

領域略称名：人口ロボット共生学  
領域番号：4101

平成23年度科学研究費補助金「新学術領域研究  
(研究領域提案型)」に係る研究経過等の報告書

「人とロボットの共生による協創社会の創成」

(領域設定期間)  
平成21年度～平成25年度

平成23年6月

領域代表者 東京大学・大学院教育学研究科・教授・三宅なほみ

## 目次

1. 研究領域の目的及び概要 .....	3
2. 研究の進展状況 .....	4
3. 研究を推進する上での問題点と今後の対応策 .....	5
4. 主な研究成果 .....	6
4.1 全体の成果 .....	6
4.2 A01の成果 .....	7
4.3 A02の成果 .....	10
4.4 A03の成果 .....	13
5. 研究成果の公表の状況(主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等) .....	17
5.1 主な論文等 .....	17
5.2 ホームページ .....	22
5.3 公開発表 .....	22
5.4 「国民との科学・技術対話」 .....	24
6. 研究組織と各研究項目の連携状況 .....	25
7. 研究費の使用状況(設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む) .....	27
8. 今後の研究領域の推進方策 .....	29
9. 総括班評価者による評価の状況 .....	30

# 1. 研究領域の目的及び概要

研究領域名：人ロボット共生学

研究期間：平成21年度～25年度

領域代表者：国立大学法人東京大学・教授・三宅なほみ

補助金交付額：平成21年度 172,300千円、平成22年度 189,900千円、平成23年度 178,500千円、平成24年度 184,200千円、平成25年度 169,400千円

私たちの提案する「人ロボット共生学」領域の目的は、人と人、人とロボットが互いに相手を育て合う「ヒューマン・ロボット・ラーニング」を共通のテーマとして、ヒューマンロボットインタラクション(HRI)と学習科学という二つの研究領域が双方を高め合い融合し合う新学術領域を創成することである。私たちが創成しようとしている新しい学術領域は、まだ若いながらも既に力のあるこの二つの既存の領域を統合してより強力に研究を推進し、研究テーマをできるだけ現実に近づけ、研究手法を刷新して、実社会の進展に実質的に貢献できる成果を生み出すことを目指している。

ここ2年間、HRIと学習科学両領域から集まった計画研究班の研究者は、互いに相手を見据えつつ自らを振り返って両者を統合しようと努力してきた。本領域にはその統合の目標であるA03「知恵の協創」を実現するために、HRIに関して、センシング、ロボットのアクチュエーション、音声信号処理といったインタラクションのための基礎技術を担うA01「システムの協創」班、人同士の関わりに関する認知・心理の研究と、その知見をロボットの振る舞いに活かしてインタラクションを実現するという認知科学と工学の融合研究を進めるA02「関係の協創」班が参加している(図1. 1)。

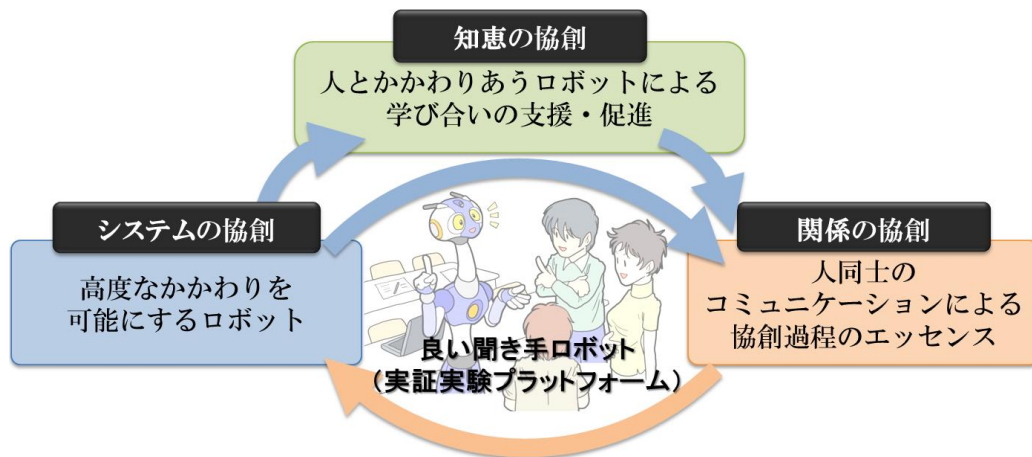


図1.1 本領域の構成

HRIは、人とロボットのインタラクションのあり方を幅広く探ろうと急速に発展し、インタラクションのための基礎技術が確立されつつある。このHRIの次の発展には、インタラクションを実際の日常生活の場に活かす研究開発が必要となってきた。学習という場面では人同士のインタラクションが密に行われる。本領域において、インタラクションを活用するロボットを学習場面に利用することが、これまで漠然としていたインタラクションの意義を明確化し、良いインタラクションを定義づけ、インタラクションをより高度化するガイドとなりつつある。

他方、人の持つ潜在的な能力を洗い出し、それを活かして人を今より賢くしようとする学習科学は、中でも人と人が互いに相互作用することによって新しい知力を生み出す実践研究を急速に拡大しつつあったが、その方法論は、相互作用のダイナミズムを扱うだけに、経験知の蓄積と質的分析に頼らざるを得なかった。それに対して本領域では、「知恵の協創」を担うA03班を中心に、人と人との相互作用のロボッ

トによる制御と支援という新しい研究方法を持ち込むことによって、これまでの経験則を一気に理論化するための多くのリサーチ・クエスチョンを産出し、新しい学習科学の理論を生み出しえるところまで来ている。たとえば、協調学習において「担当した資料の理解が不十分でも、説明して話しあっている内に理解できる」といった経験知に基づく仮説を、ロボットを介して参加者間の相互作用に介入することで検証できるようになった。さらには授業の最後で皆が同一の答えに達するような授業であっても、その過程で起きているひとりひとりの考え方の変化を発話記録や役割変化から追うことによって、学習過程が本来持っている多様性とその相互作用が学びを促進、あるいは抑制する実態を明らかにすることができる。このように、学習科学の経験知に基づく仮説を、再現性のある理論研究へと発展させることができるようになっている。

## 2. 研究の進展状況

「人ロボット共生学」の特徴は、研究項目間の相互依存性の強さである。これまでに、既にシステムを構築するA01班から、プラットフォームのための基礎技術の提供をうけ、総括班を中心にセンサネットワークとロボットからなるプラットフォームの準備が整った。この研究プラットフォームの上で、関係の協創研究を担うA02班と、学校現場や子どもたちの学びの生の現場を扱う知恵の協創研究を行うA03の研究が進みつつある。また、A03班の知恵の協創研究からは、A01班やA02班に対して、現実の状況に制約された新たな研究課題を提案するなど、新学術領域としてのシナジーを産みつつある状況にある。

A01「システムの協創」の役割は、人々の協調的な学びを支援するロボットシステム実現のために必要となる、行動認識、対話戦略・行動計画、ロボット制御の要素技術を研究開発することである。さらに、総括班(X00)を通して、実現した要素技術を領域内の研究者に向けて研究用プラットフォームとして提供し、領域内の研究推進に寄与する役割も担う。A01の研究のなかでもっとも目覚ましいものとしては、A03「知恵の協創」班からの要望に答える形で進展した対話行動認識技術があげられる。この対話行動認識技術によって、空間内で対話が起きている場所の検出、音声・話者同定を、同時に、かつ高精度で行えるようになった。この技術を利用するためのセンサネットワークや、本領域の実験で利用しやすいようにデザインした遠隔操作型の人型ロボットおよび卓上ロボットは、プラットフォームとして開発され、A02「関係の協創」班、A03「知恵の協創」班における実験での利用がスタートしている。

A02「関係の協創」の役割は、協調的学習場面において生じる人とロボットの相互作用を、人とロボットの関係性の側面から体系づけることである。これまでに得られた主要な成果として、ヒト性を計測する客観指標として、脳波計測におけるmu-suppressionが利用できることを示した(mu波は頭頂から前頭における $\alpha$ 波様の脳波)。さらに、人がロボットを人として認知するかどうか、学習場面での相互作用を成立させるために重要であることを見出しつつある。客観指標としては、脳計測を用いた指標の他にも、画像処理による人の振る舞いの分析、心理指標の構築を進めた。また、社会的に関わろうとする動機付け(志向スタンスの引き出し)を引き出すためのロボットの振る舞いについて研究を進め、ロボットが視線の同時性行動を行うことが有効であることをこれまでに見出している。

A03「知恵の協創」の役割は人と関わり合うロボットにより人々の学び合いを支援・促進する方法を明らかにすることである。研究は、実際に学校現場で効果のあることが確認された協調的な学習場面で卓上ロボットが遠隔操作によって「学習仲間」として機能し得ることが確認されるところまで来ている。小学生、大学生を対象とした知識構成型の授業の他、大学生を対象としたキャリアカウンセリング、同じく大学生を対象とした共同問題解決場面など多様な場面で、ロボットによる発話制御などの実験方法の開発を試みた。これらを活用して「良い聞き手」の特徴や役割を特定し、多様な手法による良い聞き手の実現によって教室での建設的相互作用を活性化する研究が展開し始めている。

### 3. 研究を推進する上での問題点と今後の対応策

おおむね予定通り研究を推進することができている。ただし、2011年3月12日に、本領域「人ロボット共生学」のシンポジウムを、情報科学の研究者と認知科学研究者が集う場であるインタラクション2011に併設する形で予定していた。海外から招待講演者や評価者を呼ぶとともに、子供達を集めて、ロボットによる協調学習を体験させるという大規模な企画であった。しかし、シンポジウムの前日の3月11日に東日本大震災が発生した。このため、東京地域では交通網が麻痺し、シンポジウム会場である日本科学未来館も閉鎖されるなど、シンポジウムを実施できる状況ではなくなった。このため、広報や実証実験について、やや遅れが出つつあった。この解決のために、2つの対応を行った。まず、子ども達とロボットとの協調学習体験については、急遽、戸田市教育委員会(埼玉県)およびNPO法人センス・オブ・ワンダーと連携し、戸田市立芦原小学校にて、ロボットによる協調学習の体験を実施することができた。大変好評で、引き続き連携して進めて行くことができそうな状況にあるため、結果として新しいフィールド実験の場を得ることができた。2つめに、シンポジウムについては、代表者と関係の深い認知科学会の大会(本年9月、東京大学)にて、実行委員会から招待を受け実施することとなった。

また、領域内の研究者が集う合宿を3月21日～22日に計画していた。計画班、公募班ともにほぼすべての研究者が集い、各班に関わる研究動向のチュートリアルや、研究の進捗に関する情報交換、ロボットを用いた協調学習の実験に関わるビデオを観察して議論する企画などが予定されていた。しかし、この企画も、東日本大震災に伴い関東地域で起きた計画停電のため、合宿を行う予定であった宿泊施設の営業の見通しが立たず中止することとなった。このため、4月から6月にかけて、領域会議の開催頻度を密にし、合宿で予定された企画を領域会議に取り入れて実施した。領域内において、震災による遅れを取り戻そうという意識が共有されており、いずれの会も積極的な参加を頂くことができ、当初の研究推進の目的を果たすことができた。

なお、3月のシンポジウムが中止されたため、総括班評価者からの評価を頂くことにも遅れが出た。これについては、6月にあらためて評価委員会を開催して、評価やアドバイスを頂いた。また、この震災の影響による変更のために、海外の評価者に来日を求めることが困難になったため、参加できなかった海外の評価者についてはテレビ会議等で詳細な説明を行い、意見や評価を頂いた。

## 4. 主な研究成果

### 4.1 全体の成果

本領域は、人と人、人とロボットが互いに相手を育て合う「ヒューマン・ロボット・ラーニング(HRL)」を共通のテーマとして、ヒューマンロボットインタラクション(HRI)と学習科学という二つの研究領域が双方を高め合い融合し合う新学術領域を創成することである。この動きは、本プロジェクト「人ロボット共生学」が立ち上がって以来急速に国際的な注目を集めている。

ヒューマンロボットインタラクション(HRI)は、人間と関わるロボットの実現を目指し、ロボット研究に、認知心理学的手法を持ち込み、実験室実験や実証実験を通して、人とロボットの関わりにおいて重要となる要素の発見と同定に貢献してきた。このHRIの分野は、Sara Kiesler (CMU), Cynthia Breazeal (MIT)らとともに、石黒が2006年に国際会議HRIを立ち上げたことで、世界的に広まり始めた。2011年には参加者270名を超える会議となるなど、最近急速に発展しつつある。また、HRIは採択率20～25%の難関会議であるが、本領域の参加メンバーの論文が毎年4本ほど採録され、HRI2007, HRI2009でBest paper award (石黒、萩田、神田ら)を取るとともに、本領域の開始後のHRI2010を石黒がGeneral chairとして日本で開催し、それまでの会議の中で最高となる234名の参加者が集まり大成功を収めた。また、2010年よりこの会議のSteering committeeのco-chairを神田が担当している。

