



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

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

南澤 孝太

慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科



研究開発プロジェクト概要

人々が自身の能力を最大限に発揮し、多様な人々の多彩な技能や経験を共有できるサイバネティック・アバター技術を開発します。技能や経験を相互に利活用する場合の制度的・倫理的課題を考慮して、人と社会に調和した、身体的な技能や経験を流通する社会基盤を構築します。2050年には、この流通が人と人との新たな身体的共創を生み出し、サイバネティック・アバターを通じて誰もが自在な活動や挑戦を行える社会を実現します。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/13_minamizawa.html

課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
鳴海 拓志	東京大学 大学院情報理工学系研究科	准教授
嶋田 総太郎	明治大学 理工学部	教授
新山 龍馬	明治大学 理工学部	講師
笠原 俊一	株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所	リサーチャー
柴田 和久	理化学研究所 脳神経科学研究センター	チームリーダー
Kai Kunze	慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科	教授
田中 由浩	名古屋工業大学 大学院工学研究科	教授
Charith Fernando	avatarin 株式会社	CTO
大澤 博隆	慶應義塾大学 理工学部	准教授
南澤 孝太	慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科	教授
深堀 昂	avatarin 株式会社	代表取締役 CEO
吉藤 健太郎	株式会社オリイ研究所	代表取締役 CEO
安藤 健	パナソニックホールディングス株式会社 マニファクチャリングイノベーション本部 ロボティクス推進室	室長
赤坂 亮太	大阪大学 社会技術共創研究センター	准教授
江間 有沙	東京大学 未来ビジョン研究センター	准教授

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)研究計画概要

令和4年度は、前年度に各研究開発課題において開発された要素技術をもとに、社会性拡張・3体への並列化・3人の技能融合を実現する CA を構築し、CA を通じた体験共有と身体的共創が、身体に制約がある障害当事者をはじめとする CA 利用者へもたらす身体的・認知的・心理的変容の効果について、その技術的実証、認知脳科学的検証を行うとともに、CA の実証実験環境を活用して、身体に制約がある障害当事者をはじめとする CA 利用者の新たな働き方の実現にむけた社会実証を進め、実践を通じて明らかになった ELSE 課題の解決に向けて取り組むことで、3年目マイルストーンの達成に向けて研究開発を推進する。

研究開発項目1「身体性と社会性の認知拡張の機序解明と工学的設計」では、これまで実施した、CA による身体性の変容が人の社会性に与える影響の情報工学的・認知脳科学的双方の側面からの検証結果を踏まえ、特に身体に制約がある障害当事者の CA 長期利用時の社会性への影響について評価するとともに、CA における身体性と社会性の相互作用に関する簡易的なモデルを構築し、身体性変容を具現化するバーチャル型 CA とロボット型 CA を実装する。

研究開発項目2「経験の並列化と融合的認知行動技術」では、1人が3台の CA を操作する並列行動インターフェース技術を開発し、行為主体感を伴う並列化行動を実現するとともに、CA を通じた身体性の並列化に対する人の脳の適応に関わると想定される認知過程を訓練するための認知・行動実験系を構築する。人の自律神経系に関連する様々な生体信号を身体表面の面的分布として計測・分析することにより人の内面的な情動を測定し介入する技術を開発し、時空間を超えた体験共有において情動をも共有するための技術的基盤を構築する。

研究開発項目3「身体技能の多様性融合技術」においては、CA を通じて複数人の身体感覚を共有し互いの技能の利活用することによる協働作業を実現する技能共創技術を開発するため、触覚を通じて他者の行為を感じ取るメカニズムの解明、人の協調行動を支援する身体感覚共有技術の開発、および融合する複数人が意図を伝え合い主体性を持った協調動作を行うための方法論の確立を進める。触覚を含む手指の運動と感覚を記録するロボット型 CA を用いて技能の模倣学習を行い、デジタル化された技能データを用いた CA 利用者の行動支援につなげる。

研究開発項目4「身体的共創を生み出す CA 基盤の構築と運用」では、認知拡張・経験共有・技能共創の各コア技術の研究開発のプラットフォームとなる CA 環境の構築を進めるとともに、実証フィールドを構築して CA の利活用に向けた技術的運用的課題を抽出し、ガイドラインを作成する。

研究開発項目5「多様性と包摂性を拡大する CA 社会の共創的デザイン」においては、分身ロボットカフェをフィールドとして、CA を利用した働き方の多様性の拡大を実践的に展開するとともに、CA を通じた身体的共創技術シミュレーション環境を用いて産業応用可能性を検証する。

研究開発項目6「CA 時代の倫理と社会制度の設計」では、前年度に開始した CAS 研究会を活用し、引き続き CA に纏わる法的倫理的課題の論点整理を行うとともに、ガイドラインの作成と公開を進める。国際社会における CA の受容性についても議論を開始し、CA の国際的展開を見据えた ELSE への取り組みの素地を構築する。

(2)実施概要

本年度は、これまでに各研究開発課題において開発された3つのコア技術である認知拡張、経験共有、技能融合それぞれにおいて CA 環境への要素技術の実装と、実際の CA ユーザーを対象とした具体的なユースケースにおける実証実験を実施した。

3年目マイルストーンである、「身体に制約がある人が、合意した複数人の身体的・認知・知覚能力に関する技能と経験を融合できる CA を協調連携することによって、自らの身体的・認知・知覚能力を拡張して、互いの身体感覚を共有しながら適切な役割分担と協調を行えるようになる。特に、重い障害を抱える人でも、CA を用いて、店舗店員など身体的な動作や軽作業を伴う就労を継続できるようになる。」に向けて、分身ロボットカフェをフィールドとした実証実験を実施し、経験共有 CA 技術および技能融合 CA 技術を活用して、障害当事者である CA 操作者が、複数の CA を同時に操作、あるいは複数人の技能を融合した協調操作により、カフェにおける接客や調理において身体の制約を超えた働き方が実現できることを実証し、次年度に予定している長期実証実験に向けた要素技術の開発と、障害当事者との共創によるアクセシビリティの向上を完了した。

5年目マイルストーンである、「合意した複数人が、ネットワークを通じて身体・認知・知覚能力を融合できる CA を通じて、異なる技能や経験を連携協調することによって、身体の障害の有無に関わらず、互いの個性を尊重し違いを活かしながら、多様な技能や経験が求められるフィールドにおいて、身体的・社会的能力の拡張やリスクリングが行えるようになり、新しい仕事・教育・文化・スポーツ等の特定の活動に参加できるようになる。」に向けては、1 人が3体の CA を操作できる並列化 CA システム、2人が1体の CA を協調操作できる技能融合 CA システムをそれぞれ開発し、さらにこれらを組み合わせて2人が3体の CA を並列・協調操作できる2:3CA システムを構築した。これにより、CA を通じた技能流通の実現に向けた、M 人が N 体の CA を活用し連携協調できる身体的共創 CA 基盤の開発を予定通り推進した。

