



## 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

## 2020 年度版

2020 年 12 月～2021 年 3 月

誰もが自在に活躍できるアバター共生社会

の実現



石黒 浩

大阪大学 大学院基礎工学研究科



## 研究開発プロジェクト概要

利用者の反応をみて行動するホスピタリティ豊かな対話行動ができる複数のC A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
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 科技ハブ産連本部バトンゾーン研究推進プログラム	チームリーダー
中村泰	理化学研究所 科技ハブ産連本部バトンゾーン研究推進プログラム	チームリーダー
河原達也	京都大学 大学院情報学研究科	教授
猿渡洋	東京大学 大学院情報理工学系研究科	教授
東中竜一郎	名古屋大学 大学院情報学研究科	教授
李晃伸	名古屋工業大学 大学院工学研究科	教授
原田達也	東京大学 先端科学技術研究センター	教授
黒瀬優介	東京大学 先端科学技術研究センター	特任助教
Lin Gu	理化学研究所 革新知能統合研究センター	研究員
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	准教授
谷口忠大	立命館大学 情報理工学部	教授
鈴木陽介	金沢大学 理工研究域	助教

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

## 1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

本年度(令和 2 年度)は実施期間も短いため、マイルストーンとしては、研究開発体制を整え、研究開発に関わる調査や準備を十分に行い、研究を開始することになった。

### 研究開発項目毎の当該年度実施内容及び達成目標

#### 研究開発項目1: 存在感・生命感 CA(サイバネティック・アバター)の研究開発

存在感・生命感を持つロボットや CG の CA と空間共有インターフェースの研究開発に取り組む。本年度は、概念設計及び詳細設計を行った。

また、生命感 CA に比較的近い小型遠隔操作対話ロボットを多数用いた遠隔操作実験を行い、遠隔操作ロボットの可能性を広く認知させた。

#### 研究開発項目2: 自在音声対話の研究開発

日常的な自然対話において、CA が遠隔操作対話と自律対話を、操作者の目的や状況に応じて臨機応変に切り替えるホスピタリティのある自在対話技術を開発する。本年度は、従来研究をどのように発展させるか検討しながら、研究開発の方向性を定めた。

#### 研究開発項目3: 人間の知識・概念獲得の研究開発

CA の高度な認識能力、CA 間での知識共有、操作者の意図理解に必要となる人間の知識や概念の獲得について、本年度は、従来の研究をどのように発展させるか検討しながら、研究開発の方向性を定めた。

#### 研究開発項目4: CA 協調連携の研究開発

複数 CA の同時遠隔操作・連携制御技術の研究開発に取り組んだ。1 人の操作者が同時に複数の CA を操作するには、タスクや環境に応じて、操作者の意図を理解しながら働く複数の CA を利用する技術が必要となる。本年度はシステムの基本設計に取り組んだ。

#### 研究開発項目5: CA 基盤構築の研究開発

多数の CA と操作者を結ぶ CA 基盤の研究開発に取り組む。多数の CA を多数の操作者が利用するには、両者を結び付ける情報インフラである CA 基盤が必要不可欠である。本年度はこの CA 基盤の基本設計に取り組んだ。

#### 研究開発項目6: 生体影響調査

CA 利用が生体に与える影響を、代謝物やホルモンや脳活動によって調査し、健康で安全な CA 利用を実現する。本年度は、その研究基盤作りに取り組んだ。また、遠隔会議システムを利用する実験を行い、血液を採取した。どのような代謝物やホルモン、脳活動が CA 利用に関係しそうか、CA 利用を模倣できる最適なシステムはなにか、といった検討もおこなった。

#### 研究開発項目7: 実社会実証実験

発達障害や高齢者に対する実証実験、複数の企業が連携する実証実験の管理運営及び

5G 利用の研究開発に取り組む。本年度は実証実験の場所を確保し、実証実験の方針を固めると共に、実証実験に用いるシステムの設計に取り組んだ。

## 研究開発項目8:アバター社会倫理設計

CA 利用における倫理・法律問題の研究と、モラルや文化等の社会学的側面を重視した CA の行動設計に取り組む。本年度は議論すべき課題を明らかにすると共に、モラルコンピューティングシステムの基本設計に取り組んだ。

## 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:(存在感 CA の研究開発)

最終的には、人間らしい姿形で、人間の持つ存在感に基づいてサービスを提供する存在感 CA を実現しなければならない。そのために、これまで課題推進者が培ってきたアンドロイド技術を基に、存在感 CA の概念設計及び詳細設計に取り組んだ。存在感 CA のデザインは社会的影響も考えれば非常に重要である。関係者と議論を重ねながら、広く受け入れられるデザインの実現に取り組んだ。

##### (CG-CA の研究開発)

存在感 CA の開発に時間を要することと、より広範囲における CA の利用を考えれば、CG-CA の利便性は非常に高い。そこで物理世界で活動する存在感 CA の開発に並行して、コンピュータグラフィックスの CG-CA の概念設計に取り組んだ。CG-CA のデザインや動作設計は専門のデザイナーと連携しながら進めた。

##### (CA 自在操作インターフェースのシステム開発)

存在感 CA や CG-CA、また生命感 CA を自在に操作するには、そのためのインターフェースが必要となる。ここでは、研究開発課題2と連携しながら、状況や目的に応じた CA 自在操作インターフェースの概念設計に取り組んだ。CA 自在操作インターフェースに用いるデバイスとしては、パソコン、タブレット、スマホ、VR ゴーグル、AR ゴーグルについて検討した。また、そのインターフェースに用いるモダリティとしては、音声、視線、表情、テキスト入力、タッチパネルなどを利用することを考察した。

##### (小型遠隔操作対話ロボット(CA)を用いた実証実験)

加えて、本年度は研究開発項目 7 の研究開発課題 1 と連携しながら、遠隔操作対話ロボット(CA)の可能性を検証し、解くべき課題を明らかにする実証実験に取り組んだ。具体的には、まちなね保育園(大阪大学内)、ニフレル(大型商業施設エキスポシティにある水族館)、イズミヤ(大型商業施設エキスポシティにあるスーパーマーケット)において、(株)サイバーエージェントと共に、CA を用いた実証実験に取り組んだ。CA としては、Sota という名称で販売されているロボットを CA に改良して用いた。まちなね保育園では、

高齢者がCAを遠隔操作して、園児の挨拶運動の相手をし、保育士と同レベルの返答率を達成した。また高齢者の業務への評価も高く、高齢者が意欲的に遠隔操作に取り組めた。ニフレルでは、6台のアバターを4人の操作者が操作し、館内案内や展示説明を行った。来場者の多くがCAと対話し、非常に人気のあるCAサービスとなった。イズミヤでは、CAによるレシピチラシ配布を行い、常設枚数の約5倍を配布することができた。また、自律ロボットとして話すよりも、CA(遠隔操作ロボット)であると明示して話す方が、来客がレシピを手にする率が高い可能性を発見した。

**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:**

(高臨場感を持つ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)

高臨場感CA情報提示インターフェースの概念設計と詳細設計に取り組んだ。認知レベルでの高臨場感は、CAと関わる複数の利用者の感情状態や、CAの意見に対する反応などの、遠隔からでは感知することが難しい利用者の情報を、CA操作インターフェースの画面にわかりやすく強調表示することが必要である。本年度はこれらについて概念設計及び詳細設計を行った。具体的には、対話中に操作者がCAの操作を通じて注視すべき領域を画面上に強調表示し、対話現場での、CAの適切な振る舞いを実現できるよう促すインターフェース設計を行った。また、設計されたインターフェースの完成形を評価できるよう、CGを用いたモックアップを作成した。

**課題推進者:**小川浩平(名古屋大学)

#### **研究開発課題3: 人間型移動ロボット存在感CAの研究開発**

**当該年度実施内容:**研究開始前に付き、該当情報なし。

**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:**

(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の設計指針構築に取り組んだ。具体的には、人体やロボットに簡単に取り付けることが可能な布型のタッチセンサを用いて、人がタッチセンサに触れた際にどのようなデータが得られるかを検証するためのデータ収集を行った。発展的な取り組みとして、装着型センサを用いて自己接触を検出してユーザを応援する発話を行うシステムを開発し、ストレス緩和効果に与える影響を検証した。これらのデータ収集及び実験結果に基づき、抱擁型生命感CAの設計指針を構築した。具体的には、自身に装着して利用する自己抱擁型生命感CA、小さなぬいぐるみのような形状を備えた小型の抱擁型生命感CA、および人とほぼ同サイズとなる大型の抱擁型生命感CAの3種類を想定し、その実現に向けて仕様を策定した。

**課題推進者:**塩見昌裕((株)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:

#### (生命感 CA の開発)

本年度は、生命感 CA を実現するために、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 の概念設計およびハードウェアの試作を行った。また、ハードウェアの試作と並行して、生命感 CA の制御用 API を整備し、動作確認を行い、無音の全身動作が可能であることを確認した。頭部表現のサンプルパターンを作成し、頭部フレキシブル有機 EL ディスプレイに描画し、頭部表現についての動作確認を行うとともに、生物としての生命感を持つ生命感 CA にふさわしい頭部表現機構の開発に着手した。

