

SFC 研究研究所プロジェクト補助（2017 年度）報告書
ソーシャルロボットの構成法と
多対多ヒューマンロボットインタラクション支援

申請代表者：環境情報学部 高汐 一紀

1. 本報告書の概要

研究代表者らは、社会性を備えたロボット、すなわち、ロボット同士、機械、情報サービス、そして人と能動的に繋がるロボットをソーシャルロボットと呼ぶ。本研究課題では、ソーシャルロボットのベースとなるクラウドネットワークロボットにおける3つの論点、異種ロボット間クラウド型協調・連携、ロボット・情報サービス間クラウド型データ連携、協働型ヒューマンロボットインタラクションを整理し、ソーシャルロボットに求められる機能、高精度な知覚・状況認知機能および社会的かつ情動的インタラクション機能の詳細を明らかにする。併せてソーシャルロボットプロトタイプを実装、キャンパス規模の実証実験環境を整備し、各種多対多ヒューマンロボットインタラクション検証実験を通して、その有用性を実証的に検証した。扱うトピックは、「会話の流れを理解するロボット」、「インタラクションの間をはかるロボット」、「情動インタラクションが育てるロボットのパーソナリティ」である。

2. 研究開始当初の背景と研究の目的

“Making robots more acceptable..” ミュンヘン工科大学（TUM）で研究機関 ICS（Institute for Cognitive Systems）を率いる Gordon Cheng 教授の言葉である。我々にとって違和感のない、容易にその存在を日常の一部として受け入れられるロボットとは、いったいどのようなものであろうか。

人であれば「社会性（sociality）」のある振る舞い・行動が重要な意味を持つだろう。特にコミュニケーション力、相手を理解・共感する力であったり、複数の状況を同時に正しく理解する力であったり、対象との間に適度な間合いを作り出せる力であったり、社会性を担保する能力はいろいろである。ロボット、ひいては日常にあふれるモノも同様であろう。高度な対人コミュニケーション能力を持ち、正しい状況判断の下、人とも協調ができ、ロボット同士、モノ同士、多様な情報サービスとも連携できる、そのような存在こそが“acceptable”な情報システムでありロボットなのである。我々は、社会性を備えたロボットを、ソーシャルロボット（Sociable Robot）と呼んでいる。

空間・モノ・サービスをソーシャルにする技術がユビキタスコンピューティングであり、その次の段階として、ネットワーク接続されたロボットを様々なサービスのエッジとして配置するという発想が生まれてきた。従来からのコミュニケーションロボットをさらに発展させた、人の生活空間に溶け込み、当たり前のように共存し、様々な形で人々の生活を支

援するソーシャルなサービスロボット，そしてクラウドネットワークロボティクスという概念である。

クラウド型のデータ連携にもとづく，消費者向けクラウドサービスの端末として機能するロボットは，クラウドネットワークロボット（Cloud Network Robot）と呼ばれる．日本においては，2011年に電子情報通信学会内にクラウドネットワークロボット（CNR）研究会が設置された．主な論点は次の3つである．

CNR-1 異種ロボット間のクラウド型協調・連携技術

CNR-2 ロボット・情報サービス間クラウド型データ連携技術

CNR-3 協働型ヒューマンロボットインタラクション技術

申請者は，2012年度の1年間，同研究所（TUM/ICS）にて，ロボットへの装着を想定したパッド型人工皮膚（Artificial Skin Pad）の研究に従事していた．このTUM/ICSでの経験をもとに，2013年より「ロボットと人とのソーシャルインタラクション」をデザインするソーシャブルロボット研究室（Sociable Robot Research Group）を，慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス内に新たに立ち上げた．本研究課題では，ソーシャブルロボットをクラウドネットワークロボットが備える上記3つの機能に加えて，次の2つの機能をあわせ持つ存在として定義した．

SR-1 高精度な知覚・状況認知機能

SR-2 社会的かつ情動的インタラクション機能

ソーシャルに振る舞うロボットをデザインするということは，ロボットの身体性をデザインすることに他ならない．ロボットは，ロボット自身の状況と周囲の状況を正確に把握し，対話相手の情動と意図，さらには長期的な視点から対話相手そのものを理解した上で自身の行動を決定する．ロボット自身に擬似的な感情や性格を持たせ，それを積極的に表現することで，状況に応じたインタラクションを円滑に進めることも可能になる．すなわち，次世代のロボットには，「機能 SR-1：人間と同等の認知システム」を想定した『一人称視点でのロボットデザイン』が求められているのである．我々は現在も，ミュンヘン工科大学 ICS のチームと共同で，生体神経網をモデルとしたスケーラブルな知覚神経ネットワークおよび認知機能を研究・開発中であり，他のロボットとの情報共有や，視覚による対話相手の情動取得アプローチと併せて，センサクラウドとの連携も可能な，ソーシャブルロボット広域知覚神経網・認知システムとしての完成を目指している．

本研究課題では，「機能 SR-2：社会的かつ情動的インタラクション機能」に注目し，その詳細を明らかにする．研究代表者らはこれまでも，「共感するロボット」，「遠隔アイスブレーキング支援ロボット」等を実装し，いろいろな