社会性の拡張を目的とした認知拡張 CA の開発においては、CA を通じて人の身体的特性や社会的立場を変容することによって、身体的特性や立場が異なる人の主観的体験をその人になりきって体験することにより理解を促進する、いわゆる Perspective Taking を実現するバーチャル CA 環境を構築し、医療介護の現場や、企業におけるアンコンシャス・バイアスの解消など、認知拡張 CA の具体的なユースケースとして想定されるステークホルダーの協力のもと、現場への導入を想定した試行実験を行った。

複数 CA の同時操作を実現する経験共有 CA の開発においては、実証実験環境である分身ロボットカフェを活用し、障害当事者である CA パイロット(遠隔操作者)の協力のもと、身体に制約がある CA パイロットが複数のアバターロボットを並列的に操作し、カフェの利用者に対するサービス提供を行う実証実験「複数アバター分身実験」を2022年6月に実施した。複数の CA を並列的に用いることで、接客業務における様々なタスクを、CA を切り替えながら達成できたこと、1人の CA パイロットがカフェ利用者に対して入口から出口まで一貫したサービス提供を行えたことにより、CA パイロットの達成感や自己効力感の向上、パイロットが CA を通じて提供するホスピタリティに対するカフェ利用者の満足度の向上、などが確認された。

複数の操作者が1体の CA を操作し互いの技能を融合する技能融合 CA の開発においては、実証実験環境である分身ロボットカフェを活用し、障害当事者である CA パイロットの協力のもと、身体に制約がある2人の CA パイロットが1体のロボットアームを協調的に操作し、カフェにおけるパンケーキのトッピングを行う「融合アバター共創実験」を2022年11月に実施した。2人の CA パイロットが CA 上で協調することにより、身体に制約がある1人では難しかった身体的なタスクを伴うサービスが提供できるようになったこと、互いの個性や特技を生かした共創が行われたことが実証され、前述の複数アバター分身実験とあわせ、身体に制約がある当事者の CA を通じた新たな働き方の開拓において、CA 利用者の目線に立った具体的ユースケースの実践と、その心理的・社会的効果の実証を行い、3年目マイルストーンの達成に向けて、研究開発と社会実装を推進した。



複数アバター分身実験



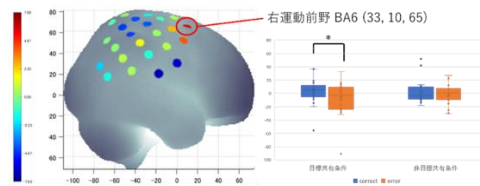
融合アバター共創実験

以下、各研究開発項目の本年度実施概要を示す。

研究開発項目1では、身体性変容を具現化するバーチャル型 CA や、インフレータブル技術を用いた変形可能なロボット型 CA を開発し、CA を通じた身体性の拡張がもたらす CA 操作者への認知的・心理的影響や、CA を介した他者とのコミュニケーションにおける社会的拡張の機序の解明に取り組んだ。また身体性変容を伴うバーチャル型 CA や、複数人で同時に技能融合 CA を利用した際の CA 操作者の脳活動を計測し、アバター受容／非受容の指標となる脳活動・生理指標を特定および検証を行った。これにより、個人の特性や状況に応じて適切に CA を設計・活用するために必要な、CA 操作者の個性や対応すべき状況に対応した CA の身体性のデザインに関する指針、および CA 利用における操作者の主体性の測定や自己観の長期的変容の観測に関する指針を得ることができた。



バーチャルCAを用いた接客



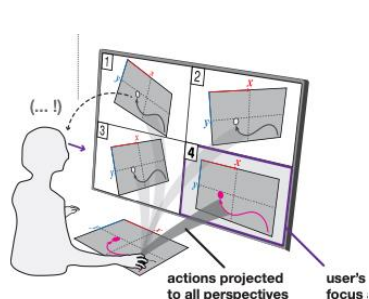
身体変容CA操作時の脳活動計測



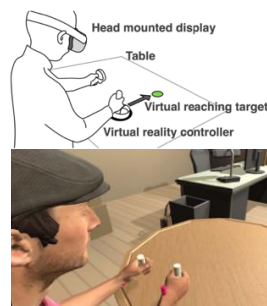
インフレータブル CA

研究開発項目2では、1人が3体の CA を同時に知覚し制御可能な並列行動インターフェース技術を開発し、複数の並列的な感覚入力と運動出力を得た際に、人の認知や行動がどのように変容するか得るか、人間情報学的観点および脳科学的観点から基礎的な検証と要素技術の開

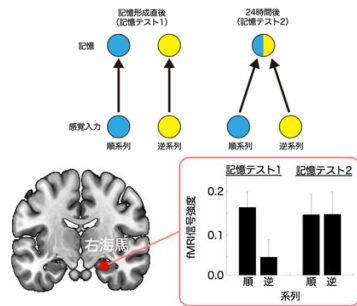
発を行った。複数の空間情報を同時に把握し、複数の空間の並行的把握と、操作対象のスムーズな切り替えを実現させるため、非注意領域での視覚的手がかりを活用することで身体空間関係を保持させるためのシャドークローンインターフェースや、複数の異なる身体特性に対する操作者の適応を支援する手法を提案した。これらの知見を、障害当事者が利活用できる UI(ユーザーインターフェース)として再設計し、分身ロボットカフェにおいて障害当事者を含むパイロットが自在に複数のロボットアバターを操作できる CA 環境を構築し、実証実験「複数アバター分身実験」に展開した。本 UI は実証実験後も分身ロボットカフェにおいて CA パイロットに継続的に活用されている。技術開発と併せて、複数の CA を通じた並列的な記憶が統合される機序を明らかに基礎研究に取り組んでおり、2つの並列的な記憶が脳内で統合される過程に関する脳科学実験を行っている。



並列的な身体空間関係を実現する
シャドークローンインターフェース



複数の身体性に適応する
Parallel Action の実験環境

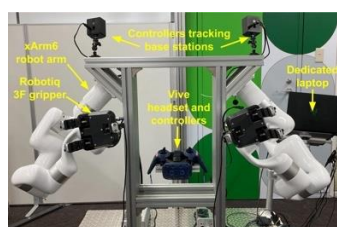


2つの記憶の統合過程に関する
脳科学的実験

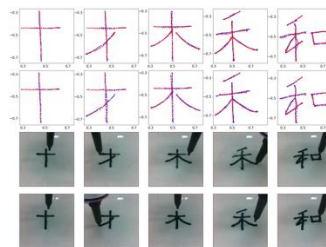
研究開発項目3では、これまで開発してきた技能融合 CA プラットフォームについて、身体に制約のある障害当事者が複数人で遠隔から融合し身体的作業を達成する身体的共創の実証実験に向けて、技能融合 CA における操作 UI の再設計および CA クラウドを通じたネットワーク化開発を行った。さらに操作時の複数人の協調を円滑化するための身体感覚の共有手法の開発及び有効性の検証を行い、複数の CA 操作者の触覚の共有により技能融合 CA 操作時の他者の行動や意図の認知の向上に有効であることを検証した。このような実時間の技能融合のみならず、CA を通じて人の技能をデータベース化し模倣学習を通じて人と AI との技能融合を実現することで、技能融合 CA による人の能力拡張の実現を目指した要素技術開発も行っており、模倣学習システムを組み込んだ双腕 CA プラットフォームを開発し、まずは書字動作を対象として、技能モデルの構築と、CA を通じた能力拡張の実現に向けた基礎的実験を進めている。