#### (連携対話の研究開発)

アバター対話システムについては、遠隔操作型ロボットの科研費プロジェクトや Society5.0 拠点形成事業のプロジェクトと連携しながら、ロボットをアバターとする対話機会を提供するオンライン会議システムである、半自律社会的 CG アバタールーム (CommU-Talk) を開発した。本システムでは、話している人のアバターがその人の声に合わせて手振りをするとともに、残りのアバターが話者アバターを注視したり、頷いたりする社会的応答機能を実装することで、バーチャル空間でありながら、対話感・同室感を持ちながら対話できることが期待できる。3 名 1 組を対とした被験者グループに、使用者の顔画像を表示する従来のオンライン対話システムと比較して、被注視感などの使用感を評価させる予備実験を実施した。

課題推進者: 吉川雄一郎 (大阪大学)

## 研究開発課題6: 存在感 CA の自在動作生成の研究開発

### 当該年度実施内容:

#### (操作者の状態を表出する存在感 CA の動作の自動生成)

本年度は、本研究開発課題において用いる存在感 CA の仕様について検討を行った。対話等のインタラクションに用いることを想定し、人型で、空気圧によって上半身の各関節が駆動する (移動機構なし) 仕様とした。顔部は、存在感と汎用性を両立するため、一見人に見えるが性別や年齢が特定されないような形状をデザインした。人らしいジェスチャが可能となるように、できるだけ四肢の重量を減らし、関節トルクを高める仕様を定めた。開発する CA を遠隔操作するためのシステムについても開発を進めた。CA を遠隔操作することで他者とインタラクションする場合、操作者は対面で他者とインタラクションする場合ほど、体を動かさない。CA の存在感を高める上では、操作者の無自覚的な動作はシステムが自律的に生成して CA に行わせる方がよい。そこで課題推進者らがこれまでに開発してきたアンドロイド・ロボットの動作生成システムを応用し、発話に伴う口唇動作や頭部動作を操作者の発話音声から自動的に CA 上で生成するだけでなく、遠隔地において発話している人に視線を向ける動作を自動的に生成する機能を実装した。CA のジェスチャについても、操作者の認知的負荷をできるだけ軽減するために単純なインターフェースでジェスチャを生成できるシステムの検討を進めている。

CA の動作生成に関しては、Conditional GAN(条件付き敵対的生成ネットワーク)に基づく上半身のジェスチャ生成の研究に取り組んでいる。人が話しながら自然にジェスチャを行ったデータを基に、音声を入力として、韻律特徴を抽出し、それを条件としたC-GANモデルの学習を進めている。CG エージェントに動作を生成し、被験者実験を通して人らしい動作が生成されることが確認できた。

**課題推進者:** 港隆史(理化学研究所)

## **研究開発課題7: CA の対話動作学習機能の研究開発**

### **当該年度実施内容:**

(複数人対話中の反応動作の生成モデル)

対話中の人間の動作の計測については、初年度である令和2年度は2名の対話シーンに限定し、データ取得の枠組みの設計及び予備実験的なデータ収集を開始した。2つの状況を想定して記録システムの構築と予備実験的なデータ取得を行った。1) 着座中における、頭部動作やジェスチャを含めた対話データの取得においては、向かい合った2名の対話中の動作について、時刻の同期を取った映像および音声の取得の枠組みを構築し、5ペアの対話シーンを記録した。また、ここで取得したデータに対する深層生成モデル(具体的には、Variational Autoencoder with Arbitrary Conditioning)を用いたモデル化を行った。2) 移動を制限しない一人称視点の対話データの取得においては、装着型のモーションキャプチャシステム及び視線計測装置を用い、立ち話など移動を伴うシーンでの対話についての計測システムの構築に取り組んだ。

以上のようなデータ収集を行うとともに、遠隔操作型のロボットを用いた対話アバターについても検討を行い、フレームワークの検討を行った。CAの遠隔操作を行う場合、簡便なインターフェースでは操作時に用いることが可能な遠隔地の情報が不十分になる。そのような状況で自然な振る舞いを生成することは容易ではない。例えば、移動機構を持つ遠隔操作アバターにおいては、対話中の対人距離などは遠隔地から知覚しにくいなど、半自律的な制御によるサポートが必要になる。一人称視点でのセンサ情報を用いて対話相手を含む環境へ反応する人間の振る舞いを生成モデル(確率分布)を用いてモデル化することで、状況に応じた自然でスムーズな動作を半自律的に生成するシステムの構築に取り組む。

**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:**

(実環境下における音声検出・認識)

本年度は音声強調・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するとともに、音声データベースの設計とベースラインモデルの構築を行った。音声強調については複数の手法を組み合わせる方法を検討し、音声認識との統合学習も実装した。



#### (人間レベルの自律音声対話)

相槌の生成や場をなごませるための共有笑いの生成について、入力から生成までの End-to-End 処理系の深層学習による最適化を検討するとともに、タスク設計とデータ収録環境の整備を行った。同時に複数人の傾聴を行うシステムにおいて、相槌生成を実装するとともに、共有笑いの生成も試みた。

#### (自律対話と遠隔操作対話の切替え・融合)

タスクとシステムの設計とデータ収録環境の整備を行った。同時に複数人の傾聴を行うシステムを設計し、プロトタイプを実装した。基本的な動作を確認するとともに、音声合成や対話制御などにおいて、技術的な課題を明らかにすることができた。

**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:**

##### (多様な利用者に対応できる自律 CA 用音声合成)

自律 CA 用の対話音声合成の基礎検討を行った。これまで課題推進者が培ってきた音声合成技術を進化させ、十分な音声品質・個人性再現度・応答速度を持つ音声合成技術の詳細設計に取り組んだ。具体的には、言語予測機能を持つ音声合成システムを実装し、その初期検討を行った。また、多様な音声個性を持つ、数百時間規模の音声コーパスの設計及び構築を進めた。

##### (自律 CA 発話と遠隔操作発話を同化させる音声変換)

本年度は、遠隔音声に対する音声変換技術の詳細設計に取り組み、同化のための基盤技術を構想した。来年度以降にその実装・評価を行う。

##### (実環境下における音声分離・強調)

本年度は基礎的な検討を行うとともに、CAと利用者の音響環境を模擬したデータベースの設計とベースラインモデルの構築を行った。具体的には、拡散性雑音中の音声抽出技術に関する初期検討を行い、大規模環境音データベースを購入・整備してその利用可能性を模索した。

**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:**

##### (対話知識獲得)

基礎的な検討を進めるための人間同士の対話データ収集を行った。傾聴、相談、接客という対話タスクを設定し、オペレータ役の二人の人間が一定時間ごとに入れ替わりながら、ユーザ役の二人の人間に対して対話サービスを行う対話を収集した。入れ替わる際は引継ぎのためのメモを交換することにした。対話データや引継ぎメモを分析することにより、CA が行うべき対話や引継ぎ方に対しての知見を得ることができる。本データ収集

では 10 分程度の対話を 30 個収集することができた。対話データベースの構築指針として、収集された対話データをもとに対話シナリオを構築するという指針を立てた。

#### (対話状況理解および可視化)

対話状況理解および可視化におけるタスクとして、対話要約に着目することにした。タスク指向型対話および非タスク指向型対話を念頭に置き、操作者が途中から対話に参加できるようにするための対話要約の実現を目指す。この基礎検討のため、対話データ収集ではオペレータ役の引継ぎメモを収集し、可視化の方式を検討する準備を整えた。対話実験環境の整備として、CA を表示するためのディスプレイとユーザのマルチモーダル情報を取得するためのモーションキャプチャデバイスを準備した。

#### (対話制御および制御インターフェース)

対話制御および制御インターフェースのタスクとして、データに基づく対話制御の研究に加え、操作者から CA に対話を引き継ぐ際に必要となる入力方式の研究に取り組むこととした。対話データ収集で得られた引継ぎメモを参考にし、操作者の話した内容を CA に伝達できるようにするための方式を検討していく。

**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:**

##### (CG エージェントの認知の研究)

音声対話用の CG キャラクターとして特に求められるデザイン要件を抽出し整理した。過去の対話性認知に関する研究や、映画等のコンテンツ業界におけるセオリー等を調査し、対話用 CG キャラクターに共通に求められる設計要件を「見た目・姿勢」「動作、表情」「反応性・アニメシー」「会話様式」に分類して各項目の洗い出しを行った。

一般人を対象としたインタラクションのデータ収集のための実験シナリオとして、受付案内、キャンパス案内、カウンセリング等について検討した。名工大のキャンパス案内システム「正門メイちゃん」を利用したキャンパス案内実験を将来行うめどを立てた。また、ストリーミング送受信の処理基盤である Apache Kafka を用いた大規模データ収集の仕組みのプロトタイプを実装した。

キャラクターの対話への影響を調べるために、実験に用いる CG キャラクターの類型に関する検討を行った。CG エージェントの表現上の禁忌等についてユーザの特性と合わせた調査が必要である。今年度はその調査のために、CG エージェントの表現の可能性を広くカバーする典型的なデザインセットについて考案した。来年度はこれに基づいて CG キャラクターのデザイン設計・発注を行う計画である。

##### (CG エージェントの対話生成)

来年度に予定しているプロの CG 操演俳優(いわゆる VTuber)による CG キャラクター操演対話のデータ収集の実施に向けて、対話タスクの検討およびデータベースの設計、収録内容に関する検討、機材の検証、システムの予備実装を行った。VTuber を幅広く視

聴している学生を中心にチームを研究室内で立ち上げ、VTuber に関する基礎調査を行った。実際の収録機材として、自動表情解析ツール OpenFace および全身モーショントラッキングデバイス Perception Neuron Pro の動作検証を行い、精度と遅延を検証するとともに、対話システム MMDAgent との接続を試行し、可用性の評価を行った。また、来年度からのデータ分析に向けて GPU マシンの調達・整備を行った。

