

研究領域「人間と情報環境の共生インタラクション基盤技術の創出と展開」 事後評価（課題評価）結果

1. 研究領域の概要

人工知能技術・ビッグデータ解析技術等が発展しIoT技術が社会に浸透するなか、現実社会へのサイバー空間の融合が高度にかつ急速に実現されつつあります。そこで、インタラクションの研究分野をより広く”ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクション”として捉えることが重要になってきています。特に情報環境の知能化や人間拡張技術の進展により、環境知能と拡張された人間が共存する新しい共生社会のインタラクション（共生インタラクション）をデザインすることが急務となっています。本研究領域では、人間・機械・情報環境からなる共生社会におけるインタラクションに関する理解を深め、人間同士から環境全体まで多様な形態でのインタラクションを高度に支援する情報基盤技術の創出と展開を目指します。

具体的には、情報科学技術を中心に認知科学、社会科学、脳科学等の学問分野と連携し、人間理解・社会デザイン・構成論的アプローチの共創をねらい、以下の研究開発に社会の叡智を結集して取り組みます。

- 1) インタラクションを支援するための、インターフェースや人間能力の拡張に関する技術開発
- 2) インタラクションを理解するための、原理や機構の解明とそれに資する情報の収集・分析に関する技術開発
- 3) インタラクション技術の活用により、社会構造や人間行動の最適化を促すような環境をデザインする技術開発

これらの研究開発により、急速に進展している人工知能技術等の恩恵を誰もが最大限享受することができ、全体として最適化された共生社会の実現に貢献していきます。

2. 事後評価の概要

2-1. 評価の目的、方法、評価項目及び基準

戦略的創造研究推進事業・CRESTにおける事後評価の目的、方法、評価項目及び基準に沿って実施した。

2-2. 評価対象研究代表者及び研究課題

2017年度採択研究課題

- (1) 五十嵐 健夫（東京大学大学院情報理工学系研究科 教授）
データ駆動型知的情報システムの理解・制御のためのインタラクション
- (2) 神田 崇行（京都大学大学院情報学研究科 教授）
街角環境で共生するロボットのインタラクション基盤技術
- (3) 小池 英樹（東京工業大学情報理工学院 教授）
技能獲得メカニズムの原理解明および獲得支援システムへの展開
- (4) 津田 一郎（中部大学創発学術院 教授）
脳領域／個体／集団間のインタラクション創発原理の解明と適用
- (5) 中澤 篤志（京都大学大学院情報学研究科 准教授）

「優しい介護」インタラクションの計算的・脳科学的解明

2-3. 事後評価会の実施時期

2022年12月4日（日曜日）

2-4. 評価者

研究総括

間瀬 健二 名古屋大学大学院情報学研究科 名誉教授／名古屋大学数理・データ科学教育研究センター 特任教授

領域アドバイザー

石黒 浩 大阪大学大学院基礎工学研究科 教授・名誉教授/
(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR) 石黒特別研究所 客員所長

江渡 浩一郎 産業技術総合研究所人間拡張研究センター 主任研究員

栗原 聡 慶應義塾大学理工学部管理工学科／大学院理工学研究科 教授

小林 正啓 花水木法律事務所 所長・弁護士

中野 有紀子 成蹊大学理工学部 教授

前田 英作 東京電機大学システムデザイン工学部 教授

宮地 充子 大阪大学大学院工学研究科 教授/

北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 教授

茂木 強 科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー

森島 繁生 早稲田大学先進理工学部 教授

外部評価者

國吉 康夫 東京大学大学院情報理工学系研究科 教授

武田 浩一 名古屋大学大学院情報学研究科附属価値創造研究センター 教授・センター長

国際アドバイザー

Alex Professor, MIT media Lab.