障害当事者の利用を想定し設計された
技能融合 CA 操作インタフェース



技能の模倣学習に向けた
双腕 CA プラットフォーム

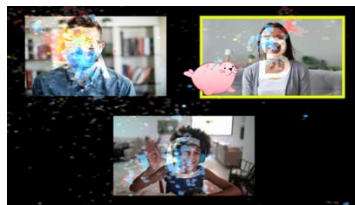


模倣学習に基づく
書字動作の能力拡張

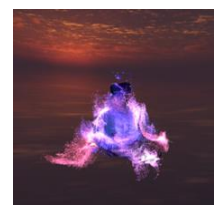
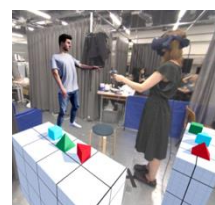
研究開発項目4では、研究開発項目1～3で得られた知見に基づく、認知拡張・経験共有・技能融合の各コア技術を CA システムとして統合開発し身体的共創 CA の実証環境を構築するとともに、実社会応用を見据えた実証実験として実施した「複数アバター分身実験」および「融合アバター共創実験」の企画統括を担当した。身体的共創 CA の実証環境としては、経験共有 CA における複数身体の並列化技術と、技能融合 CA における複数人による身体性の融合技術を組み合わせ、2人の操作者が3体の CA を操作できる2x3CA システムを開発した。互いの情動が CA 基盤を通じて測定・可視化され、アバターの容貌も個人の特性や状況に応じて自在に変更可能になり、より共感的なコミュニケーションが可能になるバーチャル型 CA 環境を Empathic Metaverse と称し研究開発を開始している。Empathic Metaverse においてどのように人のコミュニケーション行動が変化するか(行動設計)、個人の特性に応じてアバターの容貌はどのように設計すべきか(容貌設計)、情動が可視化された際にどのように人の自己認知が拡張・深化しうるか(認知設計)の3つの側面から要素技術開発と利用者の行動変化や心理変化に関する検証を実施した。



2x3 CAシステム



Empathic Metaverseへむけた行動設計、容貌設計、認知設計の事例



CA 基盤において高度な身体性を伴う体験共有の実現を目的とした、身体感覚の双方向同期共有技術の研究開発においては、触覚的体験共有の要素技術として、ウェアラブル型、椅子型の2つの形式での全身触覚提示技術の開発を行い、ウェアラブル型においては、ダンスにおける運動の共有と誘発を目的として Resonant Dance のシステム開発および実証実験、椅子型においては Enhance 社と共同で研究開発を行っている Synesthesia X1 を用いて、多チャンネルの全身触覚提示を伴う CA 体験時に利用者が得る体感と心理的影響について評価を行った。情動的体験共有の要素技術として、研究開発課題 2-2 との連携のもと、50 人規模の観衆の情動変化をワイヤレスでリアルタイムに取得・分析可能な情動計測装置を開発し、音楽コンサートの現場を対象に、観衆の情動計測およびその可視化による演出に取り組んだ。さらに記録された情動データに基づき、現場で体験した人々の情動を可視化および可触化し、時空間を超えて追体験できる、体験共有 CA 技術を活用したメディアインスタレーションを制作した。



ウェアラブル型触覚共有装置
Resonant Dance によるダンス体験の共有



椅子型全身触覚提示装置Synesthesia X1を用いた
CA環境体験における心理影響評価





ワイヤレス情報計測装置およびコンサートにおける情動の可視化

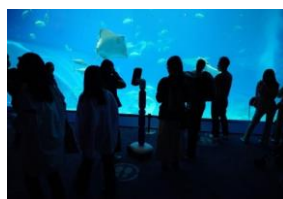


時空間を超えた情動的体験共有

様々なユースケースにおける CA クラウド基盤の利活用を容易にするため、SDK (Software Development Kit) を開発し、複数の異なる種類の CA への適用試験や実証実験を通じた運用を開始した。2022年11月に米国において開催され、研究開発課題 4-2 課題推進者の深掘が企画者として中心的な役割を果たした ANA AVATAR XPRIZE と連携し、XPRIZE に参加した、大学やスタートアップにより構成されるアバター開発チームに対して本プロジェクトの紹介を行うとともに、入賞チームと継続的に意見交換を行い、CA クラウド基盤の利活用につながる土壌を醸成した。羽田空港、中部国際空港、美ら海水族館等を実証実験フィールドとして、公共の場における CA 運用実証実験を実施し、CA 運用ガイドラインの策定に向けて、実運用における技術的・運用的課題点を抽出した。



ANA AVATAR XPRIZE



美ら海水族館および中部国際空港における実証実験の様子

研究開発項目5では、研究開発課題 5-1 課題推進者の吉藤が主宰する分身ロボットカフェ DAWN ver. β (東京・日本橋)を実証実験の場とし、研究開発項目4で構築した CA 基盤環境を用いて、身体に制約のある障害当事者らとの共創により、CA を用いた新しい働き方を探索する実証実験を行った。2022年6月に開催した「複数アバター分身実験」では、視線入力を用いて CA を操作するパイロットを始め6名のパイロットが主として参加し、複数のロボット型 CA からの映像・音声入力の認識、および、操作するロボット型 CA の瞬時の選択や2体の同時操作など、どのように UI を設計すればより少ないストレスで複数身体の操作が可能かを検討するとともに、実証実験においては実際のカフェ利用者に対して、複数の身体の存在を活かした新たな接客サービスの提供を試みた。2022年11月に開催した「融合アバター共創実験」では、それぞれ異なる障害を有する4名のパイロットが参加し、互いの苦手な操作を補い、得意な技能を活かしながら、パンケーキへのトッピングという身体的な動作を伴うサービスを、それぞれがロボット型 CA に遠隔から入りながらロボットアームを2人で同時に操作するというシステムにより実現した。実証実験

においては、カフェ利用者のオーダーに応じてケーキのデコレーションを行う過程において、それぞれが遠隔にいる相手と互いの意図を汲み取りながら協調する様子や、パイロットのペアごとに個性的な表現が見られるなど、CA を通じた身体的共創の効果を、実際の CA 操作者、CA サービスの利用者双方の観点から実証的に示すことができた。これらの社会的効果をより多くの世代に広げるため、現在は特別支援学校に通う障害児童を対象とした就労体験の取り組みや、遠隔操作を伴う半自動運転車と組み合わせた移動販売サービスへの展開に取り組んでいる。