(CG-CA 対話システムの研究開発)

遠隔操作対話のための操作者動作のリアルタイム伝送システムの設計と試作を行った。OpenFace と MMDAgent をソケット通信で繋ぐことで、オペレータの頭の動作、表情、口形を遠隔地の MMDAgent にリアルタイム伝送できることを確認した。また、遠隔操作時の音声とアバターの同期について、OpenFace の検出する Action Unit を口形に変換・伝送する方法、および音声認識(簡易な音素認識)を駆動して伝送音声から直接リアルタイムにリップシンクを行う方法を実装レベルで考案した。これらの開発のために、開発用 PC と Git サーバ用 PC を調達・整備し、システム開発を素早く加速して行うための分散開発環境の整備を行った。来年度以降、早期にプロトタイプシステムの実装を行い、研究開発グループ内で共有していく予定である。

課題推進者: 李晃伸(名古屋工業大学)

### (3) 研究開発項目3: 人間の知識・概念獲得の研究開発

研究開発課題1: 概念理解とマルチモーダル認識の研究開発

当該年度実施内容:

(未知・新規な状況を判断する技術開発)

問題整理と全体設計を行った。これまでに課題推進者が培ってきた、二次元静止画像からの未知の物体の判定技術をさらに進化させて、より現実的かつ複雑な状況においても、十分な未知・新規物体検出性能が得られるように、従来の手法の問題点の整理とその改善案を検討した。

(未知物体や状況に関する情報を獲得する技術開発)

問題整理と全体設計を行った。本技術課題を進めるには未知な情報を言語化し質問を生成すること、質問の意図を明確に回答者に伝えること、冗長な回答の中から欲しい情報のみを適切に抽出することが重要となるために、それぞれの項目に対して、課題推進者が開発してきたアルゴリズムの問題点を見直し、実世界の複雑性に耐えうるようなロバスト性を獲得するための方策を検討した。

(少数の教師情報からの知識や概念を構築する技術開発)

問題整理と全体設計を行った。人間から得られる回答量は多くはないため、少数の教師情報から知識や概念を効率的に構築する手法が求められる。そこで、Few-shot 学習、マルチモーダルな知識の転用、複数のエージェント間での経験の共有が重要となる。課題推進者は、few-shot 学習においてはクラス間学習、知識の転用に関して教師なしのドメイン適合の研究を推進してきており、その実績を進展させる方向で手法を設計する。複

数のエージェント間での経験の共有について、今まではシングルドメインの適合問題を課題推進者は取り組んでいたが、それを複数のドメインに拡張する手法を検討した。

**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:**

(意味理解コーパスの研究開発)

医療分野においては、様々な診療科が存在し、それぞれの科に特徴がある。また、対象とする疾患なども科によって異なり、電子カルテに存在する所見の情報も異なる。そのため、どの分野に対応した意味理解コーパスを開発するかというのも重要な要素となる。一方で、医療データには個人情報が含まれるため、データセット構築はその他のデータと比較して難しいという点がある。当該年度は、対象とする分野とデータの検討を行った。データとしては、CA 利用を想定すると、画像とそれに対応した電子カルテデータなどといった別モダリティのデータがあることが望ましい。そこで、放射線科や病理、内視鏡などさまざまな診療科のデータの検討を行った。

(医師の診断プロセスを考慮した診断支援システムの開発)

医療用画像処理やカルテ情報処理に関するデータは、その専門性の高さ故にアノテーションを付与するという行為は医師にしかできないというケースがしばしば存在する。そのため、開発するシステムは、一般画像処理等に比べると少量のアノテーションデータとなったり、詳細なアノテーションが得られないという状況下での開発が求められる。当該年度は、少量のアノテーションデータで開発するためのシステムの開発や弱教師付き学習による開発などといった学習の枠組みの検討を行った。本研究開発課題で開発する意味理解コーパスは、画像情報だけでなくカルテ情報など様々な情報を含むので、当該年度はそれらを含んで学習するマルチモーダル学習の枠組みについても検討を行った。具体的には、所見文の情報をを用いることでアノテーションコストを低減することを試みた。所見文中に存在する疾患の位置に関する情報を抽出して検出に利用することを検討した。

**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:**

(未知・新規な状況を判断する技術開発)

既存研究をまとめ、短期および長期記憶メカニズムの概念設計を行った。特に、短期および長期記憶メカニズムの間の情報交換の概念モデル証明の設計を行った。短期記憶が長期記憶に渡される際に、ノイズと非意味的情報は削減する必要がある。従って、ノイズと非意味的情報の削減のために、情報ボトルネック機構を導入し、短期記憶と長期記憶間の相互情報量を最大化させた。

人間において、夢は短期記憶から長期記憶への変換において重要な役割を果たしている。そこで、人間の夢をシミュレートするための覚醒-睡眠手続きも設計した。特に、覚醒フェーズにおいては、覚醒時のデータから人間が学習することをシミュレートした深層

学習モデルの学習には、メモリ内の実際の情報が使われる。睡眠フェーズにおいては、拡張情報を生成し、夢を見ているような状態をシミュレートする。この拡張された情報は、抽象的で意味のある情報だけを長期記憶に渡すように、モデルの抽象化能力を訓練するために用いられる。

(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)

既存の研究をまとめ、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コンセプトの設計を行った。放射線科医が 3D の CT データを読影する際に、最初にスライス全体を見て、患者の全体的な状態を把握した上で、特定のスライス上の疑わしい領域に焦点を当てる。このことを実現するために、まず、すべてのスライスをひと目で確認できるようにするため、軽量なモデルを用いて空間記憶機構を設計した。この空間記憶は主たる深層学習ネットワークが症状を見て最終的に診断する助けとなる。

(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)

既存の研究をまとめ、人間の個性を考慮する記憶機構の研究開発に注力している。この機構はこの個性を維持する感情分析アルゴリズムを用いることを予定している。

**課題推進者:** Lin Gu (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:**

(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)

実世界における複雑な非線形性を有する時系列の例として、複数人物からなる運動の時系列に着目した。これらの時系列の特徴として、人物の順序を入れ替えても予測結果は不変になるべきという順序変換の共変性がある。これを踏まえて既存の主要な時系列予測手法である Long Short Term Memory Network を順序変換共変性を持つように拡張する手法を考案し、ベースラインの実装を行った。実際に複数物体からなる動画データセットを用いて予測の評価を行い、順序変換共変性を持たない通常の予測モデルよりも良い予測性能を持つことを確認した。

時系列間の関係性のモデリングについて、時系列通しの因果関係推定のための基礎技術であるデータ間の相互情報量の推定手法について考察した。従来のニューラルネットワークによる関数近似に基づく相互情報量の下限推定手法だと推定の分散が大きくなるという問題がある。もともとの推定量が二つの分布における統計量の差分で計算される点に着目し、その分散低下のためにデータ分布の周辺尤度に基づくベースラインを推定量から引く手法を提案した。簡単な人工時系列を用いた実験により、推定量の分散は低減するものの、むしろ相互情報量推定においては下限のタイトさの方が重要であることが示唆された。

時系列間の因果関係予測手法である Transfer Entropy において、入力時系列間の余分な相関を抜くことでより詳細な因果関係を推定できる手法である Intrinsic Transfer Entropy について調査を行った。Intrinsic Transfer Entropy は計算内で確率分布の変換に対する  $\inf$  を取る必要があり、元々対象としている離散的な時系列では確率分布の変

換の自由度は有限のため上手く行くが、連続的な場合変換の自由度が大きくなりすぎて  $\inf$  が実質的に意味を持たなくなる可能性がある。このような場合でも Intrinsic Transfer Entropy が意味を持つのか、連続的な場合にどのようにモデルに制約を加えれば有用な因果指標となるかの調査考察が今後の課題となる。

**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:**

(CA 利用に即した汎用意味理解技術の研究開発)

CA 利用においては、CA と操作者、あるいは、CA とユーザは、事前にまたは対話を通して知識の共有がなされていることが仮定されるため、この状況を考慮した意味理解を実現する必要がある。そこで、CA 利用に即した汎用意味理解タスクとして以下の問題を設計した。

1. 文章中の単語またはフレーズに対して、CA が知っている概念か知らない概念かを特定する用語特定タスク
2. CA とユーザあるいは CA と操作者が共有する知識に起因する省略や代名詞化を解決する外界照応タスク

タスク 1 または 2 両方とも言語的な外部知識(辞書やシソーラス等)を補助情報として活用することが求められる。

CA 利用に即した汎用意味理解の必要要件として、(i) CA 自身が知っている、或いは、知らない用語や概念を把握できる仕組みがあること、(ii) CA と操作者、あるいは、CA とユーザが事前にまたは対話を通して行った知識の共有に基づく省略や代名詞化の外界照応問題を解決する仕組みがあること、(iii) 外界照応を解決するために、その場で与えられる文章のみならず、外部知識を持っている前提で意味理解を実行できる仕組みを持つこと、の三点を取り上げ、本課題において解決すべき要件とした。

(マルチモーダル意味理解の研究開発)

上記と同様、タスクの設計と必要要件について考察した。ここでは、上記項目にて作成されるデータに視覚情報から得られる物体などの情報を統合し、新たなマルチモーダルタスクとする。

