具体的には、言語モデルのベースとなる Transformer を多層で使う際により効果が出やすい改良を新たに考案した。また、評価データの特性に合わせて対話的なデータを作成し、それを言語モデルの学習に活用することでベースの性能を向上させた。さらなる性能向上に向けて言語モデルの学習に関わる性能向上に向けた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、視覚情報(画像情報)を付与したデータを用いて実験を行い正解率 7 割を達成した。より具体的には、キャプション生成を活用して与えられた画像を言語情報に変換し、変換された言語情報を言語モデルの入力の付加情報として処理するという新しい処理方式を考案した。

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の研究開発する。当該年度は、前年度に実現した CA 操作システムに基づいて複数台 CA の協調システムを検討し、その実装・評価を行った。具体的には、2台のモバイルマニピュレータ(トヨタ社製 HSR)に協調的なパスプランニングアルゴリズムを実装し、飲み物などの配膳タスクを実施した。その結果、協調のある場合は協調のない場合に比べてタスク達成時間が30%~50%削減されることを確認した(図1)。



図1 2台の CA による配膳タスク

#### (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。当該年度は、前年度に実現した複数台ロボット制御基盤システムソフトウェアをベースに、人の適応と CA の学習を調和させる操作インターフェースを検討した。具体的には、遠隔操作から動作プリミティブと言語を自律的に学習する仕組みと、世界モデルの学習、大規模言語モデルを用いた推論に基づく言語命令理解を統合した操作システムを検討した。このシステムにより、物理支援 CA を詳細に操作する遠隔操作から言語による簡易な遠隔操作に徐々に移行できるようになる。今後、システム側からの状況説明インターフェースの追加や複数台 CA 協調へ拡張を進める。

#### (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。そして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、特養や病院などにおける実証実験の準備として、他の研究開発課題の技術統合を進めた。具体的には、課題5(鈴木)で開発している近接覚センサや、課題3(杉浦)で開発している物体の物理的接触推論機構、課題2(中村)で開発している ROS コアブリッジを統合したシステムを統合し動作テストを行った。課題6(平田)が開発している頭蓋内脳波を用いた BMI との統合を想定した CA の移動機構の開発も進めた。さらには、研究開発項目1課題5(吉川)の開発している対話型 CA と物理支援 CA を統合する新しい枠組みの開発を進めた。研究開発項目5課題1(宮下)とは、CA が広い範囲を移動するための仕組みである複数アクセスポイントの適応的な制御を物理

支援 CA に実装しその有効性を検証した。

課題推進者:長井隆行(大阪大学)

## 研究開発課題2:階層的 CA 制御の研究開発

当該年度実施内容:

### (1)複数 CA によるタスクの階層構造を利用した制御

ロボットプラットフォームを構築し、事前定義したタスク構造モデルを用い、複数台の CA による食事の準備タスクを実施した。自律 CA2 台と、利用者に対話するコミュニケーション CA1 台、遠隔地のオペレータが監視・操作する CA1 台の合計 4 台の CA を使用した。食事の準備は、自律 CA の 2 台が協調して行い、想定したタスクをすべて自律で実施でき、並列で動作することで約半分の時間でタスクを実施することができた。さらに、モバイルマニピュレーションタスクにおいて、曖昧な利用者の指示からロボットが何を持ってくるべきかを自律的に判断する手法を開発した。この手法によって、事前に定義していない利用者の要求にも対応できるようになった。

### (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 がコミュニケーションし連携を可能とするモデルを構築した。このモデルでは、コミュニケーションを潜在変数の推論として定式化した。タスクを解くために必要な情報を推論した潜在変数を介して伝達することで、協調的な行動の学習・生成が可能となった。さらにこのモデルを Serket のインターフェースを用いて実装することで、30 行程度と従来の半分以下の記述量で複数 CA の連携モデルを実装可能となった。

課題推進者:中村友昭(電気通信大学)

## 研究開発課題3:生活環境対話技術の研究開発

当該年度実施内容:

### (1)人機連携によるクロスモーダル自在対話の実施

家庭や病院等において CA が利用者の支援を行うにあたり、補助時に衝突可能性がある動作など、人間による遠隔操作やモニタリングが社会通念上求められるタスクが存在する。これらのタスクでは、動作の承認・緊急時の遠隔操作・モニタリング等をオペレータが行い、それ以外の状況では機械がタスクを遂行することが望ましい。この背景のもと、状況や確信度に応じて最適な人機連携が可能なクロスモーダル自在対話技術を構築する。本年度は、CA による物体探索をランキング学習問題として扱う手法 MultiRankIt を構築し、機械が作成した選択肢から人間が選ぶという人機連携型のクロスモーダル自在対話を可能とした。また、単一モデルで対象物体と配置目標を独立に予測可能な言語理解手法 Switching Funnel UNITER を構築し、推論回数のオーダーを実用可能なレベルに削減した。これらの手法を構築済みのデジタルツインシミュレータ上および生活支援ロボット(トヨタ社製 HSR)上を実装して、Carry タスクを行わせタスク失敗率を相対 20%改善した。

### (2)複雑な自律連携タスクにおけるクロスモーダル自在対話の研究開発

環境中に複数の CA が存在する場合、利用者に対話しながら CA がタスクを最適に分担することが望ましい。本項目では、物理的状況・発話履歴・他 CA の状態に基づき、マルチステップの行動を計画するクロスモーダル自在対話技術を構築する。本年度はマルチモーダル言語処理タスクにおける未知環境への頑健性向上に取り組み、敵対的摂動のモーメントに基づく学習手法 HLSM-MAT を構築した。標準タスクである ALFRED において、HLSM-MAT は世界最高性能を達成した。この成果は IEEE ICPR に採択された。また、構築した手法の機能実証として、実環境における移動・物体検索指示理解に関する標準タスクである

REVERIE Challenge 2022 に参加し、Honorable Mention Award を受賞した。また、REVERIE から Retrieve タスクを抽出した REVERIE-fc タスクにおいて、言語理解精度 80%を達成した。

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

当該年度では常識的知識の活用による現場知識獲得の高速化と、能動探索による生活環境の地図・物体配置学習、またマルチモーダル情報に基づく外部照応解析に焦点を当てた曖昧な発話理解に取り組んだ。まず、前年度に構築した場所概念モデルによる現場学習と常識的知識に基づく確率的論理推論を統合した計算論モデルを生活物理支援 CA (トヨタ社製 HSR) に実装し、現場環境で学習した物体と場所の関係性の知識に基づき、操作者の「これ片付けて」や「羊のぬいぐるみを取ってきて」といった、片付ける場所や取ってくる場所における曖昧性を含む発話から物体片付けタスク、物体探索タスクを実現した。次に、生活物理支援 CA への指示で頻発する、「あれとって」「そのペットボトル持ってきて」というテキスト内の文脈ではなく、実環境に外在する照応先を有する指示語が含まれる発話を対象とし、その曖昧性をマルチモーダル情報にもとづき解消する方法に関して研究を行った。この方法は、現場環境で得られたマルチモーダル情報(言語、位置、画像)から空間における物体カテゴリ分布、指示語領域分布、指差し方向分布を推定し、これらの確率分布に基づいて指示語が指し示す対象を推論する。当該手法により、指示語(こそあ言葉)が指し示す対象の曖昧性を解消し、物体を持ってくるタスク(Bring Me タスク)を実現した。実際に生活物理支援 CA (トヨタ社製 HSR) に手法を実装し、コンペティションにおいてデモンストレーションを実施した (RoboCup Japan Open 2022 @Home DSPL Technical Challenge 優勝)。

### (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。具体的には近接覚センサを用いて物体の把持判定を行う際に物体の摩擦係数の情報を用いること、距離の測定値が物体の反射率に依存することに注目し、これらを視覚情報である RGB 画像から推定する方法を検討し、それらを統合したシステム開発を行った(課題4(鈴木)との共同研究)。この手法を複数台の生活物理支援 CA へと実装し、その有効性を検証した。1) CA-1 (モバイルマニピュレータ) が CA-2 (小型移動ロボット) にオブジェクトを置いて輸送し、別の CA-3 (モバイルマニピュレータ) によって取り上げられ、最終的に目的地に配達されるシナリオ、2) CA-1 (モバイルマニピュレータ) が机の上にオブジェクトを置き、CA-2 (三指ハンドを有するモバイルマニピュレータ) によって取り上げられるシナリオの2つでその有効性を検証した。