分身ロボットカフェにおける実証実験



特別支援学校におけるCA就労体験プログラム

研究開発項目6では、CA の ELSI 課題について実務家を交えて組織している研究会である CAS 研究会や、実証実験を始めとする CA 利活用の現場でのエスノグラフィ(観察、聞き取り調査)を通じて、CA の利活用に関わる法制度的側面、倫理的側面から検討を行い、CA を用いる事業者や CA を通じて働く労働者が参照できるガイドラインの制作に向けて要点整理を進めている。GPAI (Global Partnership on AI) など国際的な行政関係者が集まる場において、ワークショップを開催し、CA を介して障害を持つ人が働くには、技術面の進展だけではなく、誰かが休んだ時は他の誰かがサポートに入れるなど、CA が入る社会の仕組みやデザインが重要であるとの考え方が、来場者との間で共有された。また、サイバーセキュリティに対する懸念が来場者から指摘されるなど、多様性包摂性社会における CA の可能性と利活用に向けた社会制度整備のあり方を、国ごとに異なる法制度や倫理観に焦点を当てながら今後議論していく必要性が再確認された。



GPAIでのワークショップや閣僚級会合における紹介



CA利用現場でのエスノグラフィ調査

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: 身体性と社会性の認知拡張の機序解明と工学的設計

研究開発課題 1-1: 社会性拡張のための身体性制御技術の開発

当該年度実施内容: (1)分身ロボットカフェをフィールドとして、バーチャル型 CA とロボット型 CA で同様の身体性を提示した場合の接客体験について、普段 OriHime を使用して接客するパイロットを対象に CA の使用感や身体化感覚の違いを調査する実験を実施し、バーチャル型 CA は外見や移動の自由度が高く、全員が同等の身体性を持つことで心理的安全性が高い、実世界 CA は他者の視線、表情、外見等から得られる情報が多いためパイロット側はコミュニケーションしやすく、他者と共にいるという共存在感が高いという特性の違いがあることを明らかにした。(2)異なる身体性を持つ CA を使い分けた場合の社会性への影響の検証として、CA の使い分けによる記憶への影響、プロフィール CA による感情表出がテキストベースコミュニケーションに与える影響、遠隔対話において技術的問題が生じた場合に CA が問題帰属に与える影響、ソーシャル VR の長期利用が CA の使用に伴う認知拡張効果に与える影響等を明らかにした。その上で、これまで別々に扱われてきた、身体イメージ・自己イメージを経由して認知や行動に現れる影響と、知覚やパフォーマンスを経由して認知や行動に現れる影響を統合的に議論できる簡易モデルを構築した。

課題推進者: 鳴海 拓志 (東京大学)

研究開発課題 1-2: 身体性・社会性変容の認知脳科学的機序の解明

当該年度実施内容: 身体性変容を施した CA の受容度合いを示す脳活動指標を特定するため、腕の数を増やしたバーチャル型 CA を開発し、余剰腕の動作が自己身体感に与える影響を調査した。その結果、余剰腕が意図通りに動作するときの方が CA に対する自己身体感が高くなり、運動前野と呼ばれる脳領域が活性化することを見出した。また CA に対する脅威刺激に対して瞬時心拍数の増加が見られることも明らかにした。これらの結果から CA 操作時の運動前野の活動および脅威刺激に対する瞬時心拍数の変化が CA 受容の指標として利用できることを特定した。

課題推進者: 嶋田 総太郎 (明治大学)

研究開発課題 1-3: 身体性変容を具現化する実世界アバター構成技術の開発

当該年度実施内容: 身体性の変容を実現するロボット型サイバネティック・アバター (CA) の構成技術のうち、ヒト型外装の展開・収納メカニズムの開発やその遠隔操作に取り組んだ。インフレータブル構造 (内圧で支えられた膜構造) を採用したインフレータブル CA の構造展開は、ブローによる内

部空気圧の能動制御によって実現することができた。収納については、インフレーターが軽量の布地で構成されていることを利用してローラーで巻き取る装置を試作した。既存のテレプレゼンスロボットと開発したヒト型外装を組み合わせ、無線通信による制御装置を搭載することで、遠隔操作でヒト型外装の展開を制御できる実験用ロボットシステムを製作した。昨年度から引き続き、研究開発課題 1-1 と連携して展示を通して実世界アバターの社会受容のあり方を調査した。

課題推進者： 新山 龍馬（東京大学）

(2) 研究開発項目2: 経験の並列化と融合的認知行動技術

研究開発課題 2-1: 身体の並列化における融合的行為主体感生成技術の開発

当該年度実施内容： CA により1人が1つの身体を持つ前提を超えて、複数人が複数の CA を駆使して活動するため知覚認知行動技術を実現するため、並列行動における主観的連続性のための CA 制御技術開発を行った。並列行動の基礎となる複数身体 of 並列的な運動学習に関する実験から、CA の視点位置の切り替えによって異なる運動特性を並列的に学習できることが示唆された。CA のアイデンティティ連続性に関して、自己顔映像の連続的変化システムを構築し調査を行った結果、顔映像の潜在情報空間の自己認識領域を同定した。CA 並列行動に関して、ユーザーの注意状態に応じた AI 制御介入を行う複数ロボットアーム制御システムを開発した。非明示的に AI 制御を介入することで、ユーザーの主体感を保持しつつ複数台のロボットアームを制御可能であることを示した。

課題推進者： 笠原 俊一（株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所）

研究開発課題 2-2: 身体共創行動技術への適応を可能にする脳可塑性機序の解明

当該年度実施内容： (1) 異なる記憶が時間とともに統合されていく過程に関わる脳の仕組みを調べるために、脳計測実験を行った。機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) による脳活動計測を用い、記憶の統合に関わる脳活動変化を計測した。その結果、右海馬において記憶の統合を説明する脳活動変化が認められた。この知見は、複数の CA を同時使用したときの記憶が脳内でどのように変化・統合していくか理解することに役立つ。(2) 身体共創行動技術の適用の促進に向けて、いま行っている作業をうまくできているか自分で認知できる能力 (メタ認知能力) を訓練するための実験系を構築するにあたり、必要な予備的検討を行った。具体的には、行動実験を実施し、メタ認知能力は実験課題に対する応答と確信度報告の順序関係に影響を受けないことが確認できた。この成果をもとに、メタ認知を訓練することを目的とした実験系の構築が完了した。メ

タ認知訓練の実現は、不慣れな CA 操作への適応を促進するための訓練ガイドライン等の作成に役立つ。

課題推進者： 柴田 和久（理化学研究所）

研究開発課題 2-3: 生体信号計測に基づく情動のデジタル化と経験の圧縮技術の開発

当該年度実施内容：（1）「デジタル情動モデルの構築」について、ダンスパフォーマンスにおける聴衆の EDA と心拍のデータを集め、制作意図との相関などの分析をした。3つのデータセットについて、そのうち2つが Association for Computing Machinery (ACM) 内で限定的に公開済みであり、近日中に全てデータ共有プラットフォーム上で公開される予定である。（2）「デジタル情動圧縮」について、写真を撮影した写真家の生体反応の要素を抽出し、時間的に圧縮して鑑賞者に伝達し、写真が撮られた際の情動の再現を含めた新しい「生きた」鑑賞行為を実現するシステムを実装した。ライブパフォーマンスにおける聴衆の生理データに基づく情動を、バーチャルリアリティ装置を通したパフォーマンス再生時に表現として加えるシステムを構築した。（3）「情動制御技術の設計とプロトタイプの開発」について、Frisson（美的体験に伴う身震い、鳥肌感覚）を、情動制御のターゲットとして設定した。そこでリアルタイムで Frisson を検知し、集団に伝搬させるシステム Frisson Wave を開発し、音楽コンサートの場を活用して鑑賞体験の拡張を試みた。