Pentland

Anind Dey Dean and Professor, University of Washington Information School

Trevor Professor, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, Berkeley

Darrell

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： データ駆動型知的情報システムの理解・制御のためのインタラクション

2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

五十嵐 健夫（東京大学大学院情報理工学系研究科 教授）

主たる共同研究者

楽 詠瀬（青山学院大学理工学部 准教授）

金 太一（東京大学医学部附属病院 特任准教授）

佐藤 一誠（東京大学大学院情報理工学系研究科 准教授）

3. 事後評価結果

○評点：

A 優れている

○総合評価コメント：

本研究は、機械学習におけるヒューマンファクタに関する諸問題を解決するという独自性の高いテーマに取り組んだ。人手によるデータ注釈の効率化、学習によって得られた機械学習モデルの理解と制御のための技術開発、機械学習を活用した新しいアプリケーションの開発などの重要な課題解決を目指した。

理論、アルゴリズム、ヒューマンファクタの3つの基礎課題の柱と、コンテンツ生成、建築デザイン、医用画像処理の3つの応用の柱を4つのグループで相互連携し、インパクトのある成果を多数産出した。中でも、機械学習における人手での画像アノテーション作業の正確性を向上させる空間レイアウト手法およびユーザが効率的に解空間を探索できるようにする勾配情報を用いたインタラクティブな高次元潜在空間探索手法は、基盤技術としての高いインパクトが期待される。また応用例として高精度な仮想試着システムの開発と実用化に向けた企業との連携、高精度な複合現実感技術を使った脳外科手術支援システムの開発と67例もの手術現場での実利用、18例の覚醒下手術など、社会貢献に直結する成果を上げている。トップ国際会議での多数の発表や特許の着実な申請、報道発表など研究業績は質・量ともに極めて高い。

本研究は「機械学習に関するヒューマンファクタ」という新しい研究分野を立ち上げつつあり、戦略目標への貢献は大きい。ヒューマンファクタが機械学習におけるアノテーションや空間探索においてどのように作用し、その理解がアプリケーション設計指針にいかに関与するかさらなる分析を期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 街角環境で共生するロボットのインタラクション基盤技術
2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

神田 崇行（京都大学大学院情報学研究科 教授）

3. 事後評価結果

○評点：

A 優れている

○総合評価コメント：

将来、警備員、レジ係、店員などの対人サービスをロボットが人と分担する共生社会が実現したとき、安心して快適な共生環境を実現するために、ロボットは万引きなどの低モラル行動を予防し、安心感をもたらす存在になって欲しい。本研究は、人から他者として尊重される（peer respect）存在となり、人の低モラル行動に働きかけ、モラルインタラクションを誘発するロボットを構築することを目的とする。人とロボットのモラルインタラクションという独創的でユニークな課題に取り組み新たな分野を立ち上げつつある。

まず、モラル視覚についてプライバシーの懸念が少ない3次元距離センサを用いて、周囲の人々の発見、追跡、行動特徴などから、低モラル行動を認識できる技術を実現した。モラル聴覚について攻撃的な暴言発話をからかいと区別して判別する認識技術を実現した。モラルインタラクション技術として、peer respect を得て peer pressure の作用を持つデザインを明らかにし、ロボットが他者のモラル行動を引き出す行動変容を引き起こすインタラクション技術を研究し、歩きスマホの注意、クレマー対応行動、からかい対応行動等へ対応するモラルインタラクション行動を実証できた。ロボットいじめ問題についてのエスカレートモデルの分析など、ユニークでオリジナルな課題提案とそれぞれの効果検証をおこなった。これらは、HRI、IROSなどの主要国際会議、トップジャーナル THRI で発表され、高い評価を受けている。最終的に、実現した技術を統合し、モラルインタラクションする機能を持つロボットに実際にサービス提供する役割を持たせ、フィールド実証実験を行った。店員補助、警備員、店番という3つの利用場面で共生状態が実現できることを実証することができたのは、社会的なインパクトが高い。

国内外の研究者とのネットワーク構築も積極的で、JST 日仏独 3 国プロジェクトの共同研究や海外の若手研究者の受け入れなどを行っている。

今後、人とロボットとのモラルインタラクションの本質的な理解の研究にチャレンジして、優れた社会的インタラクションができるロボットの実現にさらに近づくことを期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 技能獲得メカニズムの原理解明および獲得支援システムへの展開
2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