なお、マルチモーダル意味理解の必要条件は、基本的に上記項目の要件と一致すると考えられる。ただし、取り扱う外部知識の一種として、視覚情報から得られた情報も追加して扱えることが要件となる。例えばタスク 1 では、視覚情報を追加することにより、言語的に未知情報であっても、視覚情報としては既知であるといった場合があり得るので、こういった場合に視覚情報と言語情報を融合して処理する仕組みが追加の要素となる。以上のことから、CA 利用に即したマルチモーダル意味理解に関しては、上記項目で扱うタスクに対して、まずは視覚情報を追加したタスクを本課題において解決すべき要件とした。

**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:

(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。当該年度は、次年度以降の研究開発を効率よく推進するために、CA の操作システムや学習システムの検討を行った。具体的には、遠隔操作のコマンド/センサ時系列を分節化し、意味のある行動セットを学習することで、その行動をベースとした複数エージェントへの行動割り当て問題として解く手法(ルールベース)、およびマルチエージェント強化学習によって解く手法(学習ベース)の二面から進めることを検討している。また、操作システムとしては、画面型やAR型のインターフェース、およびセンサ情報のフィードバックについて検討し、来年度の実装に向けて方向性を定めた。BMIを用いた操作についての検討も開始した。さらには、遠隔操作において問題となると考えられる通信の遅延を解決するための動作予測に基づく手法を検討し、0.5 秒程度の通信遅れであれば予測制御によって補正できることを示した。

(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、次年度以降に複数台のロボットを制御する基盤システムを構築するにあたり必須である ROS1から ROS2への移行を検討した。検討の結果、ROS1 を完全に ROS2 に移行することは、現状の資産をすべて書き換える必要があるという大きなデメリットがあるため、ROS1 によるブリッジで複数台同時制御を実現する方針とした。実際に ROS ブリッジのシステムを構築し、2 台のロボットを同時に操作できることを確かめた。また、来年度以降に使用するロボットの策定を進めた。

(インフラ整備と実証実験の実施)

当該年度は、実証実験や大阪・関西万博でのデモンストレーションを見据えた実験環境の検討を進めた。具体的には、家庭環境を大阪大学の実験室に構築すると共に、電気通信大学とも協力して双方で通信して実験のできる環境を検討した。また、家庭内タスクとして、片づけタスクや洗濯タスク、料理タスクを検討した。また、病室タスクを実現するために、病室環境を構築する実験室の確保と、協力関係を構築できそうな病院の検討をスタートした。

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:

(複数 CA によるタスクの階層構造を利用した制御)

当該年度は、単一の CA によるタスク構造を学習するモデルの構築を行った。図 1 が提案手法の概要図であり、タスク実行中に得られるロボットのセンサ情報  $S$  を分節化し、類似したまとまりに分節化しタスクの構造を学習可能なモデルである。ただし、単に従来の分節化モデルを利用するだけではロボットから取得可能な高次元の情報を扱うことができない。そこで提案手法では Variational Autoencoder を用いて、分節化しやすいよう圧縮しつつ、同時に分節化を行う。

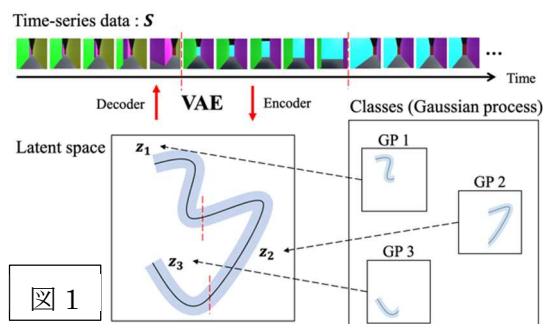


図 1

(学習モデル構築のためのフレームワークの開発)

当該年度は、時系列の階層構造を学習可能なモデルの定式化を行った。図 2 が本研究課題で開発を目指しているモデルである。このモデルでは、時系列データ  $S$  を階層的に  $z_*^{(1)}, z_*^{(2)}, z_*^{(3)}, \dots$  と分節化することで、データに含まれる階層的な構造を教師なしで学習可能である。

ただし、このモデルは構造が複雑なため、単純には学習することができない。そこで、これまで課題推進者が開発を進めてきた近似的学習フレームワーク Serket でこのモデルを学習可能とするため、隠れ変数を推論するための式を以下のように定式化した。

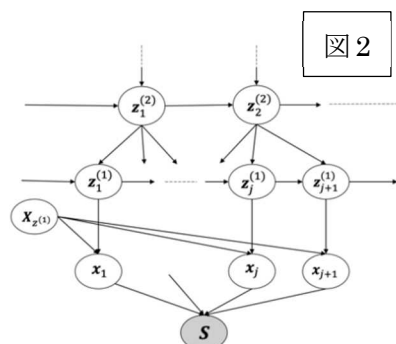


図 2

$$\alpha^{(l)}[j][k][l] = P\left(z^{(l)} = z \mid \bar{z}_{j'}^{(l+1)}\right) P\left(z_{j-k:k}^{(l-1)} \mid z^{(l)} = z\right) \sum_{k'=1}^K \sum_{z'=1}^Z P\left(z^{(l)} = z \mid z^{(l)} = z'\right) \alpha^{(l)}[j-k][k'][z']$$

この式では、 $l+1$ 層目で計算される確率  $P\left(z^{(l)} = z \mid \bar{z}_{j'}^{(l+1)}\right)$  を利用して  $l$ 層目の前向き確率  $\alpha^{(l)}$  を計算することができる。すなわち確率  $P\left(z^{(l)} = z \mid \bar{z}_{j'}^{(l+1)}\right)$  をメッセージとして各層でやりとりすることで、従来の Serket のフレームワークで同様に扱うことが可能となる。音声を用いた予備実験によって、このモデルによって 2 階層の構造である文字と単語を学習可能であることが確認できた。

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:

(人機連携によるクロスモーダル自在対話の研究開発)

家庭や病院等において CA が利用者の支援を行うにあたり、薬の手渡しや物理的補助時に衝突可能性がある動作など、人間による遠隔操作やモニタリングが、社会通念上求められるタスクが存在する。これらのタスクでは、動作の承認・緊急時の遠隔操作・モニタリング等をオペレータが行い、それ以外の状況では機械がタスクを遂行することが望まし



い。この背景のもと、状況や確信度に応じて最適な人機連携が可能なクロスモーダル自在対話技術を構築する。本年度は、クロスモーダル自在対話モデル用学習データ収集手段を構築した。具体的には、家庭・病室環境等をサイバー空間上にリアルに再現したデジタルツインシミュレータ(DTS)を構築し、100 万枚を超える大規模画像データセットを収集した。さらに、言語データと非言語データを対応付けたマルチモーダルデータセットの構築に着手した。

(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。日用品を持ってくる等、社会受容されやすいタスクを対象とするとともに、自律性の高い複数の CA によるタスク連携を対象とする。本年度は、複雑な自律連携タスクにおいて、クロスモーダル自在対話を実現するための汎用的な事前学習手法を構築した。標準的な評価尺度を用いて評価を行い、相対タスク失敗率を 30%改善した。

**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:**

(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)

当該年度は、現場環境での学習に基づくナビゲーションを実装した。具体的には場所概念学習のための SpCoSLAM を発展させたナビゲーション手法である SpCoNavi をソフトウェア環境において構築し、次年度以降で発展させていく適応的自在プランニング・ナビゲーションの準備を行った。また次年度以降の開発のために機械学習用の大規模計算機を導入した。

(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)

当該年度は、日常物体 CA マニピュレーションの環境を構築することをマイルストーンとして、家庭環境や基本的なマニピュレーターの実験環境を整備した。具体的には大学の実験室において家庭環境を模した実験環境を構築すると共に、マニピュレーターの実験環境を構築した。

(生活物理支援自在化フレームワーク開発と実証)

当該年度は、生活物理支援自在化フレームワークのプロトタイプ設計を行うことをマイルストーンとして、多種 CA や多種環境に関して効率的に CA システム開発するためのソフトウェア開発環境を整備し、プロトタイプの実証を行った。具体的にはコンテナ化技術を用い生活物理支援 CA のための分散型ミドルウェアを同一のローカルネットワーク環境に高速に導入するための環境を構築した。

**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:

(触・近接覚センサに基づく自在操作技術の開発)

CA が手を用いて環境や対象物とのインタラクションを知覚するための触覚・近接覚センサの開発、及び、同センサを用いた動作制御を行う手法の開発に関して、開発方針の検討とその制御構造のベースの検討を行った。

遠隔操作される CA に対する入力、複数の階層的な指令値として与えられると考える。例えば、上位の指令には、操作者による手先位置・姿勢の目標値の指令、あるいは CA が所有する知識に基づき計画される動作軌道などが該当する。一方、下位の指令には、触覚・近接覚センサフィードバックによる対象物との接触・接近の状態から生成される動作指令などが該当する。このことから、CA による自在化マニピュレーションの制御構造として、上位の指令(あるいはその背景にある操作者の意図)に基づく目標値に可能な限り忠実に動作しながら、CA が直接知覚する触覚・近接覚センサ情報に応じて目標値の補正を行う制御構造の開発を進めることとした。ここで、触覚・近接覚は多くの情報を含むものであるため、センサフィードバックに基づく補正には、センサレベルの反射的動作生成を複数組み合わせる制御構造を用いた手法の開発を進める。これには、従来開発を進めてきた動作プリミティブの重ね合わせによる制御が応用可能である。

最もシンプルな構造の CA の手として、1 自由度の平行グリップに触覚センサを付与した一次試作機を製作し、いくつかの触覚に基づく動作プリミティブを導入した半自律制御による物体把持の試験を進めた。