### (3) 生活物理支援自在化フレームワーク開発と実証

適応的 CA の状況認識を利用者に可視化するインターフェースに関しては、半自律生活物理支援 CA に新しい知識を対話的に学習させる際に、結果を MR (複合現実) で可視化することで利用者

の負担を軽減するヒューマン-ロボットインタフェースを開発した。本手法では教師なし学習に基づくオブジェクト分類実験シナリオにおいて、System Usability Scale (SUS) と NASA Task Load Index (NASA-TLX) で評価した。MR インターフェースによるフィードバックは、ロボットとの音声対話に比べ、時間的・物理的・精神的な負担を大幅に軽減できることを示した。自在化フレームワークに関しては、マルチモーダルセンサ観測から認知的 CA システムを構築するために、オープンソース技術に基づく Symbol Emergence in Robotics Toolkit (Serket) 用のコンテナ型ソフトウェア開発環境 (SDE) である Serket-SDE を開発した(課題2(中村))



との共同研究)。Serket-SDE では、開発者が生活物理支援 CA の認知システムのための確率的生成モデルを迅速に構成、拡張、展開できるようになった。Serket-SDE の概念実証として、様々なシミュレーション環境において教師なしマルチモーダル分類の実証を行った。

課題推進者: 谷口忠大(立命館大学)

## 研究開発課題5: CA 触覚マニピュレーションの研究開発

当該年度実施内容:

### (1) 触・近接覚センサに基づく自在操作技術の開発

指先に近接覚センサを搭載した CA 用ロボットハンドによる、遠隔操作環境での半自律化による未知物体把持を可能にした。前年度に開発した技術である、近接覚情報に基づく①物体位置に対する手先の自動追従、②物体形状に対する指先の自動追従、③把持の力学的安定性のリアルタイム予測と把持フェーズ自動切替を、コントロールパッドにより手動操作可能な遠隔操作システムと統合した。

本システムでは、操作者は主に計4つの操作ボタンやアナログスティックによって CA の手先位置・姿勢および把持強度を操作する。ここで、把持強度の操作指令は「指の閉じ幅」ではなく「物体を把持する意図の強さ」を表現するものとした。これにより、ロボットの手先位置・姿勢が目標物体に対して適切な位置に無くつかめない場合(これは近接覚によって検知可能)には、指を握り込むことなく、指先が物体表面を探る動きが生成される。操作者は、指先が物体を探る様子を画像越しに確認することで追加の操作入力を行い、把持を成功させる戦略を取ることができる。より簡単には、把持意図を入力し続けたまま物体の方向に大雑把にアプローチをすれば、細かい調整は半自律化制御によって実施され、狙いの物体を高い成功率で安定に把持することができる。なお、上記の半自律化は ON/OFF 切替が可能なシステムとした。

実証実験として、遠隔地からネットワークを介して CA システムを操作する実験を実施した。半自律化を OFF にした条件では、CA の頭部カメラからの映像では把持対象物体との距離感をうまくつかめず、また通信遅延による認識のずれがあり、複数回のリトライが必要であった。これに対して、半自律化を ON にした場合は容易な操作で短時間に物体を把持できることを確認した。

このほか、研究開発項目4内の他の CA プラットフォーム用の近接覚センサの提案や提供を行い、連携開発を進めた。課題4(谷口)との連携では、異なるタイプの CA 用ロボットハンド(BarrettHand)に適合する近接覚センサを設計開発した。

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、自然かつロバストな高い操作性の実現を目的としている。これまでに、侵襲 BMI で随意制御を行い、CA で自律制御を行い、両者を調和制御することで総合性能を向上させる基本コンセプトを確立した。BMI による制御は、随意的ではあるが、手の姿位など微細な制御には不利である。一方、CA 側での自律制御は微細制御には有利であるが、随意性に欠ける面がある。基本コンセプトでは、両者の利点を活かして、欠点を相補うことにより、全体として高い性能と自然な操作感を両立するための制御モデルを確立した。この基本コンセプトにもとづき、ロボット制御開発環境 ROS に上肢 CA のモデルを実装し、上肢ロボットアームのリアルタイム制御を達成した。

また、新たに生活支援ロボット(トヨタ社製 HSR)を導入し、HSR を用いた CA の自律制御を上肢、下肢、会話機能の三つの機能全てに関して開発し、実装を進めた。さらに、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、特に CA の下肢機能については、課題1(長井)と連携することにより開発を進めた。これらの開発により、侵襲型 BMI 随意制御と CA 自律制御の調和制御の基本システムの開発を完了した。

## (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。本プロジェクトにおける臨床研究では、その治験に参加して主要観察期間を終えた ALS 患者を対象とすることとした。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、その臨床研究のプロトコルの策定を開始した。

課題推進者: 平田雅之(大阪大学)

## (5) 研究開発項目5: CA 基盤構築の研究開発

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

当該年度実施内容:

#### (1) CA 基盤の構築

CA 基盤第2期プロトタイプを構築し、シミュレーション環境、実社会環境での動作を確認した。初期プロトタイプの仕様を踏襲しつつ、実社会環境での CA 活用に関する実用的な要件を検討し、Web ユーザインタフェース等の改善を図った。CA 操作者がモバイル環境でも接続できることを、スマートフォンによる接続、モバイル WiFi 環境でのノート PC での接続で確認した。東大阪市における万博機運醸成イベントである HANAZONO EXPO(期間:2022年11月5,6日、参加者数:約7万人)において、移動型 CA(Teleco)を CA 基盤に接続した実社会実証実験を実施し、広域単地点、高顧客密度での CA サービスの動作を確認した。

#### (2) 階層的 CA 連携層の構築

昨年度構築した設置型 CA と移動型 CA のデータベースに加えて、自由度の異なる2種類の CG-CA に対応する CA データベースを構築した。CA サービスデータベースは、上記(1)および他の実社会実証実験を参考にして、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作成した。これらのデータベースを組み合わせて利用することで、活用可能な CA の組み合わせで、対象とする模擬 CA サービスが実行可能かどうかを判断できることをシミュレーションにより示した。

#### (3) 操作者割り当て遠隔操作層の構築

実社会実証実験の遠隔操作者から抽出した情報に基づき、CA 操作者データベース初期プロトタイプのテーブルとデータを拡充した。CA 操作者データベース、CA 遠隔操作者、および CA の状況に応じて、適切な複数の操作者を割り当てる手法と、CA の自律動作を CA 基盤の外部プログラムとして実装し、遠隔操作と自律動作の切替えを CA 基盤が管理する遠隔操作手法を提案した。研究開発項目7と連携し、ATR エントランスでの受付実証実験、インキュベーションオフィスでの多地点実証実験で検証し、模擬 CA サービスが提供可能なことを示した。

#### (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、HANAZONO EXPO 会場(東大阪市花園ラグビー場、参加者 7 万人のイベント)や、東京・京都・大阪の3箇所のインキュベーションオフィス受付において、研究開発項目7と連携して、移動型 CA(Teleco)、設置型 CA(Sota)による、接客、案内の模擬 CA サービスを通じた CA 基盤機能実証実験を実施した。CA 基盤を介した映像・音声・ロボットコマンド・センサ情報の多地点通信機能、および外部プログラムの機能について実験を実施し、通常の使用方法においては正しく機能すること、操作者の運用方法によっては機能不全になることを確認した。

**課題推進者:**宮下敬宏(国際電気通信基礎技術研究所)

## 研究開発課題2:利用者モニタリングと経験管理の研究開発

**当該年度実施内容:**

### (1)利用者・CA モニタリングの研究開発

利用者・CA モニタリング層では、利用者や CA の活動を CA 自体の持つセンサおよびセンサネットワークの計測データとして収集する仕組みを構築する。計測したデータは CA 経験管理層において対話データベース、タスクデータベースに蓄積され、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。本年度は CA 基盤に WebSocket プロトコルによる外部プログラムとの連携機能を導入することで CA モニタリング機能を拡張し、1人の操作者が複数の CA を同時利用するタスクに対応できることをクラウドサービスと連携したサンプル実装によって検証した。1人の操作者が3体の CA を操作する条件において、同機能を利用して 95 セッション合計 285 対話の利用者・CA 活動および CA 操作のモニタリングデータを記録し、CA 経験管理の機能検証に必要なデータを取得した。