HRI分野全体としては、本領域の参加メンバーにより、過去5年間で145本の英文誌論文・国際会議論文が出ている。このように、本領域の参加メンバーは、HRIの分野で世界を先導してきた。

一方、学習科学は、三宅が2003年にアメリカで学習科学会を設立した時の発起人を務め、2007年国際学習科学会(International Society of the Learning Sciences)会長、CSCL97, ICCS '06, International Annual Meeting of Cognitive Science 2006, 2012大会委員長、大会実行委員長(Co-chair)を務めた。三宅は協調学習の研究に早くから取り組み、先駆的な業績を上げている。特に、1986年の基礎的研究結果は認知科学分野で非常に高く評価された。この発展としての協調学習の研究において三宅は、従来はグループにおける議論と理解の自然発生を前提とした協調学習方法に、参加者に与える知識をコントロールするという手法を世界に先駆けて提唱している。このように、領域代表の三宅は本領域の参加メンバーとともに、学習科学の分野で国際的に中心的な役割を果たしてきた。

そして、このHRIと協調学習を組み合わせることによって、さらに発展した協調学習環境を実現できるようになり、学習における新たな理論構築の可能性が見えてきた。これまで、子供同士で起きる教室内の学習をコントロールすることは難しかったため、学習科学では経験知と質的分析の積み上げに頼った研究が進められてきた。これに対してロボットは子供達と対等な存在でありながら、背後で遠隔操作する大人が知識や相互作用の仕方さえもコントロールする実験ツールとなりうる。参加者の行動をつぶさに観察し、ロボットを介して参加者間の相互作用に介入することで、従来の経験則に基づきがちな協調学習の研究を、再現性のある理論に基づく研究へと発展させることができる。具体的には、本領域開始後の取り組みを通して、「自らの説明を担当する部分の理解が不足していても、仲間と話し合う中で不完全な理解を高め合うことができる」といった経験知を実験的に示すことによる理論化の見通しや、ロボットの遠隔操作を通して相互作用への介入の一挙一動を外化して内省できる可能性、そしてこのような内省を教員研修に利用できる可能性などが見えてきた。

この両分野が融合した本領域の取り組みについて、これまでもロボティクスに関する国際会議IROSや、HRI、学習科学に関する国際会議CSCLにおいて、「人ロボット共生学」に関するワークショップを企画・実施してきた。HRIにおいて、この新しい分野に関するWorkshopが採択率約50%の中で2年連続で採

択され、同様の研究を先導するRobin Murphy (Texas A&M), Tony Belpaeme (U. Plymouth), Ben Robins (Hertfordshire U.)をはじめとする数多くの参加者を集めた。また、今年7月に開催される学習科学を扱う国際学会CSCLでのワークショップにも、ヨーロッパや中東、アメリカ合衆国それぞれの研究をリードするメンバーが集まっている。また国内の学会からは招待講演や招待シンポジウムの依頼が増えている。本領域の開始後、本領域の参加メンバーは28件の招待講演を実施している。

このように、我々が提唱する人ロボット共生学が世界的な注目を集めるのは、それが、単に新しい理論や教科書を生むのではなく、実社会の中で明日の生活の質の改善、人の賢さの着実な進展に資するものであると期待されているからである。国際的な協力の機が熟しつつあると同時に、国際的なリードを保つためにはこれからの2年間、今まで以上に真摯かつ多様で大胆な取り組みが必要である。

## 4.2 A01の成果

「システムの協創」を担うA01班は、ヒューマンロボットラーニング(HRL)を実現できる高い質のインタラクションを実現するために、ロボットシステムに関する要素技術の研究を進めることを目的として研究を進めてきた。さらに、総括班(X00)を通して、実現した要素技術を、領域内の研究者に向けて、研究用プラットフォームとして提供し、HRIと学習科学の融合する新たな学術領域での研究を促進する基盤を提供する役割を担っている。

A01班では、「行動認識」「対話戦略・行動計画」「ロボット制御」の3つの構成軸に沿って研究を分類し、研究を推進した。A01グループを構成する3つの計画班と5つの公募班の位置づけを図4.2.1に示す。

以下、各基軸に応じてこれまで出された主要な研究成果と、プラットフォームへの技術提供の状況をまとめる。

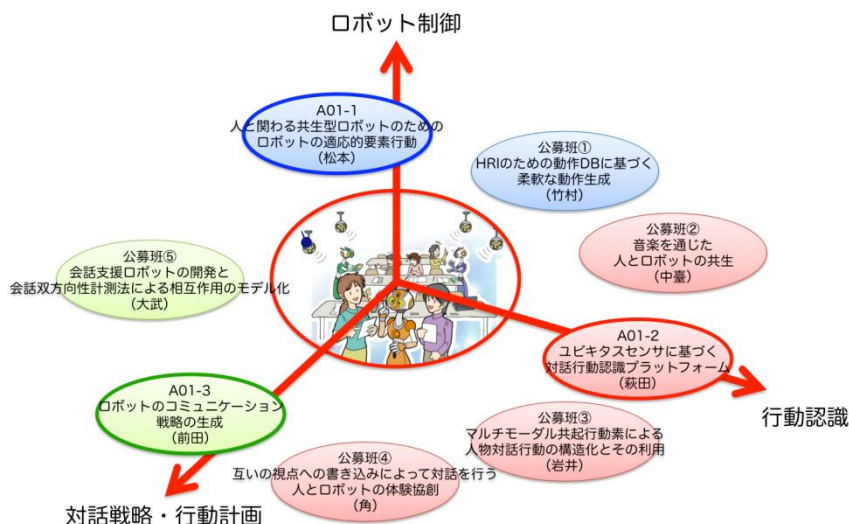


図4.2.1 計画研究班と公募研究班の位置づけ

【**行動認識**】 行動認識に関する最も目覚ましい成果は、複数のレーザ距離計(LRF)を利用した高精度の人位置計測と、複数のマイクロフォンアレイによる音源位置同定・音源分離・話者同定を組み合わせた対話行動認識技術の実現である。空間内で対話が起きている場所の検出、音声・話者同定を、同時に、かつ高精度で行うことが可能になった。人位置・音源位置同定がリアルタイムに行うことができ、音源分離・話者同定はオフラインで結果を得ることができる。動作と音声の情報を組み合わせた音声認識に関する成果は、パターン認識に関する難関国際会議ICPR(採択率18%)、複数LRFと複数マイクロフォンアレイによる音源分離に関する成果は、音声信号処理に関する難関国際会議Interspeechのoral presentation(採択率23%(Oral Presentation))に採択されるなど、その新規性が高く評価されている。

【**対話戦略・行動計画**】 前田らは、大規模な対話データから自動的に対話制御手法を獲得する学習手法の理論的枠組みを提唱し、それを聞き役対話などの非タスク達成型対話に適用して、手法の有効性を検証している。これまでに、部分観測マルコフモデル(POMDP)を用いた統計的手法に基づく対話戦略を提案し、計算言語学に関する国際会議(COLONG)において論文賞Finalistを受賞するなど、学術

的に高い評価を得ている。

また、ロボットを遠隔操作する手法を取り入れる本領域ならではの研究成果も出つつある。大武は、グループ会話の司会者スキルの一部をロボットの遠隔操作システムに取り込む手法を実現した。高齢者同士のグループ会話に利用する中で、高齢者同士の会話支援と司会者スキル向上に、遠隔操作ロボットが有効であることが明らかになりつつある。

【ロボット制御】松本らは、生体ゆらぎを模倣し対話相手に同調するロボットの動作制御手法を提案している。アンドロイドは遠隔操作、あるいは画像認識機能を利用した自律制御により、周囲の人間に同期した頷き・笑顔を表出する。また、表情表出性能を向上させ、実証実験のためシステムをコンパクトにしたアンドロイドを開発した。ペインクリニック(痛み外来)の患者(東大病院70名、阪大病院72名)を対象とした実験を実施した結果、適切な同調により患者と医師のコミュニケーションを活性化させ、患者の診察に対する理解度・満足度が有意に高くなることを確認した。開発した人に同調するアンドロイドは、産総研のオープンラボでのデモの映像がYouTubeで300万回以上再生されるなど世界的に注目されているだけでなく、生体ゆらぎを模倣した制御方法については、PLoS ONE(インパクトファクター4.351)に掲載されるなど、学術的にも高く評価されている。

【プラットフォーム】以下の技術が、研究用プラットフォームとして領域内に提供され、さらに一部の技術については製品化が進んでいる。

〈レーザ距離計と複数マイクロフォンアレイによる対話行動認識システム〉複数のレーザ距離計(LRF)を利用した高精度の人位置計測と、複数のマイクロフォンアレイによる音源位置同定・音源分離・話者同定を組合せた「対話行動認識システム」のプラットフォームへの導入が進められている。さらに、このシステムの一部である人位置計測技術は、多くの研究者が利用しやすいように小型化・校正作業の自動化を行った。この人位置計測システムは製品化され、ATR-Roboticsから販売されている。

〈人型ロボット および遠隔操作システム (Robovie-W・Robovie-R3-HRS)〉学習科学の実験で利用可能な人型ロボット(デスクトップ型 (Robovie-W)、等身大 (Robovie-R3-HRS、アンドロイド))と遠隔操作システムを開発した。特に、Robovie-Wは、実験被験者である子ども(小学生)が受け入れやすいデザイン(A03グループ)、ロボットの視線や振る舞いがわかりやすいデザイン(A02グループ)の要望を受けて検討し、柔らかい素材で丸い形状を実現した(図4.2.



型番	: RPC-S1
サイズ	: W200 × D200 × H300mm
重量	: 約 2 kg
自由度	: 17自由度 (首3、両眼3、腕4×2、腰2)
外装	: ウレタンスポンジ
センサ	: マイク、カメラ (130万画素)
内蔵PC	: AXIOMTEK PICO820
CPU	: Intel Atom Z530, 1.6GHz
SUB-PC	: VS-RC003HV
CPU	: ARM7, 60Hz
I/F	: USB2.0×1, LAN (10/100/1000Base-TX)×1, RGB×1
付属品	: 動作作成ソフト (RobovieMaker2) , 無線コントローラ (VS-C1) 、 無線LANアダプタ、 USBケーブル、 ACアダプタ (バッテリー駆動も可能)

図4.2.2 人型ロボット Robovie-W

2)。すでに領域内で広く利用されている。このロボットおよびシステムも製品化が進み、ヴイストーン株式会社から販売されている。

〈解析ツール(Interaction Debugger for HRL)〉実験時に得られる複数のセンサシステムの出力やビデオカメラからの映像などを、時間同期を取って記録し、実験中に気がついたことをテキストで書き込み、解析時に検索するシステムを開発した。このシステムは、ロボットの遠隔操作システムと連動させることができる。

今後も、A01班から生まれつつある新しい技術を、A02班・A03班が利用できるようにプラットフォームに提供する活動を進めて行く予定である。A01班が開発済み、あるいは今後開発予定のプラットフォーム