課題推進者： Kai Kunze（慶應義塾大学）

（3）研究開発項目3: 身体技能の多様性融合技術

研究開発課題 3-1: 身体の多様性を包摂する技能共創技術の開発

当該年度実施内容：（1）身体感覚を共有するための無人称化技術の開発について、力学的補償および認知的補償による有効性を検証した。力加減による触覚情報の変化や周波数に応じて異なる感度に着目し、提案手法の評価や改善を行い、異なる人物からの触覚情報の共通化や異なる感度において感覚を類似にできることを示した。（2）他者の感覚運動制御を取り込む身体感覚代行提示技術の開発について、手首やこめかみにおける触覚提示の知覚特性調査や、他者の力覚や動作情報の同時触覚提示システムを開発した。同時提示では異なる種類の刺激が知覚精度向上に有効であることを確認し、2 人の状態認識が可能であることを示した。

課題推進者： 田中 由浩（名古屋工業大学）

研究開発課題 3-2: CA を通じた高度技能のモデル化と技能転写技術の開発

当該年度実施内容：本研究開発課題では、模倣学習を用いて人の身体技能を CA に取り込むことで、操作者が有する技能を超えた身体技能を発揮できる CA の構築を目的に CA を通じた模倣学習技術の開発に取り組んできた。本年度は、書字動作を対象にロボットアームを通じて学習データを収集するシステムを構築した。書字動作を正確に捉えるために、ロボットアームと動作入力デバイスを組み合わせたハードウェア環境において、動作入力デバイスおよびロボットビジョンによる映像データを入力として、動的な情報を取り入れ高い再現性を持つ模倣学習モデルを構築できた。

一方、本研究開発課題が取り組む模倣学習を含む AI の技術領域は、現在、世界的に急激な進展を見せており、後発の研究組織にとって模倣学習の研究開発単体において新規性と独自性を担保することは極めて困難な状況にある。そこで今後は、模倣学習そのものの研究開発ではなく、本プロジェクトが本来目的とする、CA を通じた技能拡張を実現する CA 基盤の実現にリソースを集中するため、本研究開発課題は本年度をもって終了し、本研究開発課題のこれまで開発した成果および人的・物的リソースは、CA クラウド基盤を開発する研究開発課題 4-2 に引き継ぐこととなった。来年度以降は、研究開発課題 4-2 において、CA クラウド基盤による技能融合のコア技術として、模倣学習を実装し、CA を通じた技能拡張の実現につなげる。

課題推進者： Charith Fernando（アバターイン株式会社）

研究開発課題 3-3：身体融合における意図調停と身体反応制御技術の開発

当該年度実施内容：本研究では操作者自身が不可能なことを、操作者の主体性を阻害しないように手助けする、伴操作エージェント（一部の行動を自動化した人間）を含んだ系での非対称意図調停技術を開発した。(1) 操作者と伴操作者がいる状態での両者間の意図調停の実現のため、熟練者と初心者の条件において、意図調停にどのような変化が起きるか比較検討した。比較の結果、熟練者の条件では、非言語の条件において、相手に動作の模倣を伝える条件から、徐々に相手に行動を任せ、間違いの点で否定動作を行う形に推移した。一方で、初心者の条件では、非言語の条件において、そもそもユーザーが相手の行動を否定するという行為を避けるため、相手の行動を待つ形で相手に気づかせるようなコミュニケーションが主体となった。(2) 操作者の主体感を保った CA 操作の達成のため、非対称会話やジェスチャ程度の限定されたモデルで、操作者と伴操作者が同時に接続した CA における意図調停を実装した。結果、操作者の目的点に到達するまでの経路動作を伴操作者が代替した場合、操作者は目的点への到達をゴールにおいており、途中の経路を伴操作者が代替しても、主体感を損ねないことが

わかった。以上より、身体融合における意図調停において、熟練者、初心者同士の意図調停で留意すべき点が判明し、身体反応制御技術の開発において、操作者の主体感を保った形での操作の開発に寄与する知見が得られた。

課題推進者： 大澤博隆（筑波大学）

（4）研究開発項目4：身体的共創を生み出す CA 基盤の構築と運用

研究開発課題 4-1：身体的共創を生み出す CA 接続基盤技術の構築と応用展開

当該年度実施内容： 昨年度までに開発した CA コア技術を統合し複数人が複数体の CA を利活用し経験の共有と技能の融合が可能な CA 技術の開発および実証実験を実施した。(1)「実世界ロボット型 CA の構築」においては、2 人のユーザーが 3 体の ロボットを操作可能な CA システムを開発し、身体動作の並列化と融合を同時に行える CA 環境を構築した。障害当事者が実社会で CA を利活用する実証実験を見据え、ブラウザ上の簡易なインターフェースによって 1 人のユーザーがインターネット越しに 4 体の CA を並列操作、あるいは 2 人のユーザーがインターネット越しに 1 体の CA を融合操作することが可能な CA 環境の開発を行った。(2)「バーチャル型 CA 環境の構築」においては、バーチャル環境における CA の行動設計、容貌設計、および認知設計の 3 点に取り組み、能力や容貌が自在に可変な CA 環境における、従来の身体的コミュニケーションを超えた共感を生み出すコミュニケーションの可能性について、Empathic Metaverse というコンセプトのもと、試作開発および検証を進めている。(3)「身体感覚の双方向同期共有技術の開発」においては、CA と操作者とを高い身体性を伴って接続するため、全身に多チャンネルの触覚情報を提示する装置を複数開発し、メタバース空間への没入や、ダンス技能の伝達などのユースケースにおいて、全身触覚刺激が人の身体運動および情動心理に与える影響について検証を行っている。これらのコア技術を集積し CA の実社会応用を見据えた実証実験として、PM および他の研究開発課題との連携のもと、2022 年 6 月に複数アバター分身実験、11 月に融合アバター共創実験を実施し、各コア技術の障害当事者による利活用およびそこから生まれる身体的・社会的効果について、技術的・認知心理学的・及び社会科学的側面から検証した。その結果、分身ロボットカフェにおいて 1 人の障害当事者が複数のロボット型 CA を操作する「複数アバター分身実験」では、単体の CA では困難であった自在な空間移動や、タスクに応じた異なる CA の使い分けが可能となり、カフェの入口から出口まで一連の接客プロセスを完遂することで、CA 操作者の自己効力感が向上したこと、カフェの来場者においてはより高いホスピタリティを感じられ満足度の向上につながったことが明らかとなった。また 2 人の障害当事者が 1 つ