### (2)CA 経験管理の研究開発

CA 経験管理層では、利用者・CA モニタリング層で得たデータを活用して操作者の操作効率を向上させるために、同一タスク内および異種タスク間の CA 活動の類似性を利用したモニタリングデータ(CA 経験)の蓄積を行い、蓄積データの検索によって新たな利用者・CA 活動に対する適切な操作候補群を抽出することが可能な対話データベース、タスクデータベースを構築する。本年度は、上記で取得したモニタリングデータに基づくシミュレーションによって、1人の操作者が3体以上の CA を操作する条件において 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確認し、さらに外部プログラムとの連携を含む階層間プロトコルの動作を確認した。

**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

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

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いる。当該年度は、昨年度から引き続き、CA のサービス機能仕様記述方法の国際標準化に向け、CA のサービス機能を記述するための仕様を提案し、RoSO1.0 initial draft へ盛り込み作成する活動を進めてきた。定期的に課題1(宮下)

と課題2(内海)にヒアリング調査を行い、ATR 受付サービスシステム等を題材としたアバターサービスのシナリオ抽出や通信仕様の確認等を行った結果を反映させ、また、3か月ごとに開催される OMG の Robotics DTF 会議に参加し、関係者への提案仕様の説明、議論を行ってきたが、韓国から提出された提案との調整を行う時間が十分に確保できず、2022年9月に米国 Burlingame で開催された OMG 2022Q3 TC Meeting へ提出した RoSO1.0 Initial Draft では、日韓の提案が一部併記される形となった。そこで、その後は2週間に1度の頻度で日韓の情報交換および提案一本化に向けた仕様改訂作業を進めた。日韓両者で作成を進めた RoSO1.0 Revised Draft は、OMG Architecture Board のメンバーのアドバイスも反映させ、現在、取りまとめの最終段階に入っており、次回2023年6月に米国 Orlando で開催予定の OMG 2023Q2 TC Meeting への提出、受理を目指している。

## (2) CA 基盤のプラットフォーム仕様の国際標準化

前述の RTC 仕様および RoIS 仕様の下位レイヤ部分は分散コンポーネント技術として定義されており、これらの技術の上にロボット機能プラットフォーム仕様を定義することができる。OMG では RTC および RoIS 仕様の拡張に向けたロードマップにおいて、RoIS 仕様の中間層を RoSO として定義した上で、下位レイヤとしてのプラットフォーム技術と、上位レイヤとしての具体的なコンポーネントの定義を再検討することを示している。そこで、当該年度では、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の情報交換を進めつつ、CA 基盤のプラットフォーム仕様についての検討を進め、それらを盛り込んだ RoIS2.0 の RFP を策定した。RoIS2.0 RFP は、2023年3月に米国 Reston で開催された OMG 2023Q1 TC Meeting へ提出し、受理された。今後、RoIS2.0 initial draft の作成を進める。

## (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。上記(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いる。そこで、当該年度では、RoIS の上位レイヤへモジュール化した CA 機能の定義を提案し、国際標準化を進めるために、研究開発項目7で実施する社会実証実験やアバター共生社会企業コンソーシアムの関係者との意見交換を進めつつ、CA 機能および操作インターフェース機能の検討を進め、それらを盛り込んだ RoIS2.0 の RFP を策定した。前述のとおり、RoIS2.0 RFP は、2023年3月に米国 Reston で開催された OMG 2023Q1 TC Meeting へ提出し、受理された。今後、RoIS2.0 initial draft の作成を進める。

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

京都大学において承認された臨床研究計画(臨床94号)に基づく研究を遂行した。計画に基づき被験者をリクルートし、Nintendo Switch を2時間利用した被験者から血液を採取、血液から末梢血単核球および血漿を単離した。得られたサンプルは課題1(河岡・東北大学)および課題2(和泉)においてマルチオミクス解析に供した。その結果、ゲームが免疫細胞の遺伝子発現や代謝に与える影響が明らかとなった。重要なポイントは、生体応答によって被験者を層別化できたことである。ある被験者群ではゲームの利用によ

って免疫系が活性化され、また、脂質代謝が亢進していた。さらに、ゲームが生体に与える影響は、対話とは大きく異なっており、さまざまなシチュエーションでデータを取得することの重要性が示唆された。さらに、課題4(住岡)と共同で、2時間の対面対話ならびに Zoom 対話を実施した被験者から同じく血液から末梢血単核球および血漿を単離した。

### **(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、テレノイドを2時間利用した被験者から血液から末梢血単核球および血漿を単離した。現在、マルチオミクス解析が進行中である。

### **(3)新しい遠隔対話システムに関する調査研究**

マルチオミクス解析の際には、多様なシチュエーションで得られたデータセットがあることが重要であることが判明した。そこで、調査対象を対話に限らず、多様なシステムを調べることにした。その結果、エンハンス社の共感覚体験装置シナスタジア、ヨガ、MS 目標1金井プロジェクト・牛場教授のグループの brain machine interface の導入をきめ、課題1(河岡・東北大学)における倫理申請を進めた。

**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**

昨年度、二人の人間が対面で遠隔対話システムを利用したときの血中代謝物の変化を網羅的に調べた結果(40検体)、対面会話の前後・Zoom 会話の前後のそれぞれについて有意に変動した代謝物が見出された。今年度はこの結果の再現性を確認するために、新たに32検体を測定試料として超網羅的なメタボローム解析を実施した。その結果、1回目と比べて、共通して変動する代謝物が確認された一方で、前回とは異なる代謝変動も確認された。このことは、個人差による影響も考えられるが、実験デザインによる影響を反映している可能性が示唆され、信頼性の高いバイオマーカーを探索する上で重要な知見を取得した。

また、従来アバターであるゲームの実施による生体影響調査も行った。連続的に2時間ゲームを実施した血漿メタボローム解析を行った(26検体)。その結果、ゲームの前後で変動した血中代謝物は、対面や Zoom 会話の時と大きく異なることが分かり、このことは、血中メタボローム情報はタスクの種類に対する生体応答の違いを判別できる可能性を示唆するものである。

### **(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**

今年度から本格的に CA を利用したときの影響について超網羅的なメタボローム解析によるバイオマーカー探索研究を行った。具体的には、アバター(Hugvie および Moffuly)を使用した前後での利用者の血中代謝物の変化について40検体の血漿試料を用いたメタボローム分析を完了させた。現在、対面会話や Zoom 会話で変動した代謝物との差異を含めて考察を深めている。

**課題推進者:**和泉自泰(九州大学)

## **研究開発課題3: 脳反応計測**

**当該年度実施内容:**

### **(1)脳反応解析を実施するための研究基盤の構築**

MRI 装置内に 3D 表示を行うゴーグルをセットアップし複数の 3D CA アバターとインタラクトする環境を開発した。MRI 外で没入感を確立し、その状態を保持したまま MRI 実験を実施する手続きについても確立しつつある。



## (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

各試行において被験者がギャンブルオプションか安全オプションを選択し、ギャンブルに勝つと観察者が賞賛の表情、負けると観察者が侮辱の表情を動画でフィードバックする実験課題を用いた。観察者がヒトの場合と CG アバターの場合を比較した。まず行動実験において、被験者の行動から、CG アバターが評価者となる場合はヒトが評価者の場合よりも、ギャンブルを選択する確率が高くなることが分かった。さらに、同じアバターであっても、少女アバターではゾンビアバターよりもギャンブル率が高かった。これらの結果は、CG アバターを用いることでヒトの表情が意思決定に対して持つネガティブな影響を低減できる可能性を示す。計算モデルによる精密な解析により、観察者がヒトであるとき、観察者がアバターである時より、ギャンブルの結果の不確定性(具体的にはエントロピー)に対するネガティブな感度が高いことが分かった。さらにこの感度の差が両条件でのギャンブル率の差を良く説明した。

次に fMRI 実験を行った。被験者は行動実験と同じ行動パターンを示した。fMRI 解析において、ヒト/アバター条件でのエントロピーに対する脳反応の違いとエントロピーに対する感度の違いが関連する場所を探したところ扁桃体が特定された。このデータはヒトが評価者であるときに被験者が選択する保守的な意思決定オプションが扁桃体の活動により生み出されることを示唆する。被験者には評価者の実体は同一であり、その外見がヒトかアバターか違うだけであることを教示している。そのような状況でも扁桃体の活動が異なり、意思決定が変わることは興味深い。

課題推進者: 春野雅彦(情報通信研究機構)

## 研究開発課題4: CA を用いた生体反応実験

当該年度実施内容:

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

予定通り血液検査を伴う実験を実施した。課題1(河岡)、課題2(和泉)、課題5(中江)と綿密に連携し、被験者に市販のビデオゲームを2時間行ってもらい実験を行い、その前後に血液を収集した。また課題5(中江)、研究開発項目1課題1(石黒)と共同で、高齢者が保育園に設置されたロボットを遠隔操作しながら、登園する児童に対して体温チェックの呼びかけを行う実験を実施し、操作前後での血液採取を行った。また、ロボットアバターを用いた遠隔対話を被験者に行ってもらい、その前後の血液の採取を行った。それに加え、親しい間柄の2人でペアになってもらい、それぞれのペアに対面での対話、Zoom を用いた対話を行ってもらい実験について、追加実験を行い、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

予定通り従来アバターを利用したときの行動・生体信号解析を実施した。受付業務における操作者の認知負荷を調査する実験を行った。受付業務シミュレータを用いて、アバターの表情やジェスチャーの選択を行う課題をいくつかの複雑さで行ってもらった。その際に脳活動や視線、脈拍、皮膚電位、体温などを計測した。その結果、それぞれの課題における疲労をいくつかの生理指標を用いることで予測できる可能性を確認した。



図 1 受付業務シミュレータを用いた操作負荷検証実験

### (3) CA 利用者および操作者に対する行動・生体信号解析

研究開発項目1課題4(塩見)、研究開発項目7課題2(熊崎)と連携し、抱擁型 CA との抱擁が自閉症者に与える影響を、生体信号を計測しながら調査した。抱擁型 CA との対話と、従来の遠隔対話システムのように抱擁がない場合の対話を比較したところ、抱擁型 CA との対話において、ストレス軽減効果があることを生体信号で確認した。その他、ロボットアバターを通して話をした場合と対面で話をした場合においても被比較を進めた。

課題推進者:住岡英信(国際電気通信基礎技術研究所)

## 研究開発課題5: ホルモン検査と健康基準策定

当該年度実施内容:

### (1) 遠隔対話システムや従来アバターの利用者に対するホルモン測定

操作者が抱擁型 CA を通して対話タスクと非対話タスクを行ったときの影響を通して調査した。その結果、操作前後で有意に変化したホルモンは対話タスクにおけるオキシトシンのみであった。成長ホルモンについては、個人差が大きく有意な差を認めなかったが、非対話タスク中に顕著な上昇を認めるケースがあった。このことから、ホルモンの変化は個人差が大きく、健康基準を策定するには一般化ではなく層別化も考慮する必要があると考えられた。

### (2) CA 利用者および操作者に対するホルモン測定

CA および遠隔対話システムの利用データを比較分析することによって、CA によって生じるストレスを評価するため、CA 利用に対するホルモン測定を実施した。CA(テレノイド)を介した会話と対面での会話を比較した。コルチゾールでは、対面条件で有意な結果が得られなかったが、テレノイドでは有意に低下した。酸化度を反映する d-ROMs が対面条件で有意に上昇したが、テレノイド条件では見られなかった。

これらの結果は昨年度行った遠隔対話システムで対面条件の方がコルチゾールが有意に低下した結果と矛盾する。今回の実験条件では、初めて会話をする人を相手として設定したが、昨年度の Zoom では仲の良い知り合いのペアという条件であったため、今回の結果は初対面の人との会話での緊張感を反映した

と考えられた。特に初対面のコミュニケーションでは、むしろ、CAを介して行うことによるストレスの減少が期待される可能性があることを示唆する結果となった。

### **(3)健康な CA 利用を実現するための健康指針の策定**

課題1(河岡)によるマルチオミクスデータ解析の結果、ゲームや対話への反応は複数のクラスターへと層別化可能であること判明した。また、反応の一部は心理指標と相関する傾向にあった。実験室レベルの対話でも層別化が可能であることは興味深い、その一方で、一定の健康基準を策定することの困難さを示すものでもあった。新たな測定データが蓄積したからこそ生じた課題と言える。なお、予備実験では生体影響の大きさは時間に依存的であり、利用時間が一定の健康基準として有用である可能性が示唆されたものの、時間のみでは有用な健康基準にはなりえない可能性が高い。これらの結果に基づいて、真に有用な健康基準を策定するためにはどのようなプロセスを経るべきなのか、真に有用な健康基準とはどのようなものか、これらをシステムティックに考え、「有用な健康基準」が持つべき必要条件をまとめるべきであるという新しい課題を着想するに至った。本年度の成果を踏まえて新たなマイルストーンとして設定し、令和5年度以降の研究に繋げる予定である。

**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**

実証実験基盤を整備した。まずは、研究開発項目5と連携して、CA 基盤プロトタイプを ATR での企業エントランスでの受付実証実験に活用できるように、操作者1名、設置型 CA 1~3台で利用できるように調整し、実験で利用できることを確認した。センサシステムとしては、2次元 LiDAR および3次元 LiDAR を活用した人位置計測システム、ネットワークカメラシステム等を、ATR 以外の機関へ提供できるよう運用体制を整えた。CA としては、移動型 CA(Teleco)、設置型 CA(アンドロイド型ロボット、Sota、CommU)が CA 基盤に接続可能であることを確認し、同様に外部機関へ提供できるよう運用体制を整えた。これらを活用して受付・案内・接客サービスが可能であることを確認した。課金システムについては、アバター共生社会企業コンソーシアムの情報会員である課金システム関連企業と協議し、仮想通貨や投げ銭などの課金機能が現状のシステムに導入可能であること、そのためには本人認証の保証レベル(AAL)と身元確認の保証レベル(IAL)を定め、なりすまし防止と決済強化の観点から認証システムを構築すべきであることを確認した。

#### **(2) 実証実験拠点の構築**

大阪の拠点は、従来よりロボットなどを活用した社会実証実験を実施しているアジア太平洋トレードセンター(大阪市住之江区)を、東京の拠点は、今後の社会実証実験のしやすさから、水道橋駅にあるベンチャー企業向けインキュベーションオフィス IGNIS(東京都千代田区)(現在、名称を Startup Side Tokyo に変更)を拠点として整備した。インキュベーションオフィス IGNIS に設置型 CA(Sota)、移動型 CA(Teleco)を設置し、インキュベーションオフィス IGNIS の運営会社(株)ツクリエの協力のもと、CA 基盤プロトタイプを介して、(株)ツクリエのオフィスからインキュベーションオフィスを運営する実験を実施した。また、同社が運営する大阪と京都のインキュベーションオフィスにも設置型 CA(Sota)を1台ずつ設置し、東京・京都・大阪の3地点の CA を CA 基盤プロトタイプを介して ATR から遠隔操作して受付・案内する実証実験を実施した。

#### **(3) 企業連携・実証実験運営**



企業連携・実証実験運営を進めるため、アバター共生社会企業コンソーシアムを設立した(2021年8月に設立、会員数: 105 法人(2023年3月末現在))。本企業コンソーシアムの情報会員から、自社事業での CA 利用を検討したい企業を募って立ち上げた3つの分科会(ヘルスケア・医療分科会(9社)、教育支援分科会(5社)、IT インフラ分科会(4社))を継続的に実施した。分科会では、各分野における社会課題、参画企業の問題意識、これまでの取り組みを整理し、各分科会で8件以上の CA 利用に適したタスクと CA サービス実証実験企画を検討した。

CA サービスに課金システムを組み合わせた実証実験については、上記(1)で述べた課金システム関連企業と打ち合わせ、現状のシステムを整理し、認証・課金システム構築の可能性検証を目的としたシステム実証実験を実施した。

**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。しかし、発達障害者はロボットの表情や動作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たうえで最適な表情・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。

当該年度は令和3年度に開発したデータベースを基に、個々の精神状態に対応した表情・動作の設定をモデル化した。多数の施設で多数の実証実験を行った。

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

うつ病患者は過去の暗い話などネガティブな会話の内容については、ヒトより CA に自己開示可能なケースが多い。しかし、うつ病患者は精神状態により CA の表情や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。

当該年度は令和3年度に開発したデータベースを基に、個々の精神状態に対応した表情・動作の設定をモデル化した。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高齢者向け遠隔操作システムのプロトタイプをもとに、2つのタスク、および2つの CA を遠隔操作できるインターフェースを開発した。個々のタスクフローを階層化された状態遷移図として表現したうえで、サブフローごとに自律・遠隔操作を切り替えることを可能にするとともに、複数の CA へ同時接続し、個々の CA の自律動作の制御と遠隔操作を一括して行えるような機構を実装した。自律動作に関しては音声認識器をより高性能なものに置き換えて認識誤りを減らすとともに、Transformer による構文・字句解析や固有表現検出などを行い、応答性の向上を図っている。また年度後半から GPT-3.5/4, LLaMA/Vicuna などの多言語対応 LLM と zero/few-shot prompting が実用レベルで使用できるようになってきたため、これらを利用した、より高精度の NLP や発話意図・状態推定と自律応答生成、操作者への自律対話内容の要約など、CA とインターフェースの機能向上についての検討も開始した。