を図4. 2. 3にまとめる。



図4. 2. 3 A01班開発/開発予定プラットフォーム

**本学術領域での連携を通して明らかになった今後の研究課題**

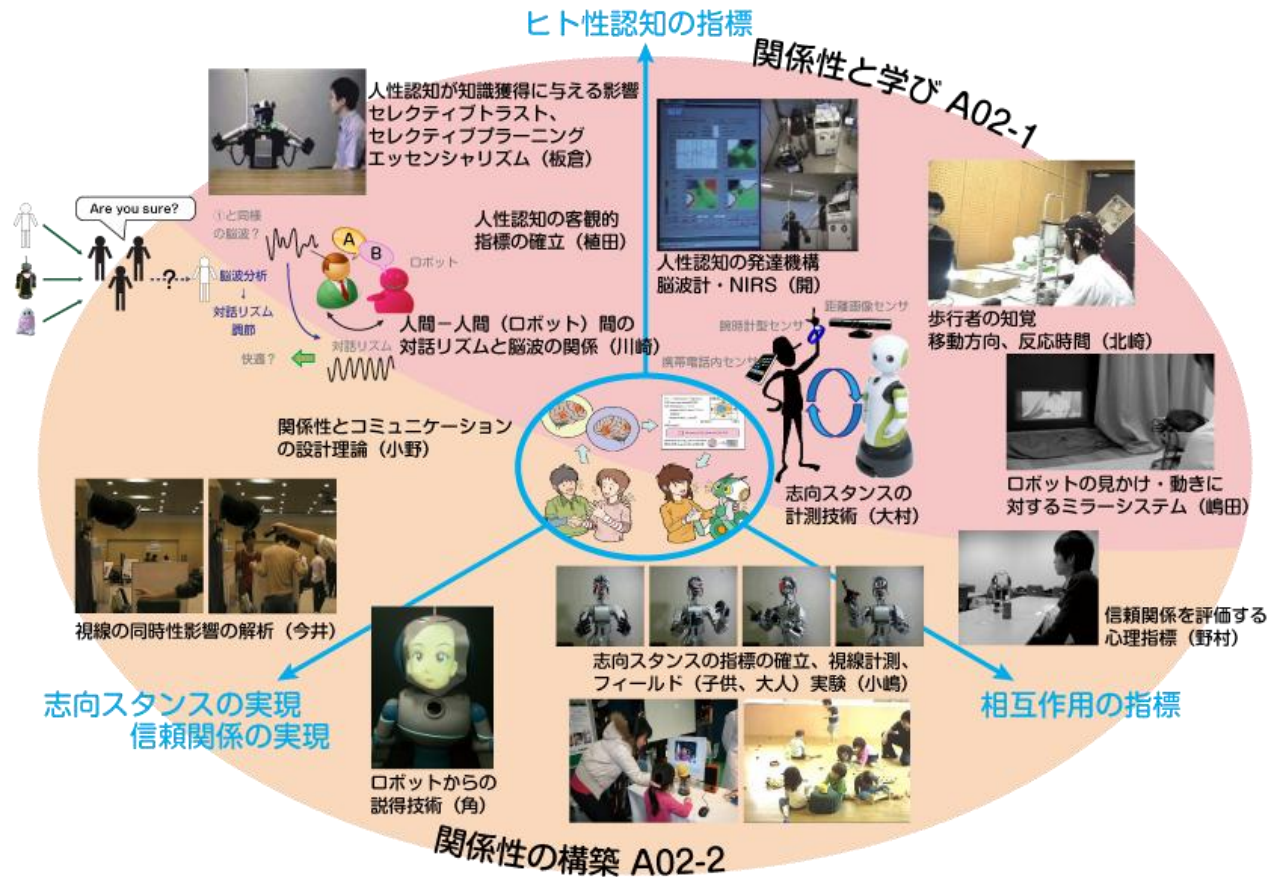
A01班では、この1年半で、新学術領域の研究を進める上で必要となる要素技術をプラットフォームに提供し、非工学系の研究者が最先端の技術に基づくロボットシステムを簡単に利用できるようなしてきた。A02班では、最先端のヒトらしいロボットを利用した実験が行われはじめています。また、A02班でのヒト性に関する研究結果から、ロボット制御における望ましい動作についての知見を得て、A01班では人間と関わるためのより人間らしい自然な動作の実現方法の改良を進めている。

A03班では、プラットフォームとしてロボットが利用できるようなったことで、学びの場での実際的な場面での利用が進みつつある。一方、このような実際的な場面での利用から、今後、人とインタラクションするロボットの遠隔操作履歴や、センサから得られる人々の対話行動履歴などが大量に収集できる。これらのデータは、今後、A01班において、実世界の情報に基づく共生型ロボットの研究開発を進めることにつながる。領域会議などでの議論から、人の学びの仕組みについて起きつつある議論は、ロボットが人とのインタラクションや大量のデータから学び、適応的に振る舞う仕組みについて考察する良い機会となっている。

### 4.3 A02の成果

A02班では、「関係性と学び」「関係性の構築」の2つの側面から研究を行っている。コミュニケーションにおける関係構築は、人がロボットの発言を信頼し、積極的に耳を傾ける学習場面を実現していく上で必要不可欠である。

そこで、A02班では、「関係性と学び」「関係性の構築」の研究を一貫して推進する上で3つの構成軸を設定した(下図参照)。1つめの軸は、「ヒト性認知の指標」の軸である。ロボットは人工物ではあるが、ヒトとの共通部分も多い。学びや関係性の構築においては、人工物に対して如何なる属性を付与すれば「ヒト的」に認知されるのかが重要となってくる。そのためには、ヒト性認知の度合いを明確にする具体的な指標が必要である。2つめの軸は、「相互作用の指標」である。「学び」も「関係性」も人間だけロボットだけで扱える課題ではあり得ない。相互作用の過程として学びを捉えると、「コミュニケーションの円滑さ」や「良さ」の指標が必要となる。また、この指標に基づいて相互作用をデザインする枠組みも構築する必要がある。3つめの軸は、「志向スタンス」の軸である。人とロボットの間信頼関係を築きながら、ロボットが相手であっても社会的な存在として関わろうとする志向スタンスを人から引き出すために、ヒト性や一般的相互作用とは独立した軸を設定して研究を進めた。



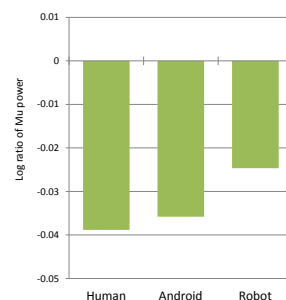
以下、各基軸に応じてこれまで出された研究成果をまとめる。

**【ヒト性認知の指標】** 開、嶋田、川崎らは、ミラーニューロンシステムに着目した指標の構築を行っている。開は、成人および乳児を対象として、ミラーシステムの活動と強い相関があるとされている mu-suppression がヒト性認知の指標として有効であることを示した(mu波は頭頂から前頭におけるα波様の脳波)。この研究では、ヒト、アンドロイド(見た目がヒト)、ロボット(アンドロイド内部むき出しのロボット)が、同じ動作をしている場面を被験者(被験児)に呈示し、それぞれの刺激観察中のEEGが計測された。成人を対象とした実験の結果、ヒトとアンドロイドの動作刺激観察中にmu波は減衰し、ロボットの場合は減

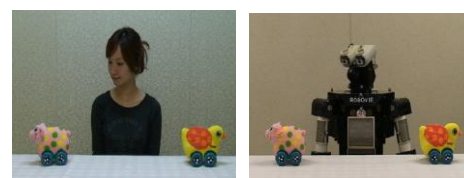
衰しなかった。さらに同じ刺激を乳児に呈示し、同じく脳波を計測したところ、乳児の場合は、アンドロイドの動作観察中にもっとも強くmu波の減衰が観察された。(図は、実験で用いられた刺激。グラフは、各刺激に対するmu-suppressionを示す。)



嶋田は、NIRS(近赤外分光法)を用いて、ミラーニューロンシステムに基づくヒト性認知の指標構築を行った。CGで作成されたヒト、ロボットに「ヒトらしい動き」と「ロボットらしい動き」をさせ、これを観察させた際の脳活動を計測した。興味深い知見として、ロボットが「ロボットらしい動き」をした場合に、ミラーニューロンシステム(一次運動野周辺)の活動が大きくなった。この結果は、脳活動における「見かけ」と「動き」の処理が独立でないことを示唆している。これらの研究から、ヒト性認知の客観指標が利用できる状態になりつつある。また、このヒトらしい動きに関する知見は、A01班での人間らしい自然な動作の実現方法に知見をもたらしつつある。



板倉らは、ヒト性と学びの関連を見出しつつある。乳児を対象にした視線追従行動と物体学習に関する研究を行っている。ヒトまたはロボットの前面に2つの物体を置き、どちらかのエージェントが、2つの物体のうちいずれかに視線を向けた。その後、2つの物体のみをスクリーンに呈示し、注視時間を記録した。その結果、ヒト、ロボットともに乳児の視線追従行動を誘発したが、ヒトの視線の場合のみに、新奇性効果が見られた。すなわち、乳児の物体に関する学習は、ヒトからのみ成立したことが示唆された。



乳児に呈示した刺激

これらの研究からは、学びの対象によっては、ヒト性のやや低いロボットでは十分に効果をもたない可能性が示唆される。学びの場にロボットを導入する際に、どのような条件においては、ロボットは人間と同じような学びをもたらすのか、その成立条件やロボットに必要とされる見かけ・振る舞いを明らかにすることは、今後A03の「知恵の協創」研究においてロボットを利用する際の理論的な基礎となる。

【相互作用の指標構築と実現】川崎は2者間の相互タッピング課題中の脳波計測を実施しており、その分析で、開がヒト性認知の指標として用いたmu-suppressionに焦点をあてている。これまでのところ、2者のタッピングの位相が同期(正確には半周期ずれて同期)している場合には、相手のタッピングのタイミングでmu波の減衰が生じていることを明らかにしている。総じて、ミラーニューロンシステム(あるいはそのEEG指標としてのmu波の減衰)の活動は、ヒト性認知だけでなく相互作用の指標としても有効であることが示唆された。野村らは、相互作用の形成における心理指標の構築を行っている。具体的には、不安の心理尺度を用いてロボットの有効な対話場面の探索を行い、ロボットの発話様式と姿勢の組み合わせに矛盾がある場合に否定的影響があることが明らかになった。

小野らは、相互作用と学びの関連を明らかにしつつある。人型ロボットが人間と発話とゼスチャを交えて対話し、情報を伝える実験を行った。この実験から、人間がロボットと発話・ゼスチャにより情報を伝えあえること、さらにこのようにして情報が信頼して伝わる関係ができた状況では、その相互作用の中でロボットが用いたゼスチャが、人同士の間で伝搬していくことが確認された。これまで人同士の間で用いられなかったロボット由来のゼスチャが人に伝搬するという発見は、A03の「知恵の協創」研究での学習場面において、相互作用を通してロボットが情報の発信源となる可能性を示唆しており、この研究結果は本新学術領域で得られた特有の知見である。

【志向スタンスの実現】 今井らは、短期的な時間スケールにおいて志向スタンスを引き出すロボットの視線の振る舞いの研究を行った。今井らは、すでに世界に先駆けて行った視線の同時性の研究から、人の指差し行動と同調する形で人型ロボットの視線を同時に動かすと、指差し対象に関する共有感が増すことを明らかにしている。この研究を志向スタンス(ロボットと社会的に関わろうとする動機付け)の引き出す振る舞いとして発展させた。ロボットの視線に同時性行動を導入した場合、被験者の志向スタンスが引き出され、ロボットの依頼「それ見せて！」に対して人が手にとっての物体をロボットに見せる行動が現れる頻度が大きく増えた。人がロボットに物を見せる行為は、ロボットのことをコミュニケーションする対象として見なしている志向スタンスの現れであり、視線の同時性行動が、志向スタンスを引き出す上で重要なロボットの振る舞いであることが明らかになった。



また、小嶋は、長期的な時間スケールにおける志向スタンスの実現の研究を行っている。障害児医療施設に、視線提示に特化した小型のロボットを持ち込み、人に対しても志向スタンスを取ることが困難な児童の振る舞いを観察することで、より明確に、志向スタンスの出現を捉えようとしている。現時点では、ロボットを中心に児童が周囲の児童や、大人と関わるとい行動が観察されている。ロボットに対する志向スタンスのみではなく、ロボットを介して周囲の人に対する間接的な志向スタンスも現れており、ロボットが長期的に人と関わることによって、人の志向スタンスを引き出せることが明らかになりつつある。

障害児療育施設での縦断的観察



奈良でのケース  
2011年夏～



自閉・ダウンなど  
3～4歳児 13名

A03「知恵の協創」研究では、聞き手に向かって話すことで話し手が考えを深化させるという考えから「良い聞き手」の実現を目指している。この「良い聞き手」の実現のために、ロボットをコミュニケーション対象、そして考えを述べる相手としてみなすようになるという「志向スタンスの引き出し」は、その最も基本的な要素であると言える。これらの研究において、ロボットの視線行動などの振る舞いが、志向スタンスの引き出しにつながるが見出されたことは、A03「知恵の協創」研究が必要とする「良い聞き手」の構成要因が明らかになり始めつつあることを意味している。

### 本学術領域での連携を通して明らかになった今後の研究課題

これまでの人とロボットのインタラクション研究(HRI)の研究対象では、良いインタラクションを作り出すという研究が主に行われ、情報の受け手がそこから何を学ぶのかについてはあまり検討が進んでこなかった。一方、本新学術領域で扱っている人とロボットの学習場面(HRL)では、インタラクションの中から情報の受け手が何を学ぶのか、が主要な研究対象となりつつある。この中で、A02班のこれまでの研究から、人同士の学習場面にロボットを導入するためには、情報発信をする一単位としてロボットを認知させる必要があることが明らかになりつつある。すなわち、ロボットが、ヒト性を感じさせ、志向スタンス(社会的に関わろうとする動機付け)を引き出すこと、が人間がロボットから学ぶためにも必要である。従来の、良いインタラクションを作るという振る舞いの研究に基盤を置きつつも、これを発展させるアプローチが必要であり、今後、A02班における新たな研究目標が明らかになった。