課題推進者:鈴木陽介(金沢大学)

## (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:

(CA 基盤の構築)

多数の CA と CA 操作者を結び、CA サービス提供を可能にするソフトウェアプラットフォームとしての CA 基盤は、「利用者・CA モニタリング層」、「CA 経験管理層」、「階層的 CA 連携層」、「操作者割り当て・遠隔操作層」の4つの階層での構成を想定している。令和2年度は、大阪・関西万博などの大規模実証での活用を前提としつつ、多くの利用者(企業、および一般利用者を含む)が継続的に利用したくなる、CA のためのソフトウェア基盤として、全体アーキテクチャの検討を行った。基本的なコンセプトとして、まず、利用者の利用形態のダイバーシティへの対応を考慮し、CA、CA 操作インターフェース、CA サービスそれぞれを別々に開発可能にして、CA 業界全体の水平分業によるバリエーションの充実を目指す。次に、CA サービスの経験を蓄積し、共通部分の抽出・モジュール化・再利用促進による、使えば使うほど使い易くなっていく CA インターフェースおよび CA サービス開発の簡易化を目指す。これらのコンセプトに基づき、全体アーキテクチャを設計した。さらに、この全体アーキテクチャに沿って、最もシンプルな構成の CA 基盤を初期プロトタイプとして定め、その仕様を検討した。

#### (階層的 CA 連携層の構築)

ここでは、複数異種のタスクを組み合わせた CA サービスを実現するために、複数の CA がそれぞれの自在化技術のレベルに応じて階層的に、あるいは並列に連携することを想定して、複数の CA の組み合わせ手法とその手法を実装した CA 基盤における階層的 CA 連携層を構築する。そのために、令和 2 年度は、CA 2 種類(実機 2 種類)に対応する CA データベース、および模擬 CA サービス 3 種類(受付、案内、見学)に対応する CA サービスデータベースの初期プロトタイプ仕様を策定した。ATR のエントランスおよび共有スペースにおいて CA が提供する受付・案内・見学サービスを想定し、そのサービスでの利用が予定されている設置型 CA(アンドロイド型ロボット)と移動型 CA(Double Robotics 社製 Double3)の 2 種類の実機に対応する CA データベースの初期プロトタイプ仕様を、ユビキタスネットワークロボットプラットフォームにおけるロボット台帳の項目を参考に策定した。模擬 CA サービスについても、同様に ATR エントランス・共有スペースでの受付・案内・見学サービスをベースとしてサービス内容の記述方法を検討し、本研究プロジェクトで国際標準化が進められている Robotic Interaction Service (RoIS) および Robotic Service Ontology (RoSO)を参考にして、CA サービスデータベースの初期プロトタイプ仕様を策定した。

#### (操作者割り当て遠隔操作層の構築)

多数の CA 操作者と CA を、CA サービスに応じて組み合わせる「操作者割り当て・遠隔操作層」を構築する。CA 操作者を割り当てるためには、CA 操作者が有する能力、遠隔操作練度、遠隔同時操作可能台数、遠隔操作経験、操作可能な時間帯、などの情報が必要になる。これらの情報をデータベース(CA 操作者データベース)に登録し、逐次更新することで、CA サービスが予定される時間帯に遠隔操作可能な CA 操作者を割り当てる。令和 2 年度は、CA 操作者が自宅で操作する場合に対応した CA 操作者データベース初期プロトタイプの仕様を策定した。CA 操作者が自宅で操作する場合、先に述べた CA 操作者割り当てに必要な情報に加えて、自宅での操作環境の情報が必要になる。自宅での操作環境の情報として必要な項目は、ネットワークの接続形態、ネットワークスループット、操作者以外の人の有無、操作端末の種類、オーディオヘッドセットの有無などである。これらの項目について、データベースの初期プロトタイプの仕様を検討し、ER 図などを用いて初期設計を行った。

#### (CA 基盤機能実証実験)

CA 基盤の各機能の有効性を検証するため、本研究開発課題の項目(1)で構築される CA 基盤プロトタイプを活用し、模擬 CA サービスの提供を通して CA 基盤機能実証実験を実施する。令和 2 年度は、模擬 CA サービス提供場所(広域単地点・低顧客密度)として、ATR のエントランス、およびその周辺の共有スペースを選定し、CA 基盤機能実証実験環境を構築した。CA を構築する研究開発項目1の研究グループ、社会実証実験および実証実験基盤を構築する研究開発項目7の研究グループと連携し、ATR のエントランスで、CA による受付・案内サービスを提供することを前提として、遠隔操作者と繋ぐためのソフトウェア基盤を稼働させるオンプレミスのサーバー、および CA サービス提供時の

操作ログやセンサ情報を蓄積するための大規模ストレージを ATR 内のネットワーク上に構築・設置した。CA 基盤機能実証実験を実施する環境(ATR エントランスおよび周辺の共有スペース)から、ATR 内のネットワーク上に設置したオンプレミスサーバおよび大規模ストレージにデータを蓄積・読み出しできることを確認した。

**課題推進者:**宮下敬宏((株)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:**

(利用者・CA モニタリングの研究開発の実施)

研究開発課題1と共同でマイクロサービス群、履歴データベースを含む CA 基盤全体の構成案を作成した。次年度実施する ATR 玄関受付サービス実験を想定し、同実験で得られる利用者(来訪者)のモニタリングデータ、操作者の CA 操作履歴のデータフォーマットについて調査を進め、実験仕様を策定した。

次年度以降の実験において 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活動モニタリングデータを蓄積し、CA 経験を統括管理するため、大容量のディスク装置を高速ネットワークで結合した活動モニタリング用計算サーバの整備を進めた。

(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)の蓄積を行う必要がある。本年度実施した CA 経験管理層の初期モデルの設計では、CA 基盤上で稼働する様々なタスクに対応したサービスで得られる活動モニタリングデータを蓄積するために、各サービスを階層構造を持つマイクロサービス群の組み合わせによって構成し、サービス階層毎にモニタリングデータの蓄積・再利用を行う経験管理層の階層型モデルを設計した。マイクロサービスは音声対話やジェスチャ生成など、複数のタスクで利用できる CA サービスの基本的な機能を提供する。各々のマイクロサービスにモニタリングデータの蓄積機能を持たせることで CA 経験管理層を対話モダリティ、タスク種別毎に効率的に構築できる。次年度以降は本設計に基づいて CA 経験管理層を実装し、CA 活動の類似性を利用した操作負荷の削減効果の確認と階層間プロトコルの動作検証を進める。

**課題推進者:**内海章((株)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:**

(CA のサービス機能仕様の記述方法の国際標準化)

OMG (Object Management Group)の技術部会の一つ Robotics DTF (Domain Task Force)では、ロボット技術のモジュール化に関する国際標準化が進められている。2021 年 3 月 22-26 日にオンラインで開催された、OMG 2021 Q1 TC Meeting の Robotics-DTF Plenary に本研究開発課題のメンバーが参加し、今後、OMG の Robotics-DTF に

において、CA 基盤技術に関する標準化活動を進めることを表明するとともに、「Cybernetic Avatar and its Platform for Avatar Symbiotic Society」と題して講演を行い、本研究開発課題が目指す CA の機能と CA 基盤プロトコルの国際標準化の取り組みを、標準化策定の議論に関わる関係者に周知した。当該会議には、情報通信やロボット関連の標準化に興味を持つ、欧州(フランス)や東アジア(韓国)の大学や研究機関の研究者・技術者の参加があったが、事前に個別に説明を行うなどの対応の効果もあって、全体的に興味を持っていただき、今後の我々の活動に対して理解を得ることができた。

OMG において現在策定中のロボット関連の標準化の状況把握を行うため、その活動の中心メンバーを講師に招いて講演会を実施し、ロボットを利用したサービスの実現に向けて進められている、ロボットサービスのためのオントロジ(RoSO)の国際標準化の動向や、これまでハードウェアとソフトウェアの両面から進められてきた、ロボット機能の共通化のモジュール・コンポーネント(RTC、RoIS)の国際標準化に関して説明をいただいた。これらの活動を受けて、OMG において進められている標準化仕様 RoSO の拡張による、CA のサービス機能仕様の記述方法の盛り込みに関する検討を始め、まずは、標準化すべき仕様内容の確認整理を実施した。

#### (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。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、OMG での RoIS 下位レイヤの改訂に盛り込むことを目標として、今年度はまずその実現に向けた環境整備を行うとともに、CA 基盤のプラットフォーム仕様の RoIS 下位レイヤへの盛り込みに関して検討を始め、標準化すべき仕様内容の確認整理を実施した。

#### (CA 機能および操作インターフェース機能の国際標準化)

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、上位レイヤを RoSO を利用して再定義することを検討しており、その際にモジュール化された CA 機能の定義を提案し盛り込むことを目標として、今年度はまずその実現に向けた環境整備を行うとともに、CA 機能および操作インターフェース機能の仕様の RoIS 上位レイヤへの盛り込みに関して検討を始め、標準化すべき仕様内容の確認整理を実施した。

**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:**

(マルチオミクス解析を実施するための研究基盤の構築)