一方で、次節に記載のように、インターフェース・遠隔操作の複雑化に高齢者が対応できない状況が見えてきたため、CA 側の高機能化に加え、操作側への CA の追加(昔の Microsoft agent のようなイメージ)など、操作を行う高齢者をサポートする機構の検討を開始している。

#### (2) 実証実験のデザイン・実施・評価

当該年度は堺市の協力のもと、昨年度開発の単体 CA 遠隔操作による実験を引き続き行うとともに、前述の複数タスク・複数 CA 遠隔操作インターフェースを用いた実験を行った。下図に、2タスク・2CA 操作実験の様子を示す。



操作者の感想としては、「最初は戸惑ったが、操作自体は簡単だった」などインターフェースの使い勝手としては良好な一方、「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」など、複数 CA 操作に関して混乱している様子が多くの場合で見られた。1つの CA を操作する場合は、テレビ電話で話しているのと変わらない操作感だが、CA の自律動作が入ったり、CA の数が増えると混乱が生じる。これはおそらく高齢操作者に限られた問題ではなく、遠隔操作を行う上での本質的な問題と考えられる。そのため、今後はインターフェースの改良を行うだけでは不十分であり、タスクの構成や自律動作と遠隔操作の切り替えを通常の人との対話様式に沿うような形で分割させる手法の開発、あるいは切り替えをより自然なものと考えられるような訓練方式の開発が必要になると考えられる。

一方、昨年度より開始した糖尿病患者への遠隔操作による療養指導の実験も継続して行った。金沢市内のクリニックにて外来患者への生活指導実験を上半期までに 33 例実施し、下半期は結果の解析を進め

た。その結果、療養指導というプライベートに踏み込む対話内容であっても、糖尿病患者ロボットへの親和性は十分に見られること、また聞き取りや指導が十分に行えることが確認されており、結果の論文化を進めている。糖尿病患者への療養指導の重要性は高く認識されているものの、療養指導士の不足から都市部以外では実施が難しく、十分に行われていない実態がある。遠隔操作を通じての指導が可能となり、有効性を示すことで都市部以外での指導が可能となるとともに、システムを介在した指導の定型化を実現することで、看護学生や、さらには一般高齢者による指導も可能になる。定型化された遠隔操作を通じた看護学生への教育効果も見込まれる。今後、一般高齢者や学生による操作や、指導の半自律化を進めるとともに、実際に能登半島各地での指導を都市部から行う実験も進めていく予定である。

本年度は、堺市での操作拠点の設置を実現した。堺市の協力を得て泉北ニュータウン内の光明池駅前のオフィスを確保するとともに、通信回線などの整備を行った。これまでの実証実験から通信障害や遅延などの問題が明確化していたが、安定した通信回線を利用可能な拠点の設置により、実証実験の安定した運用が可能になると見込まれる。すでに3月に初回の実験(堺市泉ヶ丘駅前のイベントでの遠隔操作)を実施しており、良好な結果が得られている。

**課題推進者:**西尾修一(大阪大学)

## 研究開発課題4:5G 通信環境の研究開発

**当該年度実施内容:**

### (1)5G 通信システムの構築の実施

当該年度は、SA 構成による自作の 5G 通信システムについて連続稼働試験を実施した。短期間で停止していた理由であったメモリ不足について、メモリを過剰に確保する点を改良し、2022 年 5 月 14 日から 6 月 14 日までの 30 日間の連続稼働に成功した。なお、通信量は 80TB であった。

また、自作の 5G 通信システムについて引き続き改良を加え、昨年度報告分に加えて

- ・アップリンク通信時の復号処理に要する時間を半減
- ・アップリンク通信時の 256QAM 利用
- ・Radio Unit 内のデバイスパラメータの最適化

を実施し、アップリンク通信速度を約 150Mbps から約 200Mbps に向上させた。

### (2) サービススライス制御技術の開発

当該年度は、利用者端末として移動体を想定し、端末位置に応じて適切な無線リソースを配分する 5G リソース制御技術の実証に取り組んだ。現在、セルラーリソースの割当は物理システムからのリソース要求の変化に基づいて行われており、必要なタイミングで必要なリソースが割り当てられるとは限らない。したがって、物理システムの振る舞いをセンシングしてエッジサーバに集約し、エッジサーバで解析した結果をもとに、必要なタイミングでリソースを割り当てるセルラーリソース割当手法を実機に実装した。

セルラーリソース割当手法の実装にあたり、上記(1)で開発した自作の 5G システムを用いている。具体的には、CA 位置予測結果に基づいたリソース割当が可能となるよう 5G コアシステムを拡張し、5G 通信に用いるランダム識別子(RNTI)とエッジサーバが管理する接続端末情報(IMSI)と存在確率の対応表を追加実装した。5G システムのリソースブロック数を 245 とし、ミニチュア車両を用いた実験によってセルラーリソース割当手法が割り当てるリソース量を評価した結果、車両の存在確率が 0 となる時空間領域では1スロットあたり平均7RB(Resource Block)を割り当てているのに対し、存在確率が高くなる時空間領域では存在確率最大時に1スロットあたり平均 120RB のリソースを割り当てることを確認した。また、上記の 5G コアシステム拡張とランダム識別子に基づくリソース割当によってサービススライスの構成が可能となった。

課題推進者:村田正幸(大阪大学)

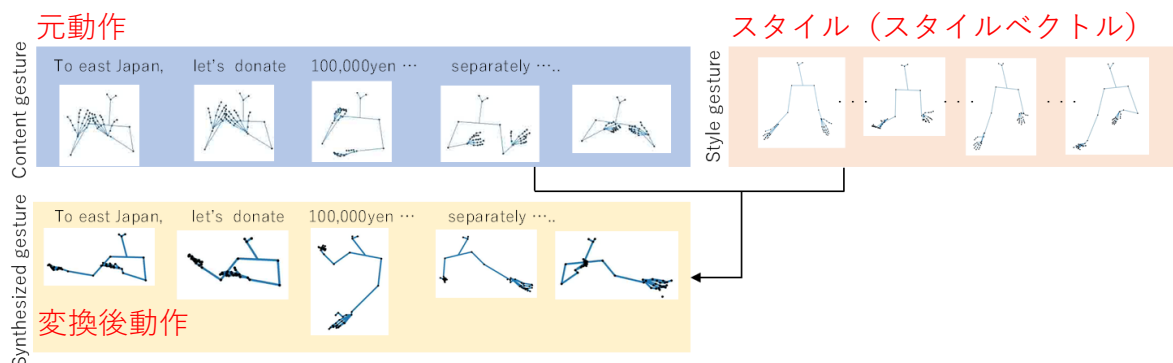
## (8) 研究開発項目8:アバター社会倫理設計

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

当該年度実施内容:

#### (1)動作スタイル変換モデルの作成

米国 CMU が提供している PATS データセット(Youtube 上にある 25 人のモノログビデオ)を用い、84,000 個のビデオクリップから動作スタイル変換の機械学習モデルを作成した。元動作にスタイルを適用した結果得られる変換後の動作アニメーションの例を下図に示す。印象形成の研究などで用いられる 15 種類の印象語を用いて、クラウドソーシングにより元動作と変換後の動作アニメーションの印象評価を行ったところ、比較的活発な動きをする元動作が「礼儀正しい」印象を与える動作に変換される等の例を確認することができた。評価実験の結果、3 種類以上の社会的印象を動作スタイル変換技術により操作できることが分かった。



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、規範となるようなモラル行動の学習技術の構築に取り組んだ。

昨年度に構築したデータセットに基づき、Social Force モデルを用いて CA の移動の規範逸脱の検出器を実装した。Social Force は歩行者の行動を、目的地への引力と、他の歩行者や障害物から受ける斥力により運動方程式として定義される。この方法により実現した検出器により 90.9%の精度を実現することができた。また、操作者の不注意な運転による不適切行動の認識も、昨年度に構築したギャラリー見学の CA 操作のデータセットに基づき研究を進めた。「人を危険にさらす」「奇妙に動く・人を混乱させる」「物にぶつかる」の 3 つの基本タイプを定義し、CA の不適切な行動の場面を合計 80 件特定した。ニューラルネットワークを用いて適切性の分類器を訓練した。奇妙な動きは、動作の多様性と状況依存性のため認識がやや難しく、認識精度は約 60%に留まったものの、物にぶつかる、人を危険にさらすは比較的良い認識結果を得