#### 4.4 A03の成果

最近、国際的に、学習者を中心とした協調的な学習支援が盛んになりつつある。協調学習をデザインする理論的指針は少ないが、領域代表の三宅は、1980年代半ばに自ら打ち出した**建設的相互作用論**をよりどころに、2000年より8年間代表を務めたCREST/SORSTなども活用して、協調学習の実践研究を進めてきた。建設的相互作用論では、課題遂行者(話し手)とモニター(聞き手)がそれぞれ異なる役割を果たし、その役割が自然に交代することがそれぞれの理解深化をもたらす。三宅の2000年以来、過去12年以上にわたる実践研究では、**学習者が「良い聞き手」としての役割を自然な形で取れるよう活動が**生まれ、効果を上げている。20の教育委員会と連携して実践が進み、全国の教育現場に展開し始めている。

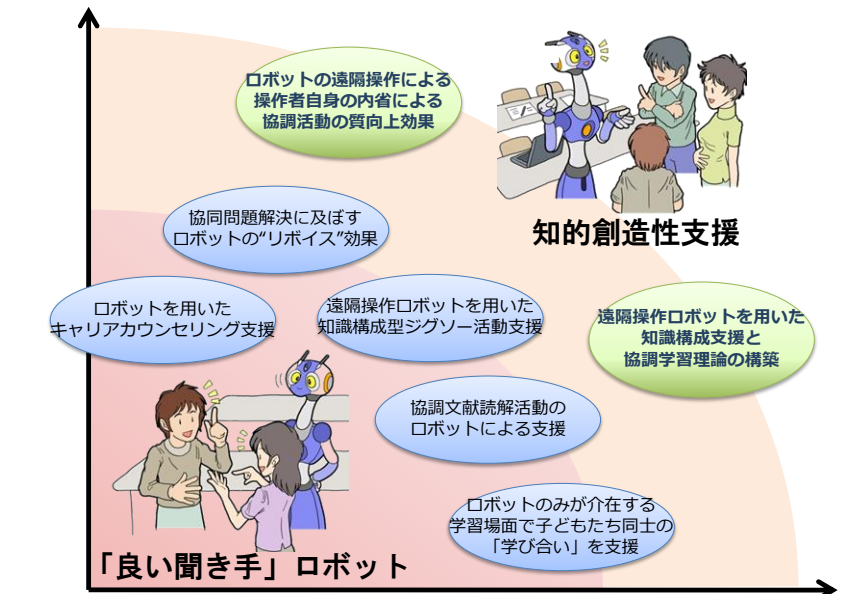
本領域でのA03「知恵の協創」班では、これら実際の教室で有効性が検証された教材や実際の学習プロセスの分析から導き出された知見をもとに、A01班・A02班の技術や知見に基づいて構築されたロボットを利用して、ロボットを人と共生する協調的で積極的な「良い聞き手」として活用し、従来の学習科学ではできなかった新たな研究を進めている。まず協調学習場面を使って良い聞き手とは何か、聞いた内容をどのように学習者に再提供したら学習が促進されるかを明らかにし、その知見を学習以外の場面でのより一般的な知的創造性支援に拡張することによって学習科学とロボット研究を融合し、ロボットを用いた新しい情報メディアに関する学問の体系を明らかにすることを目標としている。

このために、A03班では、2つの構成軸を設定した(右図)。その1つめの軸は、「**考えの外化や内省過程の支援**」の軸である。「良い聞き手」の考え方にに基づき、他人の思考の言語化を促し、相互の内省過程を支援するための会話プロンプトのあり方を研究し、ロボットへの実装の基盤を作る。2つめの軸は、「**協調の促進**」である。ロボットが学び合いの場で協調を促進する方法や、学習支援装置として協調学習の場で利用する方法を明らかにする。これらの2軸の研究群から得られる知見を基盤として、ロボットが介在することによる知的創造活動の活性化を目指す。

以下、「良い聞き手」ロボットの基盤につながる2軸に関してこれまで出された研究成果をまとめる。

【**考えの外化と内省過程の支援**】 三宅らは、知識構成型ジグソー法による協調学習実験を行った。「デンプンの消化と吸収の仕組みを説明しよう」という問いを立て、小学校5、6年生の子供達が、その問いに答えるための資料を三つのグループに分かれて担当し、グループを組み替えてそれらの内容を統合して回答する。ここで、ロボット(Robovie-W)が「栄養素の大きさ」という資料を担当し、資料について説明を行い、続いて簡単な質疑に答えるという役割で、協調学習に参加した。ロボットの説明は、完璧なものではなく、中学生がこの課題を扱う際典型的に見られる説明とした。これは、不完全さの残る説明が聞き手

考えの外化や内省過程の支援



協調・話し合いの促進

にそれを解釈しようとする積極的な「良い聞き手」としての役割を引き出すことを確認するためである。協調学習は、グループの「一名」としてロボットが参加した場合でも大きな違和感を引き起こすことなく、ごく自然な形で進化した(右図)。学習成果も、これまで中学校で実施された同教材による理解達成度とほぼ同レベルの達成度が、約半数の児童について観察された。対象が小学生だったことを考えると、この成果は、**ロボットが介入しての協調学習が学習状況として十分成立することを示唆する。**

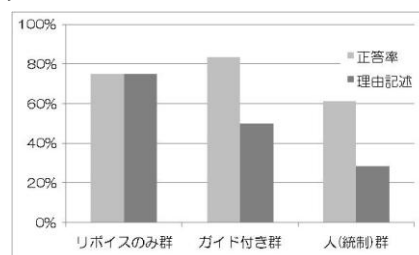


知識構成型ジグソー法は、大学生でも既に実行可能性が確認されている。大島らは、大学生12名が受講する「教育課程と方法」の講義において、知識構成型ジグソー法による文献読解を行う協調学習にロボットを導入した。理解の難しい文献の一つをロボット (Robovie-W)が説明したところ(「実験条件群」)、協調文献読解を大学生のみのグループで行った「統制条件群」と比べて、最終レポートの得点の平均点が有意に高かった。また、CSCL上の文献を統合する議論においては、その議論構造が単なる文献の引用ではなく、それらに関連づける有意味な推論で構成される頻度が実験条件群において有意に高かった。これらの結果から、**ロボットを導入した実験条件群においては、部分的に適切な情報をロボットを通し提供することにより、受講生自身が構築した理解との融合をより促進できることがわかった。**

中原らは、自己の振り返り(内省)が重要であるとされるキャリアカウンセリング場面において、キャリアアンカー(自分のキャリアの強み)を見いだすカウンセリングを、プロのキャリアカウンセラー(「キャリアカウンセラー群」)とロボット(「ロボット群」)が行った。実験の結果、キャリアカウンセリングのクオリティに対する評価は、キャリアカウンセラー群の方が、ロボット群よりも高かった。ロボットの現在のコミュニケーション能力の限界を考えると、これは予想される効果である。一方で、興味深いことに、ロボット群の被験者の中には、ロボットが「頼りない存在」であるため、自分で意識的にキャリアを振り返り、メモをとるなどして、意識的にキャリアアンカーの意味生成を行ったという現象が生まれた。これは、**本来、自己の振り返りを必要とするキャリアカウンセリングなどの場面で、内省過程を支援するロボットが活用できる可能性を示唆するものである。**



内省を支援するための会話プロンプトの研究も進んできている。白水と三宅は、人の発話を繰り返す「リボイス」という手法を取り上げた。リボイスは従来、教師の考える規範的理解へと生徒を誘導する役割が重視されてきたが、生徒の発話を繰り返すことで思考を内省的に再吟味させる役割も期待できる。計45名の大学生が参加した実験において、ペアの学生とロボット一体を1グループとして、学生の発話のキーワードをロボットが繰り返すだけの「リボイスのみ群」(右図)、規範的理解に沿ったキーワードにはロボットが肯定的なりボイスし、沿わないものには否定的にリボイスする「ガイド付きリボイス群」、および、3名の学生がグループをなす「人(統制)群」の3群を比較した。全群に「糸巻き問題」と呼ばれる物理の難問を解かせ、その後ロボット無しで学生のみで転移課題を解かせた。実験の結果、右図に見るように、リボイス群では物理学的に正しい理由記述



を行えた学生の率が最も高く、ロボットによるリボイスが、学生が自分たちの知識の自力構成過程を進める支援に用いれる可能性が示された。ガイド付き群では、ロボットが「何らかの答えを知っている存在」と捉えられるために、その答えを相互作用的に引き出す過程(言わば「答え当てゲーム」)が生じ易かったため、転移課題において正答率は高くなったものの、その根拠として物理学的に正しい理由記述を行えたものの率はやや低くなつたと推測される。

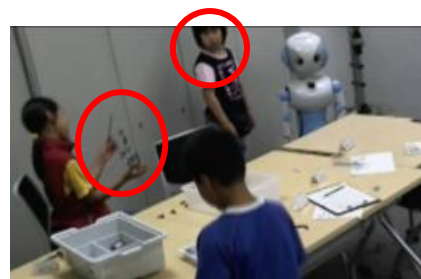
【協調・話し合いの支援】 神田らはロボットによる協調学習支援に焦点を置き、ロボットのみが介在する学習場面で子どもたち同士の「学び合い」を支援する方法の検討を進めた。ロボットを学習支援装置として利用する試みは広がり始めており、導入に積極的な韓国ではすでに700台以上のロボットが教育の場に導入され、英語教育などに利用されている。その草分けともいえる研究は、小学校にて海外からの転校生のように英語だけを話すロボットを導入した神田・石黒らの2003年の研究である。この結果は人とコンピュータとの相互作用に関する最重要誌HCIに掲載され、7年間で138件引用されるなど国際的に高い評価を受けている(引用件数はElsevier社SCOPUSによる)。しかし、これら従来の利用では、ロボットは目新しい存在として興味を引く、科学技術への興味を刺激する、あるいは英語の発音を正確に発する、といったやや単純な利用方法であり、学びの場を作り、協調学習を促進するといった役割は担ってこなかった。



(a) Legoロボットの作り方を説明するRobovie



(b) 子供同士で相談しながらの学習の様子



(c) 作業している子供達に話しかけるRobovie

Legoロボットの作り方についての協調学習実験の様子

そこで、本領域の中で、実際的な学び(共生)の場で、人々の協調や学びを支援するロボットのあり方を模索する研究が始まった。その準備として行った話しかけるロボットについての研究結果が、ロボット工学分野の難関会議RSS2011に採録されるなど、国際的に高い水準の研究が進んでいる。さらに、学びの場での長期的な実験を開始している。8週間にわたって、毎回2時間、4~6名の子供達がLegoロボットの作り方を一緒に学ぶという協調学習型の放課後教室が実験として開催された(上図)。人型ロボットが、作り方の説明や進行役といった役割を担い、大人がいない、ロボットのみが介在する学習環境を作り出した。実験には、これまでに28名の子供が参加し、いずれもLegoロボットの使い方を理解することができた。また、子どもたちはこの経験を非常にポジティブにとらえており、アンケート調査の結果、楽しさについて7点満点中平均6.5点といった高い評価が得られ、「ロボットと勉強してよかった。すごい勉強になる。」「もうちょっとロボビーと勉強したい。楽しかった。またやりたい。」といった声が上がっている。

ロボットは、子供達に近づいて話しかけながら、互いの課題の進行状況や学習目標について気付くきっかけをつくり、協調を支援するfacilitatorとしての役割も担った。上図(c)の場面では、ロボットがある子供に話しかけたところ、その子供は作っているブロックを見せて説明をし、それをきっかけにして子供達の間でどうすれば良いLegoロボットを作れるか、どういう風にブロックを組めば良いかの話し合いが進んだ。このように、ロボットが子供達の協調を支援できる可能性が示唆されている。また、教室の中には大人がおらず、ロボットと子供達だけの学びの場を作ることができている。この結果、大人しい子供が案外リーダーシップ

を発揮するといった状況も起き、ロボットならではの学習支援の可能性も見えつつある。

これらの実際の学びの場での研究は、領域内での研究の具体化や、あらたな技術開発のニーズの顕在化につながり、領域内でのシナジー効果を生みつつある。知識構成型ジグソー法が対象とする、騒がしい教室内で複数の子供達が入り混じって発話する状況を分析するニーズから、A01班において、マイクロフォンアレイ単体では無く、レーザレンジファインダによる人位置計測技術との統合によるロバストな話者方向同定技術が生まれた。A02班での、ロボットが人との関係を作り出す研究においても、これまであまり起きてこなかった「その実験室でしか試していない知見は、実際に使えるの？」という議論を頻繁に引き起こし、研究テーマをより具体的で現実根ざしたものへと変えつつある。