小池 英樹（東京工業大学情報理工学院 教授）

主たる共同研究者

牛場 潤一（慶應義塾大学理工学部 教授）

古屋 晋一（(株) ソニーコンピュータサイエンス研究所リサーチラボラトリー 研究員）

暦本 純一（東京大学大学院情報学環 教授）

3. 事後評価結果

○評点：

A+ 非常に優れている

○総合評価コメント：

本研究の目的は、高度画像処理技術、拡張現実感技術、ソフトロボティクス技術、人工知能技術を駆使し、高度な技能を人から獲得し伝承する技能獲得支援システムの技術基盤を開発することである。これまでに、トップアスリート、熟練音楽演奏家、障害者という特殊技能を持つ人々に着目し、(1)技能獲得メカニズムの原理解明、(2)技能獲得支援システムの開発を行った。

効果的なスキル獲得に重要な共通要素として、脳と身体の動作原理を解明しつつ、様々な場面で使える動作解析システムの開発と共有などに取り組み、優れた成果をあげた。具体的には、単眼カメラからの高精度な3次元姿勢認識手法による技能計測技術を開発し、スポーツ、楽器演奏の動作計測を実現しチーム全体で活用した。また、深層学習による技能分析手法により、多次元データを低次元空間に写像して比較するという、従来の関節座標の比較とは異なる差分提示を実現した。さらに、学習効果の持続性についての分析や、実時間フィードバックシステムは、VR/AR及びロボティクス技術を用いることで、実時間で視聴触力覚によって学習者に教示を行うことを実現した。いずれもオリジナルな発想を基にしており、難関国際会議での受賞など高い独自性と国際レベルの研究水準にある。

スポーツ、音楽などにおける技能獲得と伝承は、高い社会貢献が期待されるとともに、技の獲得の原理解明など科学的なイノベーションへの期待も高い。特にピアノ演奏技能獲得において、プロジェクト全体で開発された技術を統合する形で実用的技能獲得支援システムを実現し、さらに社会実装としてピアノアカデミーを開講し、履修者が健全に高い成果を挙げていることは特記すべきである。また、国立スポーツ科学センターと連携し、競技スキーを対象とした国内トップアスリートのために開発された技能獲得支援システムを構築した。

CMU、St Andrews大学、DFKI、ハノーファー音楽演劇メディア大、ハノーファー音大、ロンドン大学ゴールドスミス校など海外機関との交流、共同研究も盛んに行われている。独自性の強いco-PIが主導する各グループのテーマ遂行に加え、グループ間での連携も非常に活発であり、高い相乗効果が生まれた。現在まで、査読有り論文・主要国際会議等125件、招待講演が国内外44件、特許出願16件（うち国際特許2件）、受賞22件、メディア報道32件などの抜群の成果を上げた。

今後、技の本質、獲得、伝達についてさらに深掘りして技の理解と情報学的普及に貢献することを強く期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 脳領域／個体／集団間のインタラクション創発原理の解明と適用

2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

津田 一郎（中部大学創発学術院 教授）

主たる共同研究者

池田 尊司（金沢大学子どもこのころの発達研究センター 准教授）

亀田 達也（東京大学大学院人文社会系研究科 教授）

河合 祐司（大阪大学先導的学際研究機構附属共生知能研究センター 特任准教授）

松田 一希（中部大学創発学術院 准教授）

3. 事後評価結果

○評点：

A 優れている

○総合評価コメント：

本研究は、機能分化することで複雑な環境に即時適応する、創発インタラクション原理を明らかにし、その数理モデルを提案し、さらに脳領域・個体レベルから、社会的行動規範の生成という社会レベル、さらに進化レベルの機能分化という、幅広の事象を統一原理でモデル化し説明しようとする野心的な取り組みである。具体的には、①複雑な環境と相互作用し素早く機能分化することで環境に即時適応するエージェントの原理を数理的に解明し、②この原理を搭載したエージェントを数理モデルとして構築し、③それを実現する共生ロボットとして提案し、個別医療へも展開することを目標とした。