のロボット型 CA を操作した「融合アバター共創実験」では、当事者にとって 1 人では難易度の高いタスクに対して、2 人で協力することで互いの不得意を補い合いながらタスクを達成できたこと、それぞれの個性を組み合わせることで、融合する操作者の組み合わせによって異なる個性が発揮されることが明らかとなり、特に障害当事者に対して CA による身体的共創がもたらす価値を実証することができた。(4) 研究開発拠点を設置している東京・竹芝地区においては、エリアマネジメント事業者との連携のもと公開実証実験イベントを企画し本プロジェクトにおいて開発した研究成果の一部を一般公開した。(5) 本プロジェクトのコンソーシアムである身体共創社会推進コンソーシアムにおいては、計 33 団体(28 企業 5 コミュニティ)との連携のもと、身体的共創 CA のユースケースの探索に取り組んでおり、特に一般社団法人工芸産地協会および三菱総研とともに、工芸と CA 技術との融合による新しい価値創出と社会生活の創造に向けた共創プロジェクトを発足した。

課題推進者： 南澤 孝太（慶應義塾大学）

研究開発課題 4-2：次世代 CA クラウドの構築と運用および国際標準化の推進

当該年度実施内容： 本研究開発課題は、複数の人が複数の CA に接続可能な CA クラウド基盤の構築を目的としている。本年度は、様々なユースケースにおける CA クラウド基盤の利活用を容易にする SDK の開発を進め、プロジェクト内の他研究開発課題への提供を通じた実証実験における試験的運用、前年度より開発しているウェアラブル型 CA ロボットを用いた従来とは異なる種類の CA への適用試験等を通じて、様々な CA に対して CA クラウドおよび SDK が適用可能であることを確認した。また CA 基盤の国際標準化に向けた活動としては、ANA AVATAR XPRIZE を主催する米国 XPRIZE 財団との連携のもと、コンテストを通じてロボット型 CA 技術の世界的技術動向を抽出するほか、入賞チームとの継続的な協議を通じて、CA クラウドの展開可能性の模索、およびデファクトスタンダード化に向けた検討を進めている。CA クラウドの標準化に際しては実社会の多様な現場での利活用における必要な要件を明らかにすることが必須であることから、沖縄美ら海水族館及び中部国際空港の 2 箇所において、オープンフィールドでの CA 運用実証実験を実施した。本実証実験を通じて、CA 利用者の体験時における通信環境や満足度等のデータを収集し、CA 標準化へ向けて動作環境の要件や具体的なユースケースにおける課題点を抽出した。

課題推進者： 深堀 昂（アバターイン株式会社）

(5) 研究開発項目 5：多様性と包摂性を拡大する CA 社会の共創的デザイン

研究開発課題 5-1: CA を通じた障害克服の実践的研究

当該年度実施内容: ALS 患者をはじめとする身体に障害を持つ人は、身体的制限が理由で就労したくても働けないケースが多々有り、遠隔で業務を行える環境を構築する必要がある。本研究では、身体動作を含む遠隔就労を可能とする分身ロボット型 CA およびバーチャル型 CA を提案し、障害者が働ける実証実験環境として分身ロボットカフェを設置し運用する中で、本人の能力を補い・拡張する CA の技術の開発・検証を行う。令和 4 年度は、(1) 長期遠隔就労が可能なカフェ型実証実験環境の構築と運用に関して、カフェ型実証実験環境において障害者一人による二台の分身ロボット型 CA を用いた実証実験と、障害者二人による一つの CA を同時に操作する実証実験を実施した。また、障害児向け CA による就労体験プログラムを試行した。(2) 障害者向け CA の開発に関して、分身ロボット型 CA の仕様を決定し、開発に着手した。分身ロボット型 CA の開発に伴い、障害者に合わせた操作方法の仕様を決定した。

課題推進者: 吉藤 健太郎 (株式会社オリィ研究所)

研究開発課題 5-2: 身体的共創の産業応用的実装と評価

当該年度実施内容: 昨年度において検討した「シミュレータを活用した複数台のサービスロボット操作時の主体感維持条件」に基づいて、主体感を維持した状態で同種タスクの複数台ロボット操作時の認知負荷を低減するための Shared Control 技術の開発を行った。開発した Shared Control 技術を用い、店舗作業ロボットもしくは宅配移動ロボット 5 台/人以上の遠隔操作実験を行い、認知負荷が低減できていることを確認した。

課題推進者: 安藤 健 (パナソニック株式会社)

(6) 研究開発項目 6: CA 時代の倫理と社会制度の設計

研究開発課題 6-1: CA の法解釈学および法政策学的研究

当該年度実施内容: CA の利活用に関わる重要な点について理論的な検討を行ったほか、事業者等に対して通説的な法解釈や ELSI の観点について情報提供を行うためのガイドラインを作成した。多方面の観点から CA 社会について検討を行う研究会を引き続き企画・開催し、特に本年度はガイドラインに関連づけた検討を行った。

課題推進者: 赤坂 亮太 (大阪大学)

研究開発課題 6-2: 計量社会科学的的手法に基づく CA の社会行動モデルの構築

本年度設置せず

研究開発課題 6-3: CA 社会における倫理とガバナンスのデザイン

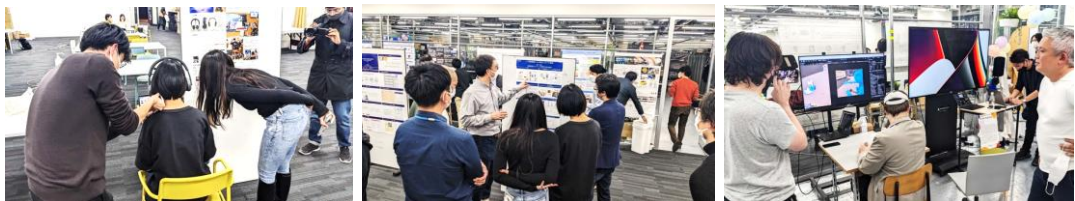
当該年度実施内容: CA をめぐる概念の論点整理として関係者との議論を通して得られた知見を基に講演や寄稿を行ったほか、国際イベントを開催した。イベントでは海外の人から OriHime を介した働き方に対する期待のほか、具体的な法整備や仕組みづくりに対する関心の高さがうかがえた。他課題推進者との共同で、アバターを用いてアンコンシャス・バイアスに気づくための研修プログラムの効果検証や、OriHime を特別支援学校の生徒の就労支援で使ったことに対するヒアリング調査などを行った。

課題推進者: 江間 有沙 (東京大学)