#### **本学術領域での連携を通して明らかになった今後の研究課題**

A03班では、A01班の提供するプラットフォームを利用し、A02班の関係構築の知見に基づきロボットを学びの場で利用することで、大きく研究が進んだ。これらの研究から、ロボットが知的創造性支援に利用できる可能性が見えつつある。三宅らの、遠隔操作型のロボットを用いた知識構成型ジグソー法において、ロボットを操作した操作者は、一様に、普段子どもたちと直接接していたのでは見えてこなかった支援活動の諸側面、どのような支援をどう具体化するか、またその効果をどう事前に予測し、実行結果をどう評価するか、などについて新たな気づきがあったことを報告している。つまり、ロボットを操作する活動が、人の認知活動そのものの外化と内省を引き起こす役割があることが確認され始めている。類似の報告が、他の実験でのロボット操作者からも得られている。中原らのキャリアカウンセリングの実験では、ロボットを介してカウンセリングを行ったプロのキャリアカウンセラーからも、普段は気付かなかった一挙一動の影響に気付くことができたとの報告がある。今後、遠隔操作による協調活動支援そのものを対象化し、理論的分析や研修プログラムの開発に繋がる可能性が見えてきた。これは、ロボットの遠隔操作による操作者自身の内省による協調活動の質向上効果、すなわち知的創造性の支援につながる方向性であると言える。



## 5. 研究成果の公表の状況(主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等)

### 5.1 主な論文等

#### 研究領域全体の発表論文数

学術論文：32件

国際学術論文：20件

国際会議論文：91件

解説記事：17件

書籍：15件

国内研究発表：19件

#### 主な学術論文リスト(計32件)

1. 河崎美保, \*白水始, “算数文章題の解法学習に対する複数解法説明活動の効果: 混み具合比較課題を用いて”, 教育心理学研究, Vol. 59, No. 1, 2011, in press.
2. 荒井宏太, 井上康之, 小野和也, 板倉昭二, \*北崎充晃, “表情と無意味音声のクロスモーダル情動認知: モダリティ情報の強度と信頼性の効果の検討”, 認知科学, 18(3), 15pages, 2011, in press.
3. 金山範明, 大隅尚広, 大平英樹, 飯高哲也, \*開一夫, “顔認知能力の個人差に関する検討—日本語版先天性相貌失認尺度, 行動反応, 脳波を用いた検討”, 認知科学, Vol. 18, No. 1, pp. 50-63, 2011.
4. 宮崎美智子, 高橋英之, 岡田浩之, \*開一夫, “自己認識における運動主体感の役割と発達メカニズム”, 認知科学, Vol. 18, No. 1, pp. 9-28, 2011.
5. 中田篤志, \*角康之, 西田豊明, “非言語行動の出現パターンによる会話構造抽出”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J94-D, No. 1, pp. 113-123, 2011.
6. 福田玄明, \*植田一博, “実際の生物を用いたアニマシー知覚の脳内基盤の検討”, 認知科学, Vol. 18, No. 1, pp. 64-78, 2011.
7. 大本義正, \*植田一博, 大野健彦, “複数の非言語情報による自由なコミュニケーション中の嘘の自動判別の可能性の検討”, 電子情報通信学会論文誌「情報・システム: D」, Vol. J93-D, No. 6, pp. 848-856, 2010.
8. 藤村亮太, 郭斌, 大村廉, 中臺一博, \*今井倫太, “実物体を扱う遠隔協調作業を支援する壁面投影移動型アバタシステムRemyの提案”, 日本知能情報ファジィ学会誌「知能と情報」, Vol. 21, No. 5, pp. 701-712, 2010.
9. 田中文英, 小嶋秀樹, 板倉昭二, \*開一夫, “子どものためのロボティクス: 教育・療育支援における新しい方向性の提案”, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 4, pp. 455-462, 2010.
10. \*川崎真弘, 甲斐田幸佐, 岸浩司, 渡部生聖, 山田整, 山口陽子, “シータ波とアルファ波を用いた運転技能の向上に伴う喜びと満足度の推定”, 人間工学, Vol. 46, No. 5, pp. 307-316, 2010.
11. \*大武美保子, “認知症予防回復支援サービスの開発と忘却の科学—会話における思考の状態遷移モデルと会話相互作用量計測法の開発—”, 人工知能学会論文誌, Vol. 25, No. 5, pp. 662-669, 2010.
12. \*大武美保子, “認知症の予防を目的とする共想法の開発と高齢期における感性の実用的意義”, 感性工学, Vol. 9, No. 3, pp. 160-166, 2010.
13. 山岡史享, \*神田崇行, 石黒浩, 萩田紀博, “協調的移動に基づく対話ロボットによる注意共有の実現”, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 3, pp. 98-108, 2010.
14. 井上康之, \*北崎充晃, “生体力学的制約が身体認識の視点依存性と倒立効果に及ぼす効果”, 心理学研究, 81(2), pp.105-113, 2010.
15. \*中村泰, 松本吉央, 石黒浩, “生体ゆらぎを模倣したロボット制御”, 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.4, pp.470-478, 2010.
16. 守田知代, 片山伸子, 北崎充晃, \*板倉昭二, “眼球運動からみたヒトおよびロボットの身体運動認知の発達”, 日本ロボット学会誌, 28(4), pp.95-101, 2010.
17. 坂本美紀, 山本智一, 山口悦司, 稲垣成哲, \*大島純, 大島律子, 中山迅, 竹中真希子, 村山功, “科学技

術問題の解決を目指した協調学習のデザイン研究:電力問題を取り上げた単元における「問題を定義すること」の学習”, 科学教育研究, 34(2), pp.145-153, 2010.

18. \*大島純, 太田健介, 新原勇介, 大島律子, “協調学習のプロセスと個人の貢献を測定する試み-発言のネットワークを用いた学習者の対話分析-”, 日本教育工学会論文誌, 33(3), pp.333-342, 2010.
19. \*岩井儀雄, 青木康洋, 石黒浩, “行動素の混合分布に基づく行動認識と例外行動の検出”, 電気学会論文誌C, Vol. 130, No. 4, pp. 546-556, 2010.
20. 内海ゆづ子, 松本雄大, \*岩井儀雄, “分枝限定法を用いた顔認識の効率化”, 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 2, pp. 217-228, 2010
21. 田近太一, \*宮下敬宏, 石黒浩, 萩田紀博, “実データの分類による人とロボットの触覚インタラクションの典型パターン抽出”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-A, No.11, 2009.
22. 松田祐児, 大澤博隆, 大村廉, \*今井倫太, “SRTを用いた擬人化 ロボットの表出要素の組合せ評価”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. A92-A, No.11, pp. 806-817, 2009.
23. 石井健太郎, 鳩康彦, Thomas Kanold, \*今井倫太, “自発的に話しかける対話ロボットの話しかけの一手法”, 知能と情報, Vol. 21, No. 5, pp. 693-700, 2009.
24. 駒込大輔, \*小野哲雄, “Practical Magic: スマート情報環境との間に因果性を形成するインタフェースロボットの動作設計モデル”, 電子情報通信学会論文誌A, Vol. J92-A, No. 11, pp. 828-839, 2009.
25. \*白水始, 三宅なほみ, “認知科学的視点に基づく認知科学教育カリキュラム『スキーマ』の学習を例に—”, 認知科学, Vol. 16, No. 3, pp.348-376, 2009.

他、7件

#### 主な国際学術論文リスト(計20件)

1. Y.Xu, Y.Ohmoto, S.Okada, K.Ueda, T.Komatsu, T.Okadome, K.Kamei, \*Y.Sumii, T.Nishida, “Formation Conditions of Mutual Adaptation in Human-Agent Collaborative Interaction,” Applied Intelligence, in press.
2. Y.Xu, Y.Ohmoto, S.Okada, K.Ueda, T.Komatsu, T.Okadome, K.Kamei, \*Y.Sumii, T.Nishida, “Active Adaptation in Human-Agent Collaborative Interaction,” Journal of Intelligent Information Systems, in press.
3. Takuma Otsuka, \*Kazuhiro Nakadai, Toru Takahashi, Tetsuya Ogata, Hiroshi G. Okuno, “Real-Time Audio-to-Score Alignment using Particle Filter for Co-player Music Robots,” EURASIP Journal of Advances in Signal Processing, Vol.2011, 13pages, 2011.
4. Y.Moriguchi, Y.Kanda, Y.Shimada, H.Ishiguro, \*S.Itakura, “Can young children learn words from a robot?,” Interaction Studies, Vol.12, pp.107-119, 2011.
5. S.G. Nurzaman, Y. Matsumoto, \*Y. Nakamura, K. Shirai, S. Koizumi, H. Ishiguro, “From Levy to Brownian: A Computational Model Based on Biological Fluctuation,” PLoS ONE, Vol.6, No.2, e16168, 2011.
6. S.G. Nurzaman, Y. Matsumoto, \*Y. Nakamura, S. Koizumi, and H. Ishiguro, ““Yuragi” Based Adaptive Mobile Robot Search With and Without Gradient Sensing: from Bacterial Chemotaxis to Levy Walk,” Advanced Robotics, Vol.22, No.1, 2011.
7. Tange, A., Mino, M., Miyazawa, K., Hiraki, K., \*Itakura, S., and Yamaguchi, M., “Effect of Facial Expression of Mother on 15-21-Month-Old Infants Using Salivary Biomarker,” Sensors and Materials, Vol. 23, No. 1, pp. 87-94, 2011.
8. Takuma Otsuka, \*Kazuhiro Nakadai, Toru Takahashi, Tetsuya Ogata, Hiroshi G. Okuno: Real-Time Audio-to-Score Alignment using Particle Filter for Co-player Music Robots, EURASIP Journal of Advances in Signal Processing, Vol.2011, Article ID 384651, 13 pages, 2011, Hindawi Pub., doi:10.1155/2011/384651
9. A. Yamamoto, \*Y. Iwai, H. Ishiguro, “Real-time Object Detection Using Adaptive Background Model and Margined Sign Correlation,” IEICE Trans. on Inf. & Sys., Vol. E94-D, No. 2, pp. 325-335, Feb. 2011.
10. A. Sugahara, \*Y. Nakamura, I. Fukuyori, Y. Matsumoto, and H. Ishiguro, “Generating circular motion of a human-like robotic arm using attractor selection model,” Journal of robotics and mechatronics, Vol.22, No.3, pp. 315-321, 2010.
11. \*Kaoru Sumii, “Learning Story Marketing through Practical Experience of Story Creation System,” published in Ruth Aylett, Mei Yii Lim, Sandy Louchart and Paolo Petta ed., Interactive Storytelling, Springer Lecture

Note in Computer Science, LNCS 6432, pp.98-110, Springer, 2010.

12. Noriko Takemura, \*Yutaka Nakamura, Yoshio Matsumoto, Hiroshi Ishiguro, “Human tracking with variable prediction steps based on Kullback-Leibler divergence,” *Artificial Life and Robotics*, Vol. 15, No. 1, pp.111-116, 2010.
13. \*Sotaro Shimada, “Deactivation in the sensorimotor area during observation of a human agent performing robotic actions,” *Brain and Cognition*, 72, 394-399, 2010.
14. H.Fukuda, \*K.Ueda, “Interaction with a Moving Object Affects One’s Perception of Its Animacy,” *International Journal of Social Robotics*, Vol. 2, No. 2, pp. 187-193, 2010.
15. Katayama, N., Katayama, J., Kitazaki, M., and \*Itakura S., Young children's folk knowledge of robots, *Asian Culture and History*, 2(2), pp.111-116, 2010.
16. \*T. Nomura, K. Saeki, “Effects of Polite Behaviors Expressed by Robots: A Psychological Experiment in Japan,” *International Journal of Synthetic Emotions*, Vol. 1, No. 2, pp. 38-52, 2010.
17. Tetsuya Ogata, Shun Nishide, \*Hideki Kozima, Kazunori Komatani, Hiroshi G. Okuno, “Inter-modality mapping in robot with recurrent neural network,” *Pattern Recognition Letters*, Vol. 31, No. 12, pp. 1560-1569, 2010.
18. K.Ono, \*M.Kitazaki, “Search asymmetry in perceiving walkers: an approaching walker is easier to be found than a deviating walker,” *Journal of Vision*, Vol. 10, No. 7, pp. 793, 2010.
19. \*Shirouzu H., “Collaboration as constructive interaction and the jigsaw method as its enhancer,” *International reports on socio-informatics*, Vol. 7, No. 1, pp.65-69, 2010.
20. Kentaro Ishii, \*Michita Imai, “Environmental sensor bridge system for communication robots, *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*,” Vol. 1, No. 3, pp. 211-221, 2009.