ることができた。



図: Social Force を用いた規範逸脱の検出

## (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、モラルに関する問題状態を検出する技術の構築に取り組んだ。

まず、オペレータの不適切発言を、意図認識技術を用いて検出する方法を実現した。警備ロボットの利用場面を想定し、不適切な発言をホスピタリティある丁寧な発言に変換するシステムを実現した。このシステムにおいて意図認識の精度は 96%を実現できた。このシステムの利用者評価実験を実施し、提案システムが発話の適切さを保証しながらもオペレータの作業量を有意に削減することを明らかにした。さらに、オペレータの発言を監視し、不適切なオペレーター（たとえば、乱暴な発言をする人）を検出する方法を実現した。実現した検出器は、良いオペレータと悪いオペレータが不適切な発言をする確率の推定に基づいており、利用者評価実験の際に 94%の認識精度を実現した。強い怒りについても認識するための研究を進めた。既存のデータセットからの大量のデータを用いてトレーニングしたオーディオ分類の特徴を日本語に適応するためにマルチリンガルなデータセットをさらに準備することで検出器をトレーニングした。結果として、テストデータ上で ROC 値 0.914 を達成した。最後に、アバターロボットがグループ会話に参加する際に、オペレータが会話から取り残されていないかを検出する認識技術も研究した。この検出器は、グループ参加者とオペレータの音声活動とグループ参加者の推定視線を使用する。予備的な評価ではあるが、オペレータが会話に取り残されたことを 80%の精度で検出できた。

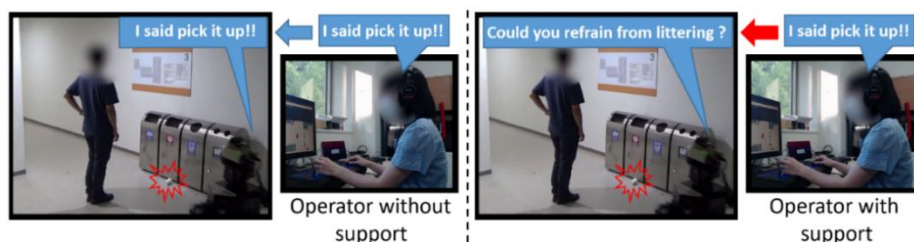


図: 意図認識を利用した不適切発言の検出に基づくホスピタリティ支援システムの利用者評価実験の様子

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:

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う。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。具体的な活動としては以下を実施した。

課題1（中野）主導のもと、アバター社会倫理設計コンソーシアムのミーティングを2022年4月18日、5月30日、7月7日、8月22日、9月14日、2023年2月にオンラインミーティングを実施した。そこで未来社会でのアバターのユースケース、アバターに関連する倫理的課題の洗い出しなどを行った。

また、アバター共生社会倫理セミナーシリーズを2022年4月24日、6月12日、7月31日、2023年2月19日に開催した。児童精神科医、e-Sport 団体、高齢者福祉団体、認知科学者、倫理学者、哲学者、人類学者など多様な分野の専門家を招き、議論をした。アバターに関連する問題として、対面でのコミュニケーションをノーマルと考える固定観念、「対面神話」を克服することが重要ではないかという論点があった。2022年9月16日にはネット上のハラスメントや炎上をテーマにした公開シンポジウムを開催した。2022年11月5日にはアバター共生社会倫理シンポジウムを実施した。一方でデジタル環境に関連するハラスメント、健康上の問題、嗜癖、アバターの普及に伴う経済的課題などについて注意すべきことなどが論じられた。

課題推進者：久木田水生(名古屋大学)

## 研究開発課題4：プライバシー問題の研究

当該年度実施内容：

### (1)CA の利用とプライバシー

CA 利用におけるプライバシー問題を検討した論文として、「自己イメージの形成とアイデンティティ権—メタバースのアバターを中心に—」総務省情報通信政策研究(近日発刊)を執筆した。この論文は、メタバース内で活動するアバターの背後に存在する操作者(本人)に対し、アバターの利用を通じた人格的同一性の保持に関して付与し得る人格権ないしは人格的利益を検討したものであり、いわゆる「アイデンティティ権」の可能性にも言及した。

### (2)CA のなりすましとプライバシー

CA のなりすまし問題を検討した論文として、「アバターのなりすましを巡る法的課題—プライバシー保護の観点から」総務省情報通信政策研究第6巻第1号(2022年12月)を公表した。この論文では、アバターのなりすましに関するパターンを先行研究などから3つに整理した上で法的課題を整理し、適切なID管理の方法として、本人確認技術、本人確認のための第三者認証制度、アバターの登録制などにも言及した。

また、総務省「Web3 時代に向けたメタバース等の利活用に関する研究会(第5回)」(令和4年12月2日)において、「仮想空間におけるプライバシー：アバターの不正利用を中心に」というタイトルにて報告を行った。

課題推進者：石江夏生利(中央大学)

## 研究開発課題5：アバター法の研究

当該年度実施内容：

### (1)法制度(法令その他の規範)及び個別の検討課題抽出の実施

CA の研究開発、利用、社会実装及び受容性に係る法的課題について、従来からの ELSI 課題の抽出や分析にとどまらず、「サイバー」と「フィジカル」の双方の問題が融合する「サイバー・フィジカル・システム(CPS)」の研究開発及び利用に伴う法的課題の展開も踏まえた CA に係る法律論を「アバター法」と称し検討に着手したことを踏まえ、CA を社会において利用するにあたって検討が必要な法的課題を研究するとともに、それらを用いた技術が社会においてスムーズに利用されるための社会的受容性のあり方についても

検討を実施した。

法制度(法令その他の規範)については、個別の検討課題を通じて、具体的に解決が必要な法的課題を現行法の枠組みにとどまらず、新たな法整備やガイドライン等の規範策定も含めた提言を行うことにより研究するため、CA を社会において利用するにあたって検討が必要な法的課題の類型化を検討した。これらの成果は国際学会にて報告した。

## **(2)国際標準となり得る基本理念や原則の定立、法整備に向けた提言及び新たな社会規範の提案に係る研究**

①CA の利用に伴う法令遵守に必要な基準(法解釈の明確化)、②統一かつ実効性ある法執行のための体制(統一的・機動的な対応及び確実な法執行に必要な体制及び基準)、③国際基準に対応した施策立案の基礎となる知見の提供や執行体制及び越境執行協力のあり方(国際的な調和)について提言を行うことにより、社会制度の構築に向けた具体的な取り組みを実施した。国内だけでなく国際的な法制度の比較法的視点による考察を踏まえて、CA の利用において求められる必要な原則の検討を行った。

国際標準となり得る基本理念や原則の定立、法整備に向けた提言及び新たな社会規範の提案に係る研究を行うため、AI 及びロボットに関する制度的課題の検討を行っている国際会議における報告を積極的に実施するとともに、各国の研究者をはじめとするステークホルダーとの意見交換を行い、国際機関へのルール形成のための取り組みの必要性を提唱するとともに、国際標準となり得る基本理念や原則の定立を目指した。AI 原則については、Fumio Shimpō, Kimie Hatakeyama, Hideyuki Matsumi, The Japanese Characteristics of Corporate AI Ethical Principles, We Robot 2022, Washington University において、AI 原則の分析とともに我が国特有に原則策定の系譜及び展開について国際会議報告を実施している。

**課題推進者:**新保史生(慶應義塾大学)

## **研究開発課題6:アバターの社会実装課題研究**

**当該年度実施内容:**

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

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

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

**課題推進者:**湯浅壘道(明治大学)

### 3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

#### (1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

##### 代表機関のPM支援体制チーム

PM支援体制チームは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:** 第三回運営会議(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2023年2月27日に開催した。令和5年度より新たに研究開発項目7課題5(袖山慶直・SONYグループ)及び研究開発項目8課題5(Alberto Sanfeliu・カタルーニャ工科大学)が参画する旨承認があった。アバター共生社会企業コンソーシアムより3団体の連携機関、52団体の情報会員、アバター共生社会倫理コンソーシアムより23団体の情報会員が新たに参画した旨報告がなされた。最後に、各課題推進者より連携機関の参加報告がなされた。

##### 研究開発機関における研究の進捗状況の把握

**サイトビジット:** PMによる全課題推進者への第三回サイトビジットを2022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、もって課題推進者間の今後のさらなる連携を促した。同様の第四回サイトビジットを2022年12月に実施した。