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

- PM, 課題推進者およびその補佐メンバーを加えた月例のプロジェクト運営会議を開催し、各課題間の進捗共有や、マイルストーン達成に向けた共同プロジェクトの実施の調整等を実施している。いずれの会議も Zoom 等のオンライン環境を活用し、プロジェクト参加研究者間の日常的なコミュニケーション環境として Slack を設置するなど、各研究者の進捗状況の共有や議論、情報共有等をスムーズに行える環境を整備している。
- 金井プロジェクトや松村プロジェクトなど目標 1 内の他プロジェクトとの連携を図るため、プロジェクトメンバーへの研究紹介デモンストレーションや、合同ワークショップを開催した。2022 年 12 月 22 日には竹芝研究開発拠点において、金井プロジェクトと南澤プロジェクトの研究交流ワークショップを行い、双方から課題推進者や若手研究者ら約 30 名が参加し、互いの研究や今後の連携について議論を行った。



金井プロジェクトとの研究交流ワークショップ

- 研究開発課題 3-2 について、CA による人の技能の拡張を実現する要素技術として、模倣学習技術を用いた人の技能の学習に取り組んでいたが、昨今の急速な AI 研究の発展により、模倣学習技術そのものは既に国際的な技術競争が進んでおり新規性と独自性を有する研究開発が困難であること、プロジェクトの目的の実現には必ずしも模倣学習技術そのものにおける新規性は求める必要はなく、CA 基盤を通じた技能拡張を実現するシステム開発およびユースケースの実証のほうが優先度が高いことを鑑み、当該研究開発課題は本年度をもって終了し、CA 基盤としての開発は研究開発課題 4-2 に引き継ぐ方針とした。

- 社会デザイン研究グループの体制を強化するため、SF プロトタイピングによる CA 社会の未来シナリオの具体化に取り組むべく、研究開発課題 3-3 推進者で SF 作家クラブの会長を務める大澤博隆(慶應義塾大学)を新たに研究開発課題 6-4 推進者として選定した。
- 本プロジェクトの5年次マイルストーンに向けた加速計画として、人から人への技能と経験の流通を支える CA 基盤「Cybernetic Human-link」の研究構想を立案し、これを具現化するため、新たな研究開発課題として、課題 3-5 に CA による技能流通の高齢者のフレイル治療への適用を目指す名古屋大学医学部の平田仁、課題 4-3 に CA を操作者自身の身体と同程度以上の速度で接続するデジタル神経基盤の実現を目指す東海大学の佐藤雅明、研究参加者として人への身体的介入を行う身体接続インターフェースを開発する University of Maryland, College Park の西田惇を加えた。既存の課題推進者も含めた体制のもと、来年度より本加速計画に取り組む。

(2) 研究成果の展開

- 国家戦略特区である東京都竹芝地区に設置したプロジェクトの研究開発拠点を活用し、複数の研究開発課題間のコラボレーションによる研究開発を推進している。また研究成果の社会実装を見据え、竹芝地区のエリアマネジメントとも連携しながら、本拠点を通じて研究成果の一部を公共空間でのイベント等に展開している。
- 2021 年 10 月より本プロジェクトの産学共創コンソーシアムである「身体共創社会推進コンソーシアム」を設置し、令和4年度末時点で28の企業/研究機関と5つのコミュニティ、計33団体の参画を得ている。
- 本コンソーシアムの活動の一環として、コンソーシアムメンバーである一般社団法人日本工芸産地協会及び三菱総合研究所と共同で、工芸と体験共有 CA 技術の融合による新しい価値伝達と社会生活の創造に向けた共創プロジェクトを発足した。
- 身体的共創 CA のコア技術として開発してきた CA の並列化技術および技能融合技術の Proof of Concept として、身体に制約のある障害当事者による CA を利用した新しい働き方を実証する公開実証実験を実施した。2022 年 6 月 23 日に開催した「複数アバター分身実験」では、1人の CA パイロットが4体の CA を用いてホスピタリティの高い接客サービスを行えることを実証した。2022 年 11 月 2 日に開催した「融合アバター共創実験」では、2人の CA パイロットが遠隔地から協力して1体のロボットアーム型 CA を操作し、カフェで来場者に対してパンケーキのデコレーションを行う中で、CA を通じたパイロット同士の共創の効果を実証した。いずれも、障害当事者との共創により CA の操作インターフェースの改善を施し、身体に制約のある障害当事者が CA を用いることで高い主体性を伴う社会参画を行え、CA サービスの利用者に対して高いホスピタリティを提供できることが示された。それぞれの実証実験に伴い、公開トークイベントも開催し、PM、課題推進者、CA パイロットを交えて、プロジェクトのプロセスと将来的な可能性について議論を行った。



2つの実証実験とトークイベントの様子

- 2020 年 6 月の設立以来、主に障害当事者を対象として、CA による新たな働き方の研究開発と実証実験を推進している常設実験店舗「分身ロボットカフェ DAWN ver. β 」が、世界的な文化・芸術祭であるアルスエレクトロニカで、最優秀賞であるゴールデン・ニカを受賞した。また UAE(アラブ首長国連邦)により主宰される、サステナビリティ分野における世界的な賞である、ザイード・サステナビリティ賞において、保健部門のファイナリスト(世界から3件)に選定されるなど、多様性と包摂性のある社会に向けた日本発の独自性の高い取り組みとして、世界的な認知を得るに至っている。

(3) 広報、アウトリーチ

- 本プロジェクトのコンセプトや成果をわかりやすく伝えるため、Web サイト (<http://cybernetic-being.org>)にて研究成果の紹介やイベントの告知をおこなっているほか、本年度は全課題推進者を対象としたインタビュー記事の制作を行い公開した。
- YouTube チャンネル (<https://www.youtube.com/cyberneticbeing/>)にてイベントのライブストリーミングやプロジェクト動画の紹介、Facebook グループ (<https://www.facebook.com/cyberneticbeing/>)でもニュース配信やプレスリリース紹介、イベント告知などの広報活動を行っている。



Project Cybernetic being Webサイト、Facebookページ、Youtubeチャンネル

- 2022 年 10 月 29-30 日に開催された、竹芝地区における産学共創連携イベント「ちょっと先のおもしろい未来」において、研究開発課題1-3にて開発したインフレイタブルロボットアバターによる公道歩行や、竹芝ムーンショット研究開発拠点のオープンラボを開催するとともに、本プロジェクトの産学共創コンソーシアムである「身体共創社会推進コンソーシアム」の年次総会を開催した。



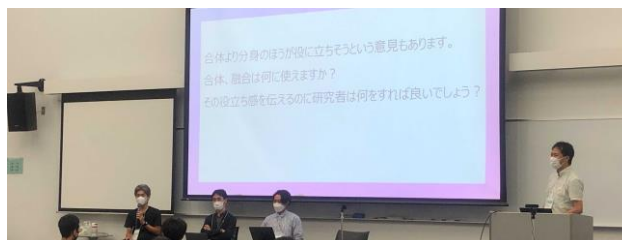
「ちょっと先のおもしろい未来」における、CAの公道歩行、オープンラボ、コンソーシアム年次総会