#### 主な国際会議論文リスト(計91件)

1. \*Hiraki, K. and Matsuda, G., “Infant's mu-suppression responses to human and robot actions,” *Hawaii International Conference on Social Sciences*, 2011.
2. \*Kaoru Sumi and Mizue Nagata, “Interactive e-Hon as Parent-child Communication Tool,” *14th International Conference on Human-Computer Interaction*, 2011.
3. Kazuma Oki, \*Sotaro Shimada, “Activity of mirror neuron system when observing unnatural actions of a CG character,” *The 17th annual meeting of the Organization for Human Brain Mapping*, Quebec City, 2011.
4. Takeshi Mizumoto, Takami Yoshida, \*Kazuhiro Nakadai, Ryu Takeda, Takuma Otsuka, Toru Takahashi, Hiroshi G. Okuno, “Design and Implementation of Selectable Sound Separation on a Texai Telepresence System using HARK”, *Proc. IEEE-RAS International Conference on Robotics and Automation*, 2011.
5. Ono, K., Sato, T. and \*Kitazaki, M., “Search asymmetry in perceiving walkers: Inversion effect and biological motion stimuli,” *Vision Sciences Society meeting*, Naples, Florida, 2011.
6. Takai, Y., Nakazawa, H., Kato, M., Kamatani, Y., and \*Kitazaki, M., “Neural decoding of 5 leaning directions in motor imagery from event-related potentials,” *17th Annual Meeting of the Organization on Human Brain Mapping*, Quebec, 2011.
7. Ayaka Yamamoto, \*Yoshio Iwai, Hiroshi Ishiguro, “Memory Based Human Region Detection,” *IAPR Conf. on Machine Vision Applications (MVA2011)*, Nara, 2011.
8. Oshima, R. & \*Oshima, J., “Knowledge building for pre-service teachers through collaborative reading comprehension,” *The Annual Meeting of the American Educational Research Association*, New Orleans, 2011.
9. \*Miyake, N., Oshima, J. & Shirouzu, H., “Robots as research partners for promoting young children’s collaborative learning,” *The pre-conference workshop at CSCL2011*, Hong Kong, 2011.
10. Nobuo Kawaguchi, Nobuhiro Ogawa, Yohei Iwasaki, Katsuhiko Kaji, Tsutomu Terada, Kazuya Murao, Sozo Inoue, Yoshihiro Kawahara, \*Yasuyuki Sumi, and Nobuhiko Nishio, “HASC Challenge: Gathering large scale human activity corpus for the real-world activity understandings,” *Augmented Human 2011*, 2011.
11. Chao Shi, Michihiro Shimada, \*Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Norihiro Hagita, “Spatial Formation Model for Initiating Conversation,” *2011 Robotics: Science and Systems Conference*, 2011.

12. \*Miyake N., Oshima J., Shirouzu H., “Robots as research partners for promoting young children’s collaborative learning,” 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2011.
13. \*Miyake N., Ishiguro H., Dautenhahn K., Nomura T., “Robots with children: practices for human-robot symbiosis,” 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2011.
14. Yutaka Kondo, Masato Kawamura, \*Kentaro Takemura, Jun Takamatsu and Tsukasa Ogasawara, “Gaze Motion Planning for Android Robot,” 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pp. 171-172, 2011.
15. \*Sotaro Shimada, “Cluster-based analysis of NIRS data during observation of human and robot actions,” The 16th annual meeting of the Organization for Human Brain Mapping, p.61, Barcelona, 2010.
16. Tetsushi Ikeda, Hiroshi Ishiguro, Dylan F. Glas, \*Masahiro Shiomi, Takahiro Miyashita, Norihiro Hagita, “Person Identification by Integrating Wearable Sensors and Tracking Results from Environmental Sensors,” IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2010.
17. Ryu Takeda, \*Kazuhiro Nakadai, Toru Takahashi, Kazunori Komatani, Tetsuya Ogata, Hiroshi G. Okuno, “Upper-limit Evaluation of a Robot Audition based on ICA-BSS in Multi-source, Barge-in and Highly Reverberant Conditions,” Proc. IEEE-RAS International Conference on Robotics and Automation, pp.4366-4371, 2010.
18. Panikos Heracleous, Denis Beutemps, \*Norihiro Hagita, “Gestures and Lip Shape Integration for Cued Speech Recognition,” Proc. of 20th International Conference Pattern Recognition, DOI 10.1109/ICPR.2010.548, pp. 2238-2241, 2010.
19. Panikos Heracleous, \*Norihiro Hagita, “Non-Audible Murmur recognition based on fusion of audio and visual streams,” Proceedings of Interspeech 2010, pp. 2706-2709, 2010.
20. Surya G. Nurzaman, \*Yoshio Matsumoto, Yutaka Nakamura, Kazumichi Shirai, Satoshi Koizumi, and Hiroshi Ishiguro, “An adaptive switching behavior between Levy and Brownian random search in a mobile robot based on biological gluctuation,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1927-1934, 2010.
21. Yuya Ono, \*Yoshio Iwai, Hiroshi Ishiguro, “Relative Posture Estimation Using High Frequency Markers,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, CD-ROM, 2010.
22. Ryu Takeda, \*Kazuhiro Nakadai, Toru Takahashi, Kazunori Komatani, Tetsuya Ogata, Hiroshi G. Okuno, “Speedup and Performance Improvement of ICA-based Robot Audition by Parallel and Resampling-based Block-wise Processing,” Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1949-1954, 2010.
23. Takeshi Mizumoto, Takuma Otsuka, \*Kazuhiro Nakadai, Toru Takahashi, Kazunori Komatani, Tetsuya Ogata, Hiroshi G. Okuno, “Human-Robot Ensemble between Robot Thereminist and Human Percussionist using Coupled Oscillator Model,” Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1957-1962, 2010.
24. Dylan F. Glas, \*Takahiro Miyashita, Hiroshi Ishiguro, Norihiro Hagita, “Automatic Calibration and Sensor Displacement Detection for Networks of Laser Range Finders for Human Tracking,” 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Conference DVD Proceedings, pp. 2938-2945, 2010.
25. \*T. Nomura, K. Nakamura, “Influences of Inconsistency between Phrases and Postures of Robots: A Psychological Experiment in Japan,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4438-4443, 2010.
26. \*Ren Ohmura, Moe Sameshima, Michita Imai, “Exploring Design of Passing-through Behavior for Daily Coexisting Humanoid Robots,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, CD-ROM, 2010.

他、65件

### 主な解説記事リスト(計17件)

1. 嶋田総太郎, “ミラーシステムと心の理論に関する認知神経科学研究の文献紹介”, 認知科学, Vol. 18, No. 2, pp. 343-351, 2011.
  2. 大武美保子, “アプローチの方法2:コミュニケーション障害に対する方法「共想法」”, 認知症への多角的アプローチ, 地域リハビリテーション, Vol. 5, No. 12, in press, 2011.
  3. 住谷昌彦 他, “ミラーニューロンの基礎と疼痛治療への応用:鏡療法と認知神経科学ロボティクス”, ペインクリニック, Vol.32, No.4, pp.575-582, 2011.
  4. 奥乃博, 中臺一博, “[展望]ロボット聴覚ソフトウェアHARK”, 日本ロボット学会誌 解説「ロボット聴覚」, 日本ロボット学会, Vol. 28, No.1, 2010.
  5. 角薫, “デジタルストーリーテリング”, 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌), Vol. 22, No. 2, pp.230-238, 2010.
  6. 川崎真弘, 山口陽子, “色の主観的な好みに関する脳波リズム”, 信学技報, Vol. 110, No. 228, pp. 21-24, 2010.
  7. 角康之, “体験メディア:グループ活動の文脈に埋め込まれた実世界メディア”, 情報処理学会誌, Vol. 51, No. 7, pp. 826-834, 2010.
  8. 石黒浩, “アンドロイドサイエンス”, バイオインダストリー, Vol.26, No.8, pp.66-71, 2009.
  9. 松本吉央, “生体ゆらぎに学ぶ「ゆらぎ」研究とロボット制御への応用”, バイオインダストリー, Vol.26, No.8, pp.72-76, 2009.
  10. 小野哲雄, “HAIへの学際的アプローチ”, 人工知能学会誌, Vol. 24, No. 6, pp. 818-823, 2009.
- 他、7件

### 主な書籍リスト(計15件)

1. 開一夫, “赤ちゃんの不思議”, 岩波新書, 2011.
  2. 白水始, “「協調学習と授業」”, 高垣マユミ(編)『授業デザインの最前線Ⅱ—理論と実践を創造する知のプロセス—』, pp.136-151, 北大路書房, 2011.
  3. Mihoko Otake, Motoichiro Kato, Toshihisa Takagi, Hajime Asama, “Early Detection and Rehabilitation Technologies for Dementia: Neuroscience and Biomedical Applications,” in Press, IGI Global, 2011.
  4. Kaoru Sumi and Mizue Nagata, “Evaluating a Virtual Agent as Persuasive Technology, Psychology of Persuasion,” Janos Csapó and Andor Magyar eds., Nova Science Publishers, 2010.
  5. 小嶋秀樹, “認知ロボティクスにおける「学び」”, 渡部信一(編)「学び」の認知科学事典, pp.509-524, 大修館書店, 2010.
  6. 三宅なほみ, “「知の活用のためのコラボレーション-認知科学、学習科学を基盤にした新しい学びの創造を目指して-」, 『初年次教育でなぜ学生が成長するのか-全国大学調査からみえてきたこと-』”, 河合塾(編), pp.229-247, 東信堂, 2010.
  7. 三宅なほみ, “「協調的な学び」, 『「学び」の認知科学事典』”, pp.459-478, 大修館書店, 2010.
  8. 中原淳, “企業における学び”, 佐伯胖(監修)・渡部信一(編) 学びの認知科学, pp.100-108, 大修館書店, 2010.
  9. Takuma Otsuka, Takeshi Mizumoto, Kazuhiro Nakadai, Toru Takahashi, Kazunori Komatani, Tetsuya Ogata, Hiroshi G. Okuno, “Music-ensemble robot that is capable of playing the theremin while listening to the accompanied music,” Nicolas Garcia-Pedrajas, Francisco Herrera, Colin Fyfe, Jose Manuel Benitez, and Moonis Ali (Eds.): Trends in Applied Intelligent Systems, LNAI 6096, 102-112, 2010.
  10. 石黒浩, “ロボットは何か—一人の心を映す鏡”, 講談社現代新書, 2009.
- 他、5件

## 5.2 ホームページ

「人ロボット共生学」の領域では、本領域が発足した2009年度に下記のURLにて日本語版のホームページを立ち上げ、本領域の研究概要や各研究項目の紹介を掲載し、研究者だけでなく一般の人々に向けて情報発信を行ってきている。本ホームページでは、単なる研究紹介だけでなく、各研究班で企画される協調学習実験等の被験者募集などを告知するページを、総括班が準備し、領域参画者らの研究活動の支援を行ってきている。また、動画サイトなどでは、本領域で研究されている成果として、アンドロイド等の動画がアップロードされており、本領域のホームページのアクセス数とその再生回数を合算すると、累計して3,449,679回となり、国内外に幅広く知られていることがわかる。また、国際的な本領域の認知度を向上させるために、英語化を図っている。

人ロボット共生学領域ホームページURL：<http://www.irc.atr.jp/human-robot-symbiosis/>

## 5.3 公開發表

「人ロボット共生学」の領域では、これまでに国内では2回のシンポジウムを、4回の国際ワークショップ（うち国内開催の国際会議にて1回）を企画し、開催している。それぞれの開催状況は、以下のとおりである。

- 第一回人ロボット共生学シンポジウム(情報処理学会全国大会内で開催)  
日時:2010年3月9日 午後3時30分~午後6時  
場所:東京大学本郷キャンパス  
参加者数:約50名
- 第二回人ロボット共生学シンポジウム(インタラクシオン2011と同時開催)  
日時:2011年3月12日 午後1時~午後4時30分  
場所:日本科学未来館  
参加者数:東日本大震災の為、開催中止となり、不明。しかしながら、インタラクシオン2011には、約500名近くが参加しており、多数の参加が見込まれた。
- HRI2010 Workshop: Learning and adaptation of humans in HRI  
日時:2010年3月2日 午前9時45分~午後6時  
場所:大阪産業創造館  
参加者数:約50名
- IROS2010 Workshop: Human-Robot Symbiosis: Synergistic creation of human-robot relationships  
日時:2010年10月18日 午後1時~午後5時  
場所:Taipei International Convention Center(台湾、台北市)  
参加者人数:約50名
- HRI2011 Workshop: Robots with Children: Practices for Human-Robot Symbiosis  
日時:2011年3月6日 午後2時~午後6時  
場所:ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE(スイス、ローザンヌ)  
参加者人数:約30名
- CSCL2011 Workshop: Robotics for CSCL  
日時:2011年7月5日 午前9時~午後4時30分  
場所:The University of Hong Kong(中国、香港)

参加者人数:CSCL2011は、ヨーロッパや中東、アメリカ合衆国それぞれの研究をリードするメンバーが集まる国際会議であり、オーガナイザである領域代表者に、多数の研究者から本ワークショップに強い興味を示していることが伝えられており、多数の参加者が見込まれる。

国内外の会議においては、領域代表者を筆頭に、参画する研究者らが招待され、これまでに33件の講演を行っている。主要な招待講演に関する開催状況は、以下のとおりである。