**課題推進者会議:** 2023年1月21日及び22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二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、中間評価後、さらには2025年以降の研究開発を見据えて、各々の課題推進者が現状の研究開発課題をディスラプティブな仕方で拡張・発展し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。今年度の主な成果は、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ことである。合計で6件の共有があった。1) 研究開発項目2課題1(河原)による音声合成ソフト、2) 同課題による実環境実時間音声認識キット、3) 同項目課題2(猿渡)による音声変換ソフト、4) 同課題によるリアルタイム音声強調プログラム、5) 同項目課題4(李)によるCG-CA 2体(2Dジェネと3Dルビカ)の対話システム、6) 研究開発項目7課題1(宮下)によるSota100遠隔接客データセットである。このように、主に、音声関係の基礎研究を担う研究開発項目2から多数の技術がプロジェクト全体へ



と提供されたことは大変喜ばしいことである。基礎研究グループと、CA 開発グループや実証実験グループとの連携が促進し、実社会において有効に動作する CA 開発の進展がますます進んでいくと期待される。その他、研究開発項目1課題5(吉川)と研究開発項目4課題1(長井)との連携(前者が開発した複数対話システムと、後者が開発した複数 CA 制御システムの統合)や、研究開発項目3課題2(黒瀬)と研究開発項目6課題4(住岡)との連携(前者が開発する診断システムのために、後者が統合失調症患者のデータを提供)など、多くの連携が見られた。今後想定される項目外連携の事例は CA の技術開発を担当する研究開発課題と生体影響調査を担当する研究開発課題との連携であり、これにより一般の人にとっても操作性の高く健康に安心な CA の研究開発が進展することであろう。なお、研究開発体制の構成上、このような連携は自然と生じるようになっていることを付記しておく。項目ないし課題ごとに異なるモダリティの研究開発に取り組ませることで(例えば研究開発項目2では音声対話・研究開発項目3では知識・概念)、モダリティごとの要素技術を単一の CA において統合させようとする際には、必然的に連携が生じる仕組みとなっている。

2022年9月及び2023年3月に実施された第三回及び第四回の統合実証実験デモでは、研究開発課題毎に開発した要素技術の一つの CA へと統合させた成果を萩田 PD をはじめとする JST のスタッフにご覧いただいた。例えば、研究開発項目5と項目7との連携による、複数 CA による多地点遠隔受付業務のデモ、研究開発項目2内の要素技術を統合させた騒音環境での音声認識技術のデモ、研究開発項目4内の要素技術を統合させた遠隔操作移動 CA による配膳・給仕・病院巡回タスクの同時操作のデモなどをご覧いただいた。

以上のように本プロジェクトは連携を推奨しつつも、同時に、課題推進者間での競争意識が自然と高まるように複数の研究開発課題のあいだで課題が微妙にオーバーラップするようになっている。例えば、CA 操作のためのインターフェース開発は複数の研究開発課題が取り組んでおり、それぞれ異なったアプローチのもと独自のインターフェースを開発している。今年度は、研究開発項目1課題1(石黒)からは CA 動作を操作する際の認知的負荷を低減するインターフェース、研究開発項目7課題3(西尾)からは高齢者にとって分かりやすい操作ができるインターフェースなど、多様な成果が提示された。これらの成果は異なる文脈のもとで開発されたものであるため互いに排除し合うものではないが、お互いに切磋琢磨しながらより良いインターフェースの作成を目指すことで得られたものである。

今後は、プロジェクト外との連携を強化していく予定である。とくに、目標1内の他プロジェクトとのプロジェクト間連携を進める。金井 PM のプロジェクト「身体的能力と知覚能力の拡張による身体の制約からの解放」とは、本プロジェクトの研究開発項目6「生体影響調査」を中心に連携を進める。金井プロジェクトが開発する BMI 装置を体験する際の生体データを取得し、本プロジェクトの測定・解析技術により生体影響を調査する。侵襲型 BMI による CA 操作技術の研究開発を進める研究開発項目4課題6(平田)の主導のもと、金井プロジェクトにおける非侵襲型の IoB 技術との融合・共進化を目指す。次に、南澤 PM のプロジェクト「身体的共創を生み出すサイバネティック・アバター技術と社会基盤の開発」との連携については、本プロジェクトが開発する様々な CA の提供が考えられる。分身ロボットカフェ DAWN などで活躍する障害者の活動の幅をさらに広げ、CA 技術がもたらす新たな能力拡張のあり方を探っていく。

### 研究開発課題の追加・廃止

研究開発課題の追加については、令和4年度より新たに研究開発項目2課題5(駒谷)の追加があった。本課題は、CA が自律対話を行う際に生じる対話破綻に対応する技術について研究開発していく。対話破綻の前段階において生じる認識誤りを検出する技術や、破綻が検出された場合であっても対話を継続させる技術によって、自律対話と遠隔対話をスムーズにつなげることが目的である。2022年11月に公開された大規模言語モデル ChatGPT はロバスタな対話継続能力を有しており、CA の自律対話能力は飛躍的に向上すると考えられるが、ChatGPT だけでは対処不可能な事態が生じた際に、遠隔対話へとヘルプを求める機能の実現は依然とし

て追求していかなければならない。

令和5年度より、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)の追加が予定されている。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については、令和4年度を最後に、研究開発項目8課題4(石井)及び課題5(新保)の二つが廃止となった。これは、ムーンショット目標1内に、新規プロジェクト「アバターを安全かつ信頼して利用できる社会の実現」(新保 PM)として、CA利用に関する法制度の検討など元々石井や新保が担っていた課題を専門的に扱うプロジェクトが創設されたためである。

#### 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、昨年度は二度のシンポジウムを開催し(第2回シンポジウム4月16日開催/第3回シンポジウム11月5日開催)、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。とりわけ、第3回シンポジウムでは、特別講演の場にSF・ファンタジー小説家を招聘し、SFプロトタイプングの手法をもとに2050年におけるアバター共生社会の姿について講演を行ってもらった。SF作家などはまだ現実には到来していない社会の姿について発想豊かに、しかも科学的に整合的な仕方でも思い描くことに長けており、本プロジェクトが目指す社会におけるELSI問題について示唆に富む意見を提供してくれた。例えば、個人が抱える問題のなかで社会や制度の目がなかなか届きにくいもの(e.g.家庭内暴力の被害)に対して、アバターが社会においてインフラとして普及することで、社会的・制度的側面からアプローチできる可能性がより広まるとの示唆が得られた。今後も単に技術者や科学者のみならず、広く関係する専門家を募って議論を重ねていく必要がある。

#### 国際連携に関する取り組み

PMは2023年2月にドバイで開催された世界政府サミットに出席し、ドバイでの人脈形成に努めた。そこでドバイ未来財団(Dubai Future Foundation)などの関係者と、本プロジェクトとの連携を構想した。ドバイ社会ではアバター共生社会が描く未来像は好意的に受け止められており、様々な実証実験フィールドの提供が期待される。詳細は今後詰めていくことになるが、この連携が実現すれば、世界の中心的ハブ都市であるドバイを起点にして、本プロジェクトが開発するCA技術が世界中へと普及していくことが期待される。

令和5年度より参画する研究開発項目8課題5(Sanfeliu)を中心に、海外での実証実験を実施していく。令和5年11月に、研究開発項目8の他の課題推進者と共同でバルセロナにて実証実験を計画している。CAが社会においてどのように受容されるかに関して文化比較を行う。実証実験と並行して、CAの社会受容性に関するシンポジウムを開催し、現地の市民を巻き込んでCA共生社会のあり方について議論する予定である。

## (2) 研究成果の展開

### 知財戦略

上述のように、全課題推進者における知的財産情報を高度に活用した研究戦略及び知的財産戦略の策定

のために、知的財産プロデューサーの派遣事業を活用した。知的財産プロデューサーには、本プロジェクトの全課題推進者について知財調査、知財発掘、事業化検討、そして戦略策定の協力を要請した。

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。結果として令和四年度では計十件の特許出願・取得があった。また、今後の特許出願に向けて計四件の事案が準備中である。