①は基本原理（動的拘束条件下での変分原理）を早期に確立してチームの指針とした。②は進化型リザーバーコンピューター（ERC）を一つの実効的なモデルとして提案し、また進化的、社会科学的な拘束条件としての新たな集合知条件を複数提案した。さらに、ERCの汎用能力、自律能力を高めるための新たな学習則として相互情報量学習の導入をはかった。リザーバーコンピューターの内部ネットワークを多数の小規模ネットワークモジュールからなるネットワークに置き換えることで、即時適応に適した長時間記憶容量と複雑時系列の高精度予測を達成した。これを reBASICS と名付けて当該エージェントモデルとした。このエージェントモデルは従来のリザーバーコンピューターの性能を格段に高めるブレークスルーであり、ERCとともに③を実現する科学的インパクトとなる期待が高い。個々の研究は素晴らしい成果を挙げ、コンセプトレベルでの共有が新たな発想をもたらしたが、全ての事象を統一原理で説明するという仮説の検証はまだ端緒についたばかりと言える。

これらは、主要ジャーナルを含む査読付論文・国際会議等の発表121件、招待講演162件、受賞35件、報道52件など、突出した業績を挙げている。今後、reBASICSを発展させるなどして、ロボットが身体や環境の変化に対して即時適応するシステムなど、工学的な応用への発展を期待する。また、個人に適応するロボット等の人工エージェントが介在するASDケアシステム、オーダーメイド医療の構築、コミュニティ間の情報伝達が自己組織的に分化する社会のデザインなどを目指すことを期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 「優しい介護」インタラクションの計算的・脳科学的解明
2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

中澤 篤志（京都大学大学院情報学研究科 准教授）

主たる共同研究者

石川 翔吾（静岡大学大学院情報学領域 助教）

倉爪 亮（九州大学大学院システム情報科学研究院 教授）

佐藤 弥（理化学研究所情報統合本部 チームリーダー）

本田 美和子（国立病院機構東京医療センター医療経営情報・高齢者ケア研究室 室長）

高松 淳（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 准教授）（2021年度まで）

3. 事後評価結果

○評点：

A 優れている

○総合評価コメント：

本研究は、「優しい介護」ユマニチュードのケア技術を、ウェアラブルセンサー、環境センサなどで取得・定量化し、統計的解析などを用いて優しいケアスキルがどのような要素から構成されるのかを計算論的に解析し、ケア学習システムの開発を進めた。また、優しい介護スキルがどうして認知症の人に有効に働くかについて、認知/脳科学的な原理解明に取り組んだ。優しい介護技術を医学・介護専門職および家族介護者に教育し、その前後の介護負担感や認知症周辺症状（BPSD）が減少することを明らかにした。これにより、「優しい介護」が主観的な効果のみでなく、臨床的に有効であることが示された。

「優しい介護」における「見る・話す・触れる・立たせる」の4つの重要スキルの科学的解明に取り組み、とくに「見つめる」と「触れる」スキルについて、多様なセンサで計測解析し、介護熟練者と初心者の違いを定量的評価により明らかにし、科学的な効果の説明を行った。その他、高齢者及び認知症における表情知覚の脳科学的解析、優しい介護技術の教育システムの開発と評価、ASD児への「優しい介護」スキルの適用効果の検証など、臨床、支援者育成、他領域への展開など、社会的に重要な成果があった。介護者に要求されるスキルレベルを科学的に分析している点は顕著な成果であり、認知症患者とのコミュニケーション原理の理解に大いに貢献し、科学技術上、社会貢献上のインパクトはそれぞれ極めて高い。そのためのロボットハンドの開発、AR教育用アプリの開発も進展があり、認知症高齢者のみならず、多方面へのコミュニケーション支援分野への応用が期待できる。

ケアスキルの学習システムの開発を進めて、看護師・介護師のみならず、救急隊員、家族介護者・歯科医師・歯科衛生士へのユマニチュード教育介入とその効果を検証し、優しい介護スキルの教育プログラムの実証実績を上げている。

社会的ニーズに直接応答する本プロジェクトは、60件の招待講演と35件の報道発表の実績があり、社会からの注目度は非常に高い。学術・政策提言にも引用されるなど注目を浴びており、科学技術イノベーションへの大きな寄与が期待できる。コロナ禍にあって臨床実験の困難がありながら、むしろ情報技術を活用した介護技術の新しいパラダイムを拓きつつある。優しい介護技術の底辺を広げて、高齢社会における介護現場の問題解決にさらに貢献するとともに、究極の介護技術の研究開発とその現場への実践的適用に今後も期待する。