- 日本工学会 科学技術人材育成コンソーシアム「第2回科学技術人材育成シンポジウム」  
招待講演者:三宅なほみ(東京大学)  
講演タイトル:“21世紀型スキルを育てるー今、わたしたちは何ができるかー”  
日時:2011年1月22日  
場所:日本学術会議 講堂  
参加者人数:約100名
- 11th Annual SIGdial Meeting on Discourse and Dialogue(SIGDIAL 2010)  
招待講演者:石黒浩(大阪大学)  
講演タイトル:“Understanding Humans by Building Androids”  
日時:2010年9月25日  
場所:東京大学福武ホール  
参加者人数:約100名
- 2nd International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots  
招待講演者:神田崇行(ATR知能ロボティクス研究所)  
講演タイトル:“Natural Human-Robot Interaction”  
日時:2010年11月17日  
場所:Darmstadt, Germany  
参加者人数:109名
- New Education Expo 2011, Japan Innovation Education Forum 2011  
招待講演者:三宅なほみ(東京大学)  
講演タイトル:“21世紀の学びへ ~明日をつくる力、未来へつながる力”  
日時:2010年6月3日  
場所:東京ファッションタウン  
参加者人数:150名
- International Conference on Cognition, Experience and Creativity  
招待講演者:小嶋秀樹(宮城大学)  
講演タイトル:“Robots-mediated interaction in the research and practice of autism therapy”  
日時:2010年10月29日  
場所:Institute of Technology Gandhinagar, India  
参加者人数:約100名(デモンストレーション約200名)

## 5.4 「国民との科学・技術対話」

本領域に参画する研究者らが、研究活動の内容や成果を、広く社会・国民に対してわかりやすく伝えるために、領域発足以降、各種メディア等にて広報活動を行ってきた。特に、アンドロイドやKeaponを利用する研究成果についての報道が多く、社会・国民への認知度を高める活動となっている。これまでに、領域全体では22件のテレビ・ラジオ報道がされており、そのうち2件は国外での報道であり、国際的に本領域の認知度を高める一端となっている。また、ウェブを利用したメディアでは15件の報道があり、新聞媒体では28件の報道があった。

また、より広く社会・国民に対して本領域の研究成果を広報するために、6件のデモンストレーション展示やパネル展示（うち1件は、東日本大震災のため中止）、6件の講演、一般の小学生を参加者とした体験実験を2件行ってきた。ここでは、そのうちの3件について紹介する。最初に、デモンストレーション展示の一つとして、2010年3月9、10日に東京大学で開催された情報処理学会創立50周年記念事業の一つである「今ドキッのIT@御殿下記念館2010」イベントにて、「人ロボット共生学」領域を紹介するブース（約100平米）



を設営し（右図）、距離センサを用いた人位置計測システムや人型コミュニケーションロボットのデモンストレーション展示を行った。同時に、総括班及び6つの計画研究班を紹介するパネルを展示し、来訪者らに対して説明等を行った。イベント運営事務局からは、2日間の開催でのべ2200名強の来訪者があったことが報告されている。次に、講演としては、コミュニケーション科学基礎研究所オープンハウス2011のイベント内での講演会にて、本領域に参画する研究者が、人ロボット共生学に関する講演を聴衆約170名の前にて講演を行っている。同イベントでは、その他にも研究展示を実施しており、約1100名の来訪者らに対して研究発表を行っている。一般の小学生を対象とした体験実験では、戸田市教育委員会（埼玉県）およびNPO法人センス・オブ・ワンダーと連携し、2011年5月15日に戸田市立芦原小学校にて、ロボットによる協調学習の体験を一般の人たちに実施することができている。本体験では、約30名の小学生が参加するとともに、その保護者及び教育関係者らの見学があり、本領域の研究成果の一部を紹介することができた。見学した教育関係者からの評価は高く、非常に強い興味を示していることから、引き続き連携して進めて行くことができそうな状況にあるため、結果として新しいフィールド実験の場を得ることができたといえる。



## 6. 研究組織と各研究項目の連携状況

「人ロボット共生学」の領域では、ヒューマンロボットインタラクション(HRI)と学習科学という今まさに発展しつつある二つの研究領域が双方を高め合う新学術領域を創成することを目的とし、領域内で連携・調和のための活動を行ってきた。図6. 1に、本領域の各研究課題及び参画している研究者を示す。これまでに、4回の領域全体会議、計13回の班内会議、3回の班間連携会議、4回の国際ワークショップ(HRI2011, HRI2010, IROS2010, CSCL2011)といった連携活動(図6. 2)を行ってきた。

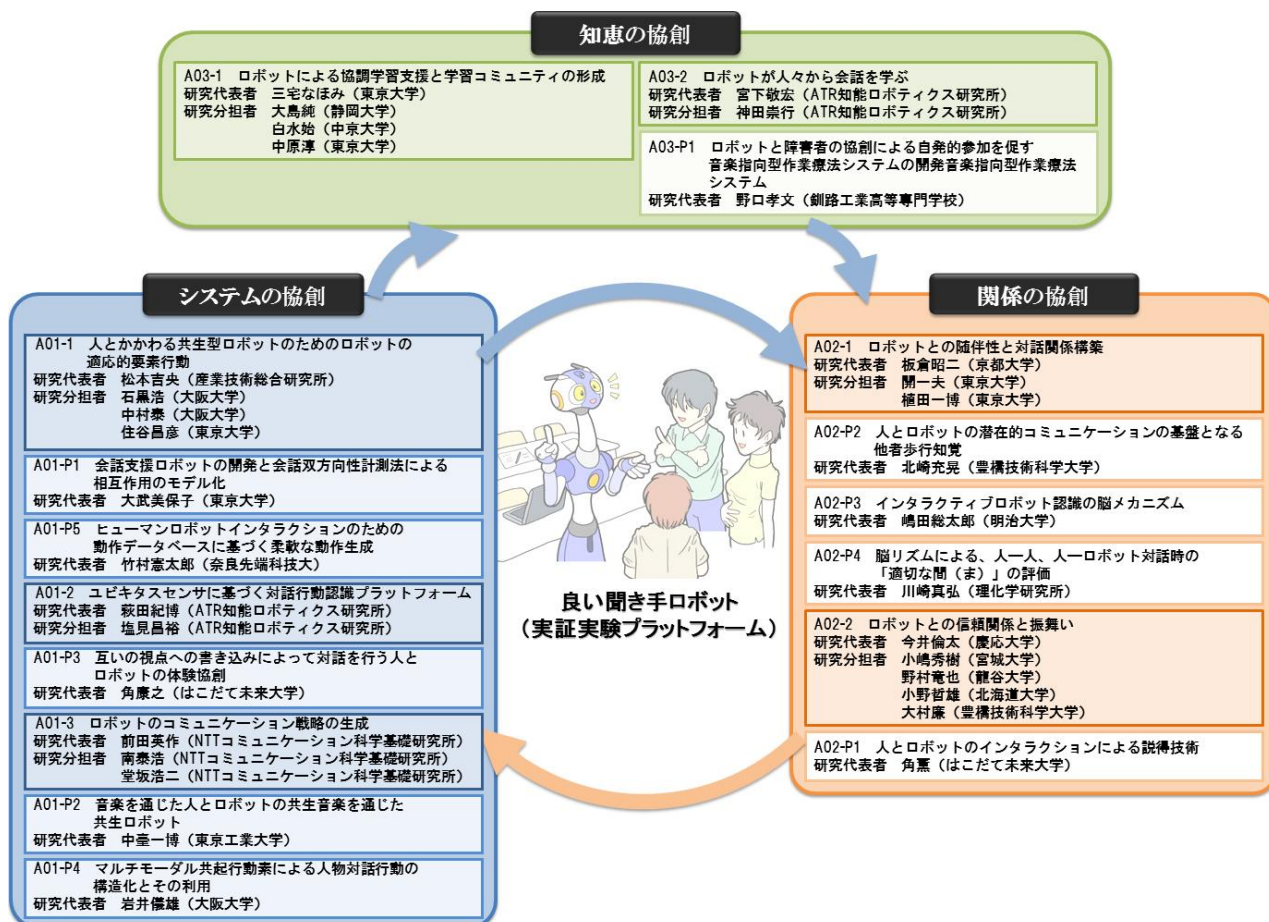


図6. 1 研究課題と参画者(2011年6月現在)

これに加えて、連携・調和のために本領域が行っているユニークな活動は、フィールド実験である。研究成果を統合・確認する場として、各班での知見を結集して統合システムを構築し、フィールド実験を行ってきた。すでに、A01班が持つ技術を進展させ、東京と京都にセンサネットワークとロボットからなる研究用プラットフォームを設置した。教室内での実践研究のために、持ち出して使用することも可能である。すでに、A02班やA03班によって活発に使われ始め、フィールド実験の中で見出されたニーズや、新たな研究課題がA01班にフィードバックされつつある。具体的な例をあげると、実際に多人数・バックグラウンドノイズが高い・不完全発話が多い、といった教室場面での予備実験から、マイクロフォンアレイ単体では無く、レーザレンジファインダによる人位置計測技術との統合によるロボスタな話者方向同定技術が生まれた。他にも、ロボットの発話、動作、タイミングなどへの具体的な要請や、テキスト化した発話と連動してのビデオ解析といった具体的なニーズが生まれつつある。さらに、興味深いことに、学習科学という人の学びの過程についての議論の中から、ロボティクスにおいて従来考えられてきた強化学習を超えて、リアルな環境において動く学習器とはどう設計すれば良いのか、人と同様に本来埋め込むべきものを埋め込むべきか、といった新たな学習アルゴリズムの可能性の議論が活発化し、刺激を受けつつある。

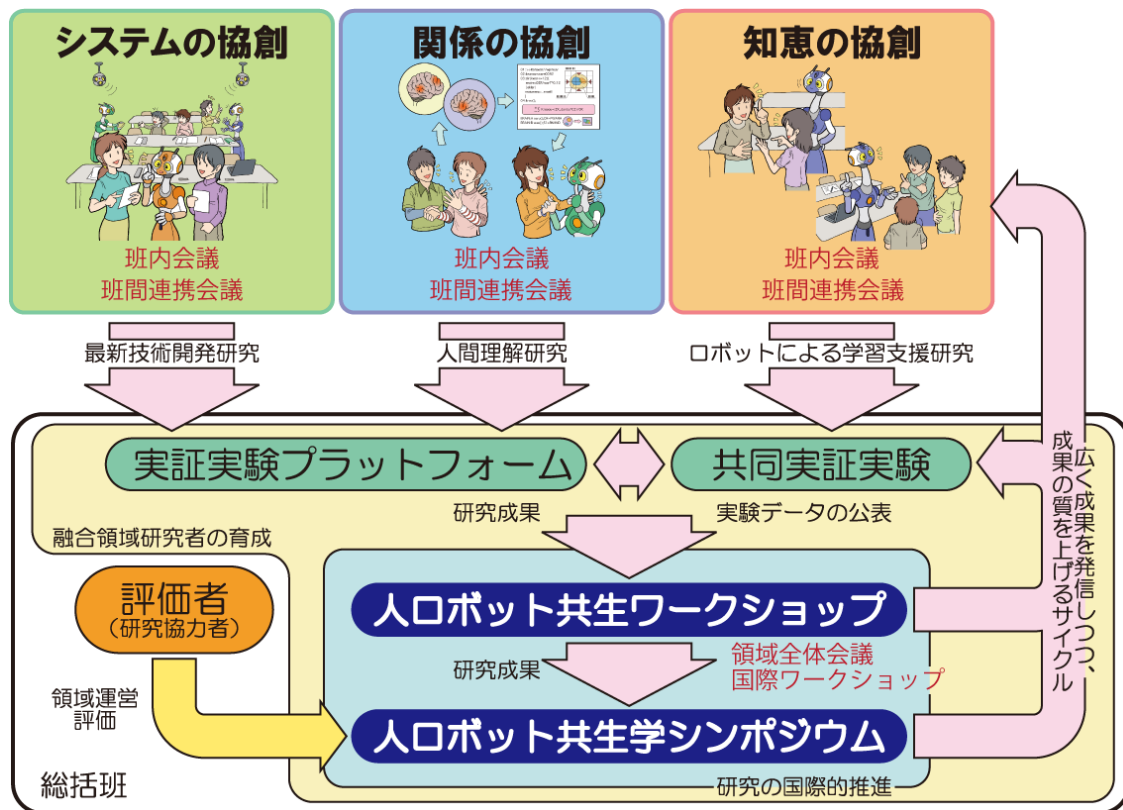


図6.2 総括班と研究班の連携体制

A02班とA03班の間でも、具体的な事例を目にして、議論が活発化している。従来、あまり利用場面を考えずに行われてきたA02班での認知科学・HRI研究は、具体的な課題に対してどのようにして関わりを作るのか、インタラクションを行うのかといった問題設定が起きつつある。認知科学研究において、人の学びの基礎メカニズムや学習可能性の解明について、どのようにサイエンスにつながる研究が行えるか、真剣な検討が始まっている。