### 技術動向・市場調査

2022 年秋に OpenAI 社が発表した ChatGPT は、大量の学習データをもとに構築された大規模なパラメータを有する言語モデルを基盤として、人間のテキストベースの発話に対して頑健かつ流暢なテキストベースの応答を生成することができるシステムとして、世間から大きな注目を集めている。本システムの登場は、本プロジェクトの研究開発と競合するものではなく、むしろ追い風となるものである。ChatGPT の登場により、これまでの対話システムの研究開発において大きな問題の一つとなってきた頑健かつ流暢なテキストベースの雑談対話の実現という課題は、基本的に解決されたと言ってよい。そこで、本プロジェクトの研究開発の強みである、音声系の技術（音声認識・音声強調・共有笑いの生成など）と組み合わせることで、音声をベースとしたリアルな自律会話の実現へと繋げていく。このように ChatGPT の登場により CA の自律対話技術に関する研究開発は急速に進展していくことが期待される。この進展に合わせて CA の遠隔操作技術の開発をますます進めていき、CA の自在対話技術の実現へとつなげていく。また、CA の自律対話機能が增强されることで、一人の操作者によって同時に操作できる CA の台数が増えていくことが予想される。複数体操作の技術開発をこれまで以上に加速させていかなければならない。

### 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。2022 年 4 月より、デジタルヒューマンなどの CG-CA を活用したリモート接客サービス「AVACOM」の提供を開始した。AVACOM は、人材不足等のニーズをもつ企業向けに、店舗や施設において CA を通して販売・受付・案内などのサービスを提供することを可能にしたシステムであり、その開発にはロボット学者としての PM の知見が広く活用されている。まず、国内最大級の保険選びサイト「保険市場」に導入され、CA が保険選びのコンサルタントとして活躍を始めた。すでに、CA によるコンサルタントの方がそうでない場合よりも、顧客が継続して二回目以降のAppointmentを取る確率が高いことが確認されている。また、株式会社ローソンと共同で、コンビニエンスストアへの導入も積極的に進めた。2022 年 11 月に東京都内でオープンされたグリーンローソン内にてローソンアバターストアを開業し、全国から募ったアバターオペレーターにより遠隔操作で接客・販売促進等の業務に就いてもらった。2023 年 3 月より大阪府のパークローソン千里店でも同様の事業を展開している。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。また、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。CA 技術を活用することで住民にとって魅力的な地域を創生していく試みである。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。

### グローバル展開戦略

上述のドバイでの世界政府サミットの出席の他、2023 年 2 月にはサウジアラビアにて DeepFest2023 に参加した。本会議では、世界最先端の研究者による AI・ロボット技術の発表の他、その社会実装における ELSI 課題に関する討論などが行われたが、PM 自身も発表者として、実際に存在感 CA・HI-6 を持ち込んで、遠隔にて講演を行った。「Avatar and the Future of Society」と題した講演では、本プロジェクトが生み出す CA 技術を実機をもとに説得的に提示しつつ、将来の CA 共生社会の姿を世界の研究者や政府関係者に対して提示することがで

きた。

### (3) 広報、アウトリーチ

**テレビ出演:**PMがNHK大阪放送局の番組「ぐるっと関西おひるまえ」のコーナー「体感！未来ノゾキミLab(ラボ)」や、NHKの番組「NHK ニュースウォッチ9」など、計五回のテレビ出演を行った。「ニュースウォッチ」では大阪・関西万博情報のコーナーに出演し、万博における本プロジェクトの成果展開について展望を語った。また、テレビ番組ではないが、PMによる英語での講義を収録した動画が学術動画プラットフォーム「underline」にて公表され、英語圏の学生等に対して本プロジェクトの概要を発信した。

**新聞・雑誌取材:**PMが日本経済新聞などの大手新聞社から計四回の取材に応えた。また他の課題推進者も積極的にメディアの取材に応じ、合計二六件の報道等を通して、研究開発の成果を社会へと周知した。とりわけ研究開発項目2課題1(河原)の成果はイギリスにおいて好意的に紹介され、The Guardian等の有名紙において報道された。

**プレスリリース:**プロジェクト全体では計九件のプレスリリースを行った。研究開発項目2課題4(李)などによるCG-CAの新モデルの発表、研究開発項目1課題1(石黒)による実証実験の周知、研究開発項目1課題6(港)などによるデジタル大臣CAの社会活用の発表などを行った。

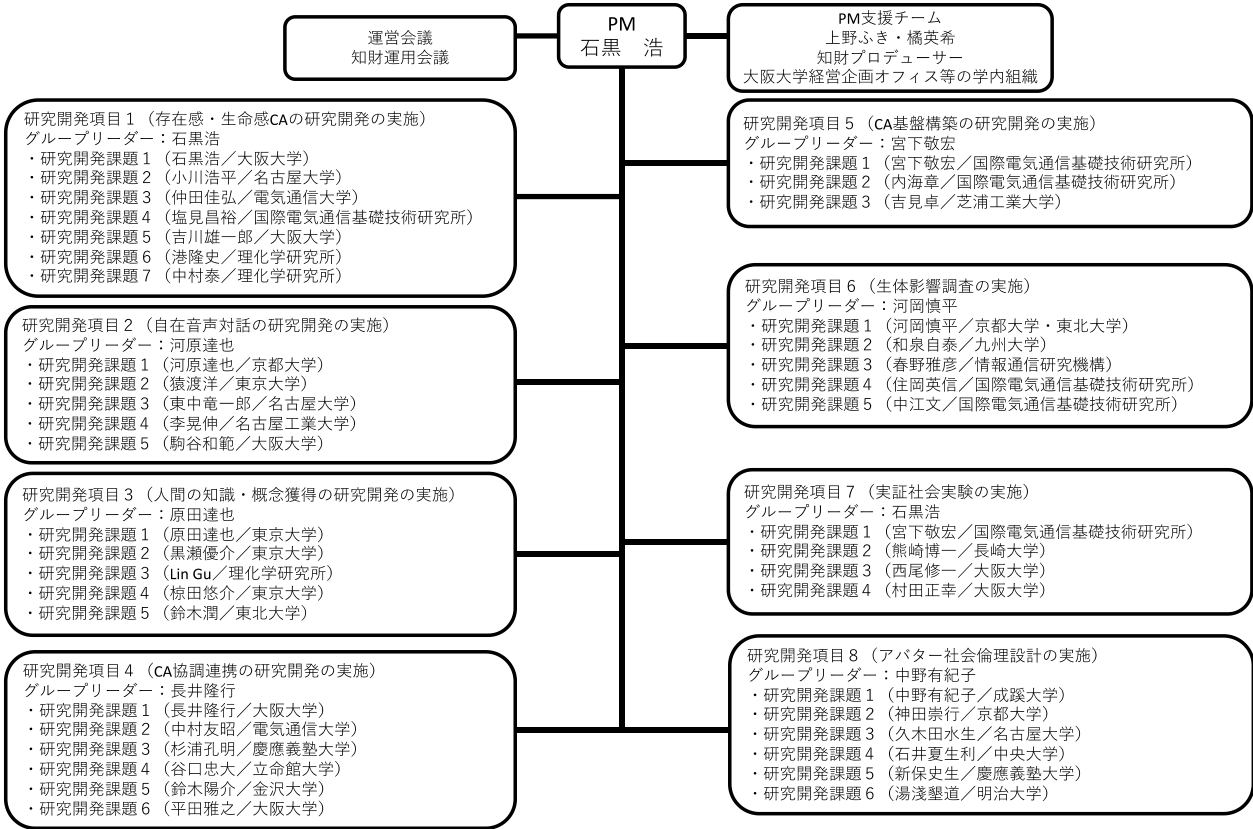
**アウトリーチ:**シンポジウムやワークショップ開催などのアウトリーチ活動については、プロジェクト全体で計三六件行った。当該年度においてとりわけ注力したのは、海外で開催される学術会議におけるワークショップであった(四件)。ICSRやRobophilosophyといった学術会議において本プロジェクトの成果を発信し、海外の研究者に対してCA研究開発の現状と展望について認知を広めることができた。海外からの研究協力をさらに募るための良い機会となった。その他、広く市民・学生が参加できるワークショップや見学会の開催も多数あり、社会の様々な層に本プロジェクトの意義を説明することができた。

**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。当該年度ではとくに動画による成果公表を充実させた。現在のところ計13本の動画を公開した。どれも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24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一四件あった。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(日本語の日常的な対話データと日本語と英語の対訳がセットとなった対話データ)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	10	0	10	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	10	0	10	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	77	33	110
口頭発表	95	49	144
ポスター発表	34	33	67
合計	206	115	321

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	13	92	105
(うち、査読有)	8	87	95

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	0	0	0
書籍	0	0	0
その他	17	0	17
合計	17	0	17

受賞件数		
国内	国際	総数
19	10	29

プレスリリース件数
10

報道件数
38

ワークショップ等、アウトリーチ件数
36