Zoom などの遠隔対話システムや CA の利用は、生体に含まれる代謝物、液性因子(サイトカインやケモカインなど)、遺伝子発現などにさまざまな影響を与えられ。しかし、その実態は現時点では明らかではなく、どのような影響が出るかを想定することも難しい。本課題では、代謝物や遺伝子など、多階層にまたがる物質を網羅的に計測するマルチオミクスを活用する。測定可能な物質を網羅的に計測するため、CA が人体にどのような影響を与えるかについて、あらかじめ仮説を立てる必要のないアプローチである。当該年度は、CA 利用者に対するマルチオミクス解析を実施するための研究基盤の構築に取り組んだ。

#### (遠隔対話システム利用者に対するマルチオミクス解析)

CA が人体に与える影響を簡易的に調べるモデルとして Zoom などの遠隔対話システムが有用である。遠隔対話システムが人体に与える負の影響を明らかにできれば、遠隔対話システムに起因するストレスが生じないような CA をデザインするための重要な情報基盤となる。当該年度は、Zoom 利用者に対するマルチオミクス解析の予備的検討を実施した。

#### (新しい遠隔対話システムに関する調査研究)

Zoom のような遠隔対話システムの進歩はめざましく、研究開発期間中に、調査対象とすべき新しい遠隔対話システムが開発される可能性が高い。既存の遠隔対話システムに関する研究を行うことに加えて、世の中の動向を把握する調査研究を実施し、項目(2)の遠隔対話システムに関する研究において、代案となるより良いシステム、より重要なインターフェースへの移行を検討することができるようにしている。本年度は、課題4(住岡)と共同で本項目にとりくんだ結果、ゲームが、ある種の遠隔対話システムの一つとして機能していることに気がついた。また、ゲームを利用することで、CA 利用によって生じるストレスやマルチタスクを模倣できるとの着想を得た。そこで、次年度以降、ゲームを活用した実験を実施すべく、実験プロトコルを策定した。

**課題推進者:**河岡慎平(京都大学)

### **研究開発課題2: バイオマーカー探索**

#### **当該年度実施内容:**

##### (超網羅的なメタボローム解析システムの開発)

主幹代謝である解糖系、ペントースリン酸経路、クエン酸回路、核酸代謝、アミノ酸代謝などは、生命のエネルギーの生成、細胞の維持ならびに修復プロセスに関わり、がんなどの各種疾患を理解する上でも最も重要な経路である。これらの代謝中間体の多くはイオン性高極性物質である。これまで親水性代謝物の測定は、主にキャピラリー電気泳動質量分析(CE/MS)やイオンペア逆相液体クロマトグラフィー質量分析(IP-RP-LC/MS)などによって測定されてきた。しかし、親水性代謝物は極性、電荷特性、分子量といった物性の範囲が幅広いため、包括的かつ実用的な測定には至っておらず、第一選択となる分析法の開発は未だ発展途上の段階である。今年度は、我々が開発した新規の親水性代謝物分析法であるイオンクロマトグラフィータンデム質量分析(IC/MS/MS)

および親水性相互作用/陰イオン交換クロマトグラフィータンデム質量分析(HILIC/AEX/MS/MS)を用いて 500 種の親水性代謝物が測定可能な分析系へと発展させた。

脂質の包括的観測を主眼としたリピドーム分析については、超臨界流体クロマトグラフィータンデム質量分析(SFC/MS/MS)とin silico 多重反応モニタリング(MRM) ライブラリーによる独自のワイドターゲット定量リピドーム分析法の開発を行ってきた。今年度は 22 種の脂質クラスおよび 23 種の脂肪酸側鎖を組み合わせた約 2500 種の脂質分子を測定対象としたワイドターゲットリピドーム分析法を確立させた。

最後に、開発した 3000 分子種を測定対象としたワイドターゲットメタボローム分析法を用いてヒト血漿試料中(50  $\mu$ L)の代謝物情報の取集を行った。その結果、約 200 種の親水性代謝物および約 500 種の疎水性代謝物(脂質)の包括的測定に成功し、我々の解析システムの網羅性が世界最高レベルであることを実験的に示した。また、グループ 6 の中江グループで採取したヒト血液検体を用いたバイオマーカー探索を実施するための申請手続きを行い、九州大学医系地区部局臨床研究倫理審査委員会にて受理頂いた。以上の結果より、来年度から実施する、「遠隔対話システム利用者に対するワイドターゲットメタボローム解析」や「CA 利用者および操作者に対するワイドターゲットメタボローム解析」のための基盤が整った。

**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:

(脳反応解析を実施するための研究基盤の構築)

Zoom 会議において、同時に視線位置、心拍、皮膚抵抗、脈波を計測するセットアップを確立し、実際に 5 名からの計測を通し正常な計測が行えていることを確認した。この計測システムが fMRI 装置内で動作することも確認した。

(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)

研究グループ内の実際の Zoom 会議で、使用するアバター(今回は様々な人の顔写真)を変え付随する内観の変化を体験し、報告した。自分と属性が大きく異なるアバターを使用した場合に、相手との共感が減少するという主観を報告し、その時、相手の目を見る頻度も減少していた被験者が 2 名見られた。今後、この Zoom 環境におけるアバターの差から生じる内観が一般に見られるかまず確認する必要があるが、それに続いて、1) 一般的現象か、あるいは性格、能力などの属性に依存する個人差を伴うもの、2) アバターの性質のみに依存するのか、あるいは Zoom 環境にも依存するのかを検討する必要がある。

(CA 利用者および操作者に対する認知制御解析)

認知制御の基本モデル構築の為には、ペナルティに加えて、報酬に対してヒトがどのように反応するか、(全身運動のような)より自由度の高い運動でも同じような反応が見られるかを検証する必要がある。そこで、10 名の被験者に対して報酬を用いた実験を実施し

た。現在までのところペナルティの場合と似た脳活動が背側帯状回に確認されている。また、全身の系列運動を計測するためのプロトタイプシステムを作成し、計測を開始した。今後は、これらの実験を十分な数の被験者数で実施し、脳内の情報処理を正確にモデル化するとともに、課題設定をアバター制御における認知制御を計測できるように拡張する予定である。

**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:**

(テレビ会議システムや CA を利用する環境の実験室レベルでの再現の実施)

Zoom 等既存のテレビ会議システムに代表される遠隔対話システムや本研究開発プロジェクトにおいて開発される CA を利用する利用者の活動状態や生体状態を計測するための環境を実験室に構築し、他の研究課題で共通して用いるデータを収集するための基盤を構築した。ハムノイズ混入防止のシールド加工や防音加工を行った実験室を構築するとともに、脳活動計測、モーションキャプチャシステムによる動作計測、アイマークレコーダーによる視線計測、生体計測装置を用いた心拍等生体信号計測など、多階層にまたがる生体情報を収集するために必要な機材を購入した。機材のセットアップを行い、本格的な生体反応実験を行う準備を行った。今後は効率的に生体計測を行うために生体データの同時計測など、統合的な計測システムの開発を進める。

(テレビ会議システム利用者に対する行動・生体信号解析)

上記の項目で構築した環境において、テレビ会議システム利用時の 5 人分の脳活動、動作データを収集し、行動・生体信号解析に関する予備的検討を行った。4チャンネルの携帯型 NIRS を用いて実験を行った。左右の脳活動に関してこれまで提案してきた情報理論的解析を行った。その結果、従来研究のように会話時には左脳の情報量が高い傾向があることを確認した。今回は動作データ収集のためにモーションキャプチャシステムを一方向のみに配置して利用したが、被験者の動作によってマーカを見失うことがしばしば発生した。そのため、複数カメラの利用や動画データによる姿勢推定手法の利用などを検討する必要性を確認できた。

**課題推進者:** 住岡英信((株)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:**

(遠隔対話システム利用者に対するホルモン測定)

実験基盤の構築については、COVID19 の感染制御に配慮し、消毒や手前で用意したマスクへの交換、パーティションの設置等を行った。マルチオミクス解析および生体指標解析を行う目的で、PowerLab およびルミノメータを準備した。前処理した血液検体を課題 1-2 に提供するまで高品質な状態で保管する必要があるため、-80 度で検体を保管する Deep freezer を準備した。

血液採取については、被験者のペアに、web 会議システム Zoom を利用した対話およ



び対面の対話の両方を実施してもらい、対話の前後において、アンケート調査や血液をはじめとする生理学的データを取得した(感染制御の観点から、対面における対話では、2 人の間にアクリル板を設置した上で、マスクを装着して会話をしてもらった)。最終的には 40 検体分の血液を採取し、 $\beta$ -エンドルフィン、コルチゾール、及びオキシトシンの血中濃度を測定した。今後、その他の生理学的なデータの解析と合わせて、最適な実験条件を検討する。

課題推進者: 中江文(大阪大学)

## (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:**

(実証実験基盤の構築)

本プロジェクトの研究開発成果を活用し、最大 100 体程度の CA(実機)を利用した CA サービス実証実験を実社会で実施するための実証実験基盤として、CA 基盤、CA、およびセンサシステムを構築・運用する。令和 2 年度は、CA1 体による受付・案内サービスを想定し、そのサービスが提供可能な CA 基盤のプロトタイプとして遠隔操作ソフトウェア、CA(実機)、およびサービスを提供する環境を計測するためのセンサネットワークを準備・構築した。受付・案内サービスを提供する場所は、高効率に実験実施可能な場所として国際電気通信基礎技術研究所(ATR)のエントランスを活用する。このエントランスでは、人による受付・案内サービスを提供していることから、CA によるサービスに変更した場合の効果人を人によるサービスと比較検証しやすい。受付・案内サービスそのものについては、ATR における受付・案内サービスの担当部署および担当者にヒアリングを行い、受付・案内サービスの内容とワークフローを明確にした。CA 基盤プロトタイプとしての遠隔操作ソフトウェアは、ATR が既に所有している遠隔操作ソフトウェアをベースとして、サービス提供場所の環境にカスタマイズした。今後の CA 基盤開発に繋げるため、遠隔操作ログとセンサネットワーク出力を同期させてデータベースに書き込む仕様を検討した。CA(実機)については、移動アバター型ロボット(Double Robotics 社製 Double3)と、ATR が既に所有しているアンドロイド型ロボットを活用した。センサネットワークは、3次元 LiDAR(Light (or Laser imaging) Detection and Ranging)型センサ(Velodyne 社製 VLP-32C)を 3 台利用した人位置計測システムを構築した。これらのシステムを組み合わせることで、受付・案内サービスが機能レベルで提供可能であることを確認した。本項目は、CA および CA 基盤を構築する研究開発項目1、および研究開発項目5の研究グループと連携して実施している。

(実証実験拠点の構築)

大阪・関西万博での実証実験を含む CA サービス実証実験を企画・検討・実施するための物理的な拠点を、大阪市内、東京都内、および大阪・関西万博会場内に構築する。令和 2 年度は、大阪市内、および東京都内の実証実験拠点候補地選定の準備と、実証実験拠点スモールセット構築、拠点の仕様策定を行った。実証実験拠点候補地選定準備については、様々な形態での CA サービスの導入を検討しやすい複合商業施設の運

営企業複数社と打ち合わせた。これらの企業に対して、本研究開発プロジェクトを紹介し、連携・協力の可能性について打合せ、社会実証実験を実施する場所、準備等を行うための場所や設備の提供について相互に協力することで合意した。社会実証実験の実施内容の詳細が決まり次第、再度調整を行う。これらの複合商業施設内に実証実験拠点も構築可能であるが、社会実証実験のショールーム的な機能や、社会実証実験に参加する企業を集めた会議を実施することを考慮すると、複合商業施設から離れ、より面積が広い場所を確保した方が適切な場合があるため、そのような場所として、企業やスタートアップが活用するコワーキングスペースを都心で運営している企業とも打合せ、同様に連携・協力について合意した。実証実験拠点スモールセットは、本研究課題の項目(1)と連携し、ATR エントランスでの CA による受付・案内サービスの提供をゴールとして、そのために必要となる ATR 社内に CA(実機)、CA 基盤、センサネットワーク、ネットワーク環境、遠隔操作室、を構築・設置した。この内容に基づき、CA が受付・案内サービスを提供することを前提とした場合の実証実験拠点に必要な機器および機能を整理した。

#### (企業運営・実証実験運営)

場所・サービス・CA 開発に関する3つの業種から 10 社程度の企業と連携し、具体的な CA サービスと事業仮説をたて、それらを検証するための社会実証実験を実施する。令和 2 年度は、まず、社会実証実験に関連する本研究開発プロジェクトに参画する課題推進者らとともに、関連企業をリストアップし、それぞれの企業へ、本研究開発プロジェクトの説明を行い、社会実証実験の実施を促した。関連企業は、小売・接客系、医療系、教育系、エンタテインメント系、施設等管理運営系、課金システム系、それぞれの業種・業態に関連する企業など 20 社程度をリストアップした。この中で、小売・接客系、教育系、エンタテインメント系、施設等管理運営系、課金システム系、それぞれの分野から 1 社ずつ、合計 5 社の外部企業と個別に CA サービス実証実験企画検討を実施した。各分野における CA サービスの必要性、ユースケース、社会実証実験として検証すべき課題、実施時の体制などについて議論し、次年度以降の社会実証実験の実施の可能性を検討した。

**課題推進者:**宮下敬宏((株)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:

(発達障害者の個々の特性に最適な表情・動作の設定を自動調整できる CA の開発)

発達障害者 50 名分の患者情報を収集した。具体的には ASD を診断するための半構造化面接法(DISCO)、小児自閉症評定尺度(CARS)、ヴァインランド適応行動尺度(The Vineland Adaptive Behavior Scales)、感覚プロファイルのデータを取得した。

(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 70 名分の患者情報を収集した。具体的にはハミルトンうつ病評価尺度、ウェクスラー知能検査 WAIS の情報を取得した。

**課題推進者:**熊崎博一(国立精神・神経医療研究センター)

### 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:

(高齢者用遠隔操作インターフェースの開発と改良)

令和 2 年度は、令和3年度以降のインターフェース開発と実証実験に向け、遠隔操作インターフェースの初期設計と、CA/CG-CA との接続プロトコルの設計を行った。従来研究の遠隔操作型アンドロイド・ロボットのプロトコル、ソフトウェアを参考に、高齢者の適性を考慮したインターフェースと、必要なプロトコルの検討を行った。検討の結果、操作インターフェースとしては Web ブラウザを用いることを前提とし、CA との接続プロトコルとしては MQTT [OASIS/ ISO/IEC]、WebRTC [W3C/IETF]、WebSocket [W3C/IETF]、Web speech API [W3C] を用いたプロトコルを設計した。現在、この設計に基づいたプロトタイプの開発を進めている。

(実証実験のデザイン・実施・評価)

実証実験については、これまでの高齢者支援ロボットの研究で協力関係にある大阪府堺市、河内長野市の担当者らと、遠隔操作による支援が可能な業務と、実証実験の実施可能性について議論を進めた。

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:

(5G 通信システムの構築の実施)

当該年度マイルストーンを達成した。5G 通信システムの構成として、本年度はノンスタンドアロン(NSA)構成を用いた 5G 通信システムの構築に取り組んだ。ただし 5G NR の周波数帯の実地利用は免許取得が必要であり、本年度の実施期間中に免許を取得することが困難であったため、無線通信部は電波暗室を用いている。

構築した 5G 通信システムにおいて、以下の 5G 対応スマートフォン 2 台が同時通信可能であることを確認している。

- UE1: Samsung Galaxy S20 Ultra 5G
- UE2: Sony Xperia 1-II (Android10)

本年度は、5G 通信システムにおける疎通試験を実施しているが、今後は各種 CA アバターに対する DownLink/Uplink の割当量(割当タイミングを含む)の設計に取り組む必要がある。例えば、間欠的な CA アバター操作もしくは映像データを補助的に用いるアプリケーションでは割当量を少なくし、精細な作業を伴う CA アバター操作に対して割当量を多くすることで全体として円滑な操作体験を提供可能とすることが考えられる。これを実現するには、アプリケーション種別や CA アバター操作の通信プロトコルによる操作フィードバックを 5G 通信システムにおける割当アルゴリズムに組み入れる必要がある。令和 3 年度は、特に研究開発項目 7 において、他の研究課題推進者と密に情報交換・連携を取り、割当アルゴリズムの実現形態の検討を進める。また、5G 通信システムの構築に継続して取り組み、5G NR の周波数帯の免許取得・実地利用、スタンドアロン(SA)構成による 5G

通信システムの構築を完了する。

**課題推進者:**村田正幸(大阪大学)

(8) **研究開発項目8:アバター社会倫理設計**

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

**当該年度実施内容:**

(アバターコミュニケーションの研究)

本研究では、異文化コミュニケーションを支援する CA の実現を目指し、文化や個人特性による非言語行動の形態や使用タイミングの違いを分析・モデル化する。この目標に対し、当該年度は、主に以下の 2 つに取り組んだ。

(1) 多言語・多文化コーパスの収集

本年度のマイルストーンとして、3 か国語、計 100 会話のビデオデータを収集することを目標に掲げた。これを達成するために、日独仏の 3 つの言語を対象とし、YouTube からビデオを合計 147 動画収集した。ビデオデータを分析するために、画像処理による分析ツールである OpenFace によりビデオを処理し、頭部動作や顔パーツの座標等のデータを収集した。さらにビデオから音声トラックを分離し、音声特徴量や発話の書き起こしデータを作成する必要があるが、日本語については書き起こしは作成できたが、他の言語については書き起こし作業は未完である。

(2) エージェントアニメーションによる性格特性の表現方法の研究

本研究では、非言語情報により表現される個人特性の 1 つとして性格特性も対象とする。本年度は、性格特性によるジェスチャ動作の違いを分析し、それをキャラクタアニメーションに実装し、そのアニメーションを見た被験者が実際に特定の性格特性を認識することができるかどうかの評価実験を行った。そして、性格特性とジェスチャの動作特性との関係について調べた。結論として、ジェスチャ動作は性格特性によって異なること、これをアニメーションキャラクタに実装すると、人に対してと同じようにアニメーションキャラクタに対しても特定の性格特性を感じられることが分かった。

**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:**

(移動型 CA のモラルコンピューティングの研究開発)

予備的な遠隔操作システムを用意して研究を開始した。オペレータは、ロボットのカメラの映像を見ながら、ロボットの動きを遠隔操作することができ、ロボットの近くにいる人と会話することができる。CA 操作時の現象を理解するために、オペレータがわざとロボットの周りの人を邪魔するといった予備実験を行うとともに、文献調査も進めた。これにより、歩く道を妨げる、視界を遮る、グループの間に入るなど、当初計画通り 3 行動以上の低モラル行動をリストアップすることができた。

(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)

既存の利用可能なデータセットを調査したが、新しい認識システムを構築するのに適したデータセットは見つからなかった。そのため、独自のデータセットを作成することにした。データセットを構築するために、すでに所有している実際のロボットとのインタラクションのビデオを分析した。ショッピングモールでロボットがタスク(パトロールまたは情報提供)を遂行している際に、ロボットと話している子供たちの約 1,600 の発話から構成されるデータセットを予備的に準備し、その一部のラベル付を開始した。これらの発話は、ロボットに対してさまざまな異なる態度を示している。ラベル付けの基準を検討し、中立、冗談、怒りの 3 つのクラスを定義した。すでに、100 発話以上のラベル付けを実施することができた。

**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:**

(アバター社会倫理の設計)

本年度はアバター社会倫理の設計とアバター社会倫理コンソーシアムの設立に着手した。具体的には「アバター社会倫理設計コンソーシアム」の理念、コンセプトをグループ 8 のメンバーと議論を行った。そのうえでアバター社会における倫理的課題の洗い出しとマッピングを行った。課題として、アバターを活用することによって得られる利益を誰もが享受できるかどうか、アバターの自律的な行為が差別や不公平を引き起こさないかどうか、本人とは全く異なる属性を持つアバターを使うことによって利用者の人格がどのように影響を受けるか、アバターが他者との間に介在することにより他者との社会的関係がどのように影響を受けるか、民主主義的な社会の在り方がどのように変化するか、アバターに倫理的な判断や行動をとらせることはアバターに道徳的行為者性を付与することになるか、アバターは道徳的被行為者と見なされるか、などが挙げられた。こういった問題は人工知能やロボットに関しても指摘されている問題とオーバーラップするところが多い。そこで我々はロボット倫理学や AI 倫理学、あるいはデータ倫理学などに関する文献や既存の倫理原則などを調査して問題を精査した。またロボットや人工知能とアバターの違いはどこにあるかという問題についての検討を始めた。さらに課題を個人、他者、社会という三つの観点からマッピングして問題の整理を行った。

こういった理論的な問題の検討・考察と並行して、アバター社会倫理コンソーシアムの運営にも着手し、コンソーシアムへの参加をいくつかの企業やアカデミアに呼びかけた。本年度のマイルストーンであったコンソーシアムの立ち上げに関しては順調な成果が上がっている。

**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:**

(CA の利用とプライバシー)

CA の人格の使い分け(利用)は、プライバシー概念自体をどのように捉えるかという本質的な問題と関係する。そこで、改めてプライバシー概念に関する国内外の文献調査を行い、以下のように論点を整理した。具体的には、①CA の法人格性の有無、②CA と実

在の本人との同定性の要否、③CA の外貌や人格の公開の有無を決定する権利といわゆる「自己情報コントロール権」の関係、④CA によるプライバシー侵害行為への法規制の4つとした。

(CA のなりすましとプライバシー)

令和2年度はCAを利用する上でのセキュリティ問題のうち、特になりすましに焦点を当てて検討を行い、以下のように論点を整理した。

CA のなりすましに対しては、①事前措置と②事後措置を検討する必要がある。①については、事前規制として一定のセキュリティ措置を組み込むこと、具体的にはCAに適した本人確認の仕組みを整備する必要がある。これについては、現在、アバター社会倫理設計チームで検討予定の認証制度に組み込み、安全性を担保すること、あわせて認証制度を基礎付ける法制度の整備が考えられる。②については、事後規制として、なりすまし行為に対する法的制裁の適用が考えられる。この関係では、不正アクセス行為を処罰する刑罰法規が既に存在するものの、本研究では、なりすまし自体に対する法規制のあり方について、CA利用の文脈で整理し直す必要がある。

**課題推進者:**石井夏生利(中央大学)

#### **研究開発課題5:アバター法の研究**

##### **当該年度実施内容:**

(CAの研究開発と社会実装に必要な「社会制度(倫理・社会的受容性)」及び「法制度(法令その他の規範)」に係る研究)

CAの研究開発、利用、社会実装及びに受容性に係る法的課題を明らかにするための検討を実施した。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行った。いわゆる「ロボット法」として研究が醸成されてきた知見に基づき、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ための知見を整理した。

(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)

CAの利用に伴う法令遵守に必要な基準について検討を行うことにより、新たな社会制度の構築に向けた具体的な取り組みを実施するため、CAの利用に伴う法令遵守に必要な基準(法解釈の明確化)に向けた検討を行った。

**課題推進者:**新保史生(慶應義塾大学)

### **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**

##### **進捗状況の把握**

##### **代表機関のPM支援体制チームの構築**

特任助教二名を雇用し MS 事務局を立ち上げ、また大阪大学経営企画オフィスをはじめとする関係機関とも連携して、PM 支援体制チームを構築した。

### **重要事項の連絡・調整**

PM を議長とし、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する運営会議を設置した。2 月 18 日に第一回運営会議を開催し、実施規約を改正した。

### **研究開発機関における研究の進捗状況の把握**

研究開発項目毎にグループリーダーを設け、グループリーダーからなるグループリーダー会議を設置した。月 1 回程度開催し、グループ間連携を議論した。また、研究開発項目毎にグループリーダーを筆頭とするグループ会議を月 1 回程度開催し、研究開発課題間での連携や、進捗状況の把握を行った。

### **研究開発プロジェクトの展開**

当該年度は研究開発体制の再構築は行わなかった。

## **(2) 研究成果の展開**

研究開発項目 7 研究開発課題 1 および研究開発項目 8 研究開発課題1と連携しつつ企業コンソーシアムの立ち上げに関する検討を行った。令和 3 年 7 月での企業コンソーシアムの立ち上げを予定している。

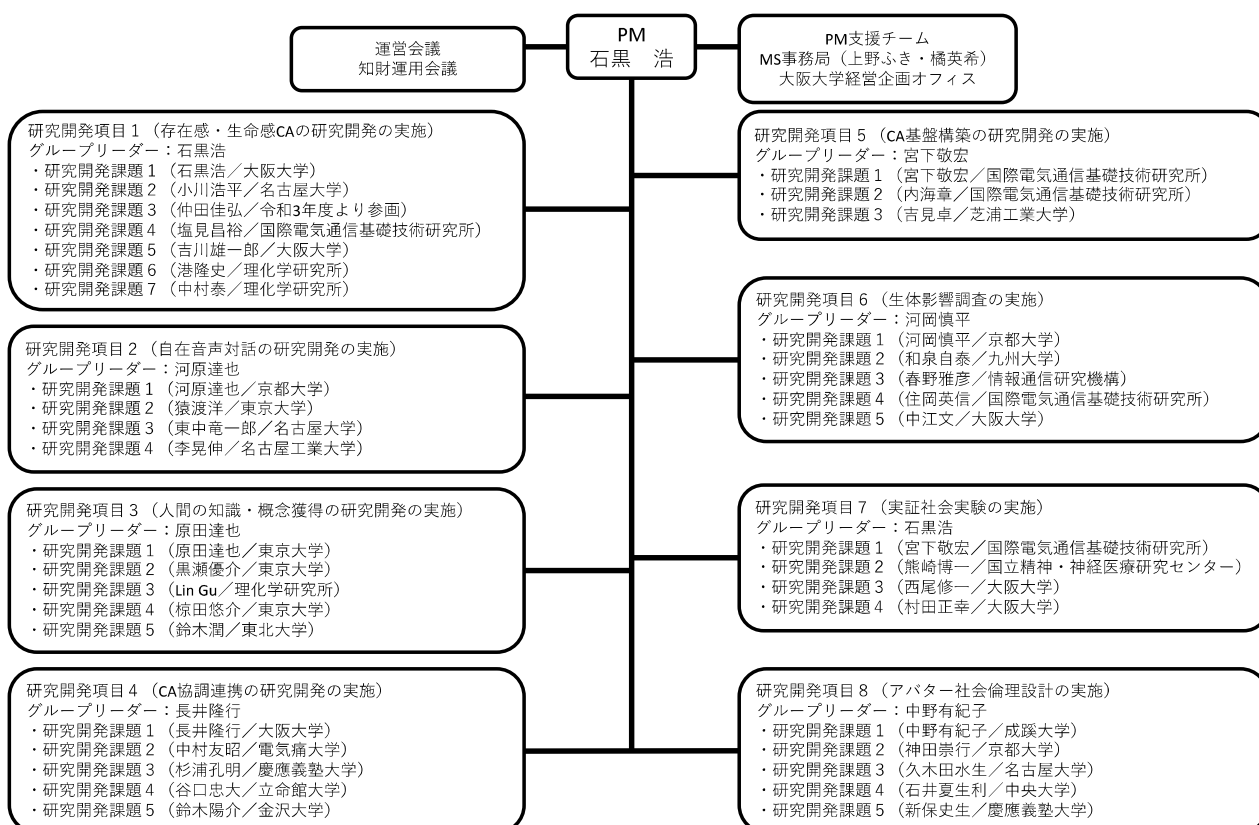
## **(3) 広報、アウトリーチ**

本プロジェクトの概要や活動実績を伝えるウェブサイト(<https://www.avatar-ss.org/>)を作成した。また、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)」に出演し、アバターを通じたコミュニケーションのあり方を示した。

## **(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。

#### 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 構成機関と実施内容

##### 構成員：

PM、グループリーダー、発明者となる課題推進者、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 実施内容

##### 構成員：

PM、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、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	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	9	4	13
口頭発表	0	1	1
(うち、査読有)	0	0	0
ポスター発表	0	0	0
合計	9	5	14

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	2	2
(うち、査読有)	0	2	2

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	0	0	0
合計	0	0	0

受賞件数		
国内	国際	総数
0	0	0

プレスリリース件数
3

報道件数
8

ワークショップ等、アウトリーチ件数
2