- 日本学術会議および農林水産省広報室からの依頼を受け、技能融合 CA 技術の農作業への応用を見据えた、田植えの試行実験を実施した。稲作の専門家である農家の方を招き、技能融合 CA を通じて田植え技能の身体感覚を共有することで、新たな技能伝承の可能性を垣間見ることができた。実験の様子は農林水産省公式 YouTube チャンネル「BUZZMAFF」(<https://www.youtube.com/watch?v=6U-nh-POyuU>) にて公開されている。



技能融合 CA による田植えの試行実験（農林水産省 BUZZMAFF）

- 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会・オーガナイズドセッション「合体は部分の総和に勝るか？ ～融合身体の現状と可能性～」にて、本プロジェクトより 3 名の課題推進者が登壇し、融合 CA により従来の生身に縛られない拡張が見込まれることやその課題について、科学技術的観点だけでなく法的・倫理的観点も含めて議論を行った。



第27回日本バーチャルリアリティ学会大会OS
「合体は部分の総和に勝るか？ ～融合身体の現状と可能性～」

- 本プロジェクトと、科研費・学術変革領域 B「デジタル身体性経済学の創成」との共催により、2022 年 12 月 12 から 18 日にかけて、山口情報芸術センターにて「遠隔・身体・共創」をテーマとした合宿形式のオープンワークショップ「YCAM InterLab Camp」を企画・開催した。公開シンポジウムには、本プロジェクトから PM および課題推進者が 6 名登壇したほか、体験共有や身体的共創にまつわる研究開発中の技術として、技能融合 CA や触覚共有デバイス、Morphing Identityなどを現場に展開し、参加者と研究者が混じり合いながらチームを構成して、これらの技術を題材としたハッカソンを開催した。

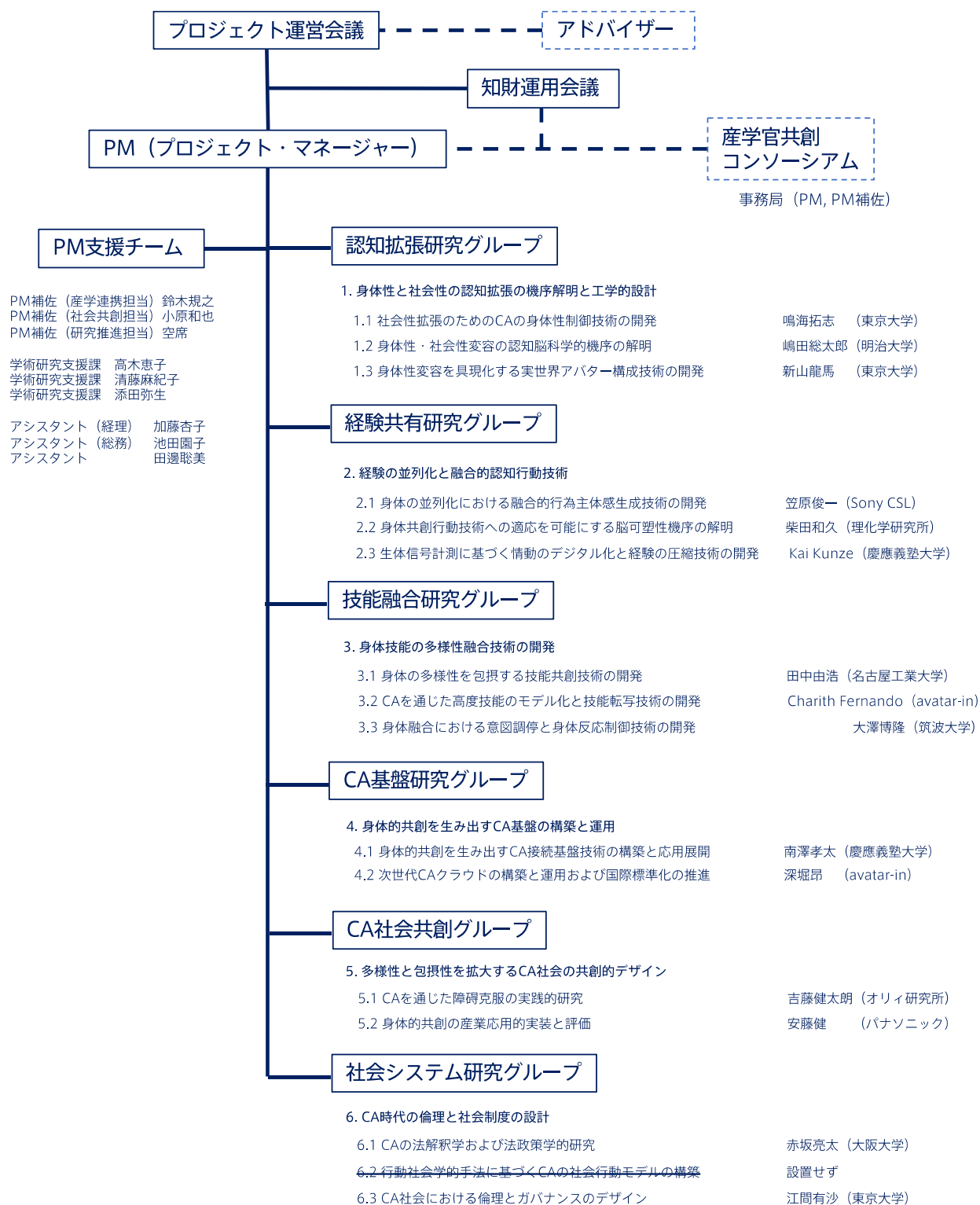


YCAM InterLab Camp vol.4「遠隔・身体・共創」 公開シンポジウムおよびハッカソン

(4) データマネジメントに関する取り組み

- 日常的な研究活動で発生するデータ(身体運動データ, 感覚(視聴覚・触覚)計測データ, VR 空間内での行動履歴, 生体計測データ, 模倣学習データ, 脳波データ, 脳情報イメージングデータ等)については, NII Research Data Cloud における研究データの管理を検討している. 本格的な運用は来年度からとなるが、研究データ管理の方法について課題推進者および所属機関に共有し、データ管理の実効的な運用に向けた準備を進めている。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



・知財運用会議 (準備会議)

メンバー: PM 南澤、慶應義塾大学知財コーディネーター

代表機関である慶應義塾大学の知財部門との連携のもと準備会議を設置している。

・プロジェクト運営会議

メンバー: PM、PM 補佐、課題推進者および課題推進者代理

月 1 回の会議を開催し、研究の進捗とマイルストーン達成に向けた議論を行っている。

5. 当該年度の成果データ集計

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際(PCT 含む)	国内	国際
未登録件数	2	1	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	2	1	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	45	6	51
口頭発表	32	23	55
ポスター発表	10	6	16
合計	87	35	122

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	6	23	29
(うち、査読有)	5	22	27

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	3	0	3
書籍	4	0	4
その他	0	0	0
合計	7	0	7

受賞件数		
国内	国際	総数
5	5	10

プレスリリース件数
9

報道件数
142

ワークショップ等、アウトリーチ件数
30