A03班は、A01班の技術により、教室場面というコントロール実験の難しい環境に、子供と同じような未熟な学習者や、立場の対等な存在のピアとしてのロボットを導入するということが可能になり、経験則の理論化に向けた研究がすでにスタートした。また、人間が無意識に行っている一挙一動が、遠隔操作を介して行うことで客観視できるようになり、A02班が研究している「良いインタラクションとは何か」に関わる知見を教室などの実践場面で応用・検証するという新たな融合も生まれつつある。

## 7. 研究費の使用状況(設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む)

「人ロボット共生学」領域では、計画研究班、公募研究班、および総括班が適宜連携して研究活動を進めており、相乗効果が得られるような予算の使用を心がけている。これまでに使用した研究費の中で主なものを表7. 1にまとめる。

まず、関東と関西に1箇所ずつ実験拠点を準備し、計画研究班・公募研究班の研究者が、本領域の実験を実施できる共通の場所と設備を確保している。関東では、管理のしやすさと、被験者の交通の便を考え、本領域代表者の勤務する東京大学近郊のビルの一室(97.6㎡)を賃借した。これは、主に、ヒューマンロボットインタラクション(HRI)と学習科学に関する実験をするために必要となる広さ・部屋の形状を考慮して、賃借場所の選定を行った。学習科学の実験においては、被験者3グループ(4名程度/グループ)が同時に参加する機会が多く、1グループにつき20㎡の広さを確保する必要がある。また、その中で実験中のロボットとのインタラクションを考慮し、ロボットが被験者の安全を確保しつつ移動できる領域と遠隔操作やデータを保持するデータベース設置のための領域を確保する必要がある。これらを満たす最低限の広さとして前述した場所を賃借した。関西では、A01班、A03班に参画している株式会社国際電気通信基礎技術研究所(略称ATR)内に70.6㎡の実験室を確保し、実験拠点を構築している。

実験拠点で利用する計測システムとしては、人位置計測システムおよびユビキタスセンサプラットフォーム用センサポールを購入・使用している。ロボットとしては、Robovie-W、Robovie-R3-HRS、アクトロイドFなどを購入・使用している。それぞれ物品は、実験拠点で主に利用するもののみ総括班が購入した。各研究者が主に利用し、各班が連携するときだけ共通で利用する物品に関しては、各研究者が、それぞれの計画研究班・公募研究班の予算で購入した。

両拠点での物品を管理し、各班からの要望に応じてシステムの調整・運用を行うための技術員は、総括班でのべ5名雇用(42人月)しており、必要最小限の人数で効果的に実験拠点の運営を行っている。

これまでの実験拠点の使用実績としては、キャリアカウンセリング実験、高齢者が遠隔操作するロボットを用いたグループ会話支援実験、ロボットによるレゴブロックを題材にした協調学習実験、レーザ距離計と複数マイクロフォンアレイによる対話行動認識システムの検証実験などがあげられる。また、実験拠点の計測システム、およびロボットは、拠点管理者・物品管理者の管理の下、持ち運び可能になっており、例えば、これまでも戸田市立芦原小学校、静岡大学、中京大学での実験でも使用してきた。また、実験だけではなく、2010年3月に実施された情報処理学会創立50周年記念全国大会(東京大学)でのデモ展示や、2011年3月12日に実施予定であった第二回人ロボット共生学シンポジウム(日本科学未来館、東北地方太平洋沖地震の影響で中止)でも有効に利用している。



ロボットによるレゴブロックを題材にした  
協調学習実験(関西実験拠点)



高齢者が遠隔操作するロボットを用いた  
グループ会話支援実験(東京実験拠点)

表7.1 人ロボット共生学領域内における主な設備、備品

名称	購入班	購入年度	購入価格 (千円)	概要
東京実験拠点 賃借料	X00	H22年度 ～	月434	研究班の打ち合わせ、実験、データ処理等の他、各施設で行われる実験やデモンストレーションの準備・試験、ロボットの管理、メンテナンス等に活用されている。
スチールフレームパネル 組立式シールドボックス	A02-1	H21年度	630	周りの電磁場の影響を受けずに、厳密に事象関連電位を計測することが可能となり、アニメシー知覚の脳内機序の調査などに利用している。
アクトロイド F (女性型アンドロイド)	A01-1	H21年度	9,090	病院等での実験以外に、高齢者施設でのロボットが司会を行う実験に利用した。システムを小型・軽量化し家庭用電源で動くようにした利点を生かし、今後も他の研究班にて実験プラットフォームとして活用する予定である。
人位置計測システム	X00	H21年度	3,938	東京実験拠点で実施される研究班らの実証実験にて、被験者らの行動を常時計測が可能な実験環境を構築するために設置し、実施された実証実験での被験者らの行動データを計測・記録した。
人型コミュニケーションロボット (Robovie-R3-HRS) 2基	X00	H21年度	126,000	東京実験拠点で実施したキャリアカウンセリング実験や、関西実験拠点で実施したレゴブロックを題材にした協調学習実験や、人に対する説得技術の評価実験に利用している。
卓上型コミュニケーションロボット (Robovie-W) 7基	X00	H21, 22 年度	7,035	小学生を対象としたジグソー学習実験や、大学生を対象としたジグソー学習実験に利用している。
ユビキタスセンサプラットフォーム用 センサポール 4基	A01-2	H21, 22 年度	7,992	音情報、人位置情報を同時に計測することが可能なセンサポールとして開発し、関西拠点で行われる他班の実証実験にて使用し、被験者らの行動を計測している。
音声合成ソフトウェア XIMERA	X00	H22年度	1,050	領域に参画する研究者らが利用できる包括的なライセンスであり、卓上型コミュニケーションロボットや人型コミュニケーションロボットの発話エンジンとして使用している。

## 8. 今後の研究領域の推進方策

主に以下の4つの考えを領域内に浸透させることによって、ヒューマンロボットインタラクション(HRI)と学習科学という二つの研究領域がさらに双方を高め合い融合するように研究領域を推進する。

### 【新しい研究方法(新しい「フィールド科学」)の確立】

すでに本領域では、フィールド実験を中心とした知見を結集しつつある。教室内での子供達の学び合いといった具体的なフィールドを対象に、そこでロボットを動作させること、ロボットによって有効なインタラクションを作り出す方策を考えることそのものが、それぞれの研究者の研究テーマをより具体的に現実に根ざしたものへと変えつつある。たとえば、A01班・A02班の関わるHRIにおいては、これまで「良い印象をもたらす」インタラクションを実現するといった漠然とした課題が実験室実験で扱われていたが、人のラーニングを引き起こす、ロボットも人とのインタラクションから学ぶ、というはるかに具体的で現実的な意義のはっきりした研究へと変わりつつある。今後も、領域内で共同のフィールド実験を企画し、それに向けて具体的な連携・研究協力を促すことで、この新しい「フィールド科学」とでも呼ぶべき研究方法を推進していく。

### 【人と人との相互作用を活用して人を今より賢くする具体的手法の提案】

学びの場で遠隔操作型ロボットを利用する研究から、ロボットを知的創造性支援に活用できる可能性が見えつつある。ロボットの操作者は、「学び」や「カウンセリング」の専門家でさえも、ロボットを操作することにより自身の活動を客観化することで自らの教授法やカウンセリング方法について、新たな気づきがあったことを報告している。この「ロボットの遠隔操作による自らの認知活動そのものの外化と内省」という現象は、認知活動の新たな手法となり得る。さらにこの方法論を今後明らかにしていくことで、人を今より賢くする方法の提案へと結びつく可能性もある。教員などの研修プログラムへの利用、あるいは学習者が自らの「良い聞き手」となる能力を高めて日常的に建設的相互作用を容易に行えるようにする、といった人を賢くするためのレパトリーを増やす手法について今後研究を推進していく。

### 【ロボットそのものが、人と関わることによって賢くなる(機能強化される)】

これまでのところ、A01班は主にプラットフォームへの技術提供を進めてきたが、領域内での評価において、そろそろロボットも、学びの場で活躍した経験から賢くなる必要があるというご意見を頂いている。たとえば、A03班からA01班に対して要請のある、実際の学びの場におけるデータを収集・解析しロボット自身が再利用する方法、遠隔操作やインタラクションの履歴からロボットが学ぶための認識技術、話したい子供を見つけ出す認識技術といった具体的な技術開発について、領域内での議論を促す予定である。

### 【人とかかわって賢くなったロボットが、人と関わって人をより賢くする】

ロボットによる遠隔操作は、単なる介入手段ではなく、その操作履歴から、学びの文脈にそった知識をロボット上に残す手段でもある。伝えるべき知識の内容や程度、その伝え方、相手からの意見の受け取り方、インタラクション中の振る舞い方といった学びに関わる知識をネットワークを通じて連動する多数のロボットが共有することも可能になる。人と関われば関わるほど賢くなるロボット、そしてそのロボットが継続的に利用され、人々を賢くするといった高度な利用方法を可能にする研究も今後推進していく予定である。

上記に加えて、総括班としては、以下の活動を進める。

### 【国際的な認知度を高めるための取り組み】

総括班評価者から、HRI分野では本領域の取り組みが注目を集めているものの、より広い分野での広報が不足しているとの指摘がある。研究アプローチについては非常に高く評価されているため、今後、ロボティクス分野全般はもちろんのこと、ロボットを教育に用いる研究コミュニティなど、潜在的に興味をもつ研究コミュニティに向けても、ワークショップやシンポジウムの企画により、認知度を高めていく予定である。

## 9. 総括班評価者による評価の状況

2011年6月に外部評価委員会を開催し、総括班評価者より評価・助言などを頂いた。また震災により国際シンポジウムを延期したため参加できなかった海外の研究者に対しては、別途テレビ会議等により研究の進捗を報告し、評価・助言などを頂いた。以下、その評価結果と助言内容の要点を示す。なお、スコアは(A: Excellent, B: Good, C: Should be improved, D: Not acceptable)として評点を頂いた。

東京大学大学院情報理工学系研究科教授 佐藤知正 先生

総合評価 **A+**, 研究領域の重要性 **A**, アプローチの妥当性 **B**, 国際的注目度 **A**

- ロボティクスの観点からは人間関係の構築・操作を目的とした遠隔操縦手法が、教育の観点からは人を誘い込むしかけや学びにおけるよい聞き手のしかけに関する知見がユニークで、興味深い。
- 遠隔操縦と教育の境界領域は、筆者の知る限りみたことがなく、国際的な興味をひくと考える。

国立教育政策研究所所長 徳永保 先生

総合評価 **A**, 研究領域の重要性 **A**, アプローチの妥当性 **A**, 国際的注目度 **B**

- 学習科学からの知見を踏まえて、人間とロボット間の相互作用を定義することにより、ロボットの技術開発において具体的で明確な課題・目標の設定が可能となり、着実な研究の進展が期待できる。
- ロボットを置いて人間相互・人間-ロボット間の知的・情緒的な相互反応を観察し、記録し、客観的に記述しようとする試み自体が、学習科学、認知科学にとどまらず、人間に関する諸学問に新しい研究手法を導入することになり、画期的な研究となると期待される。

大阪大学大学院工学研究科教授 浅田稔 先生

総合評価 **A**, 研究領域の重要性 **A**, アプローチの妥当性 **B**, 国際的注目度 **A**

- Only one concern is the new aspect or contribution on the robotics side. Even though the proposal includes this part, the current status seems more weight from robotics to education/learning than the opposite way.

Carnegie Mellon University, Human-Computer Interaction Institute, Professor Sara Kiesler

総合評価 **A+**, 研究領域の重要性 **A**, アプローチの妥当性 **A**, 国際的注目度 **B**

- It is a pioneering study that has never been done, and has the potential for large impact.
- I am particularly impressed with the use of the jigsaw classroom technique.
- The study will be a focus of international attention but interdisciplinary collaboration is difficult and takes a long time. The HRI group has an excellent record of communicating their work.

University of Zurich, Department of Informatics, Professor Rolf Pfeifer

総合評価 **A**, 研究領域の重要性 **A**, アプローチの妥当性 **A**, 国際的注目度 **C**

- The definition of a new research field, Human-Robot-Learning promises not only new insights, but it also holds the potential to have a deep and wide impact in schools.
- The project has been presented at some conferences (e.g. HRI), but I wasn't aware of the project. The authors could try to reach out to other communities, in particular the robotics community.

Stanford University, Management Science and Engineering, Associate Professor Pamela Hinds

総合評価 **A**, 研究領域の重要性 **A**, アプローチの妥当性 **A**, 国際的注目度 **A**

- The impact of the research area should be excellent. The investigators have selected an important topics are approaching it in a novel way.
- There is every reason to believe that their research will get international attention in the learning science and HRI field as well as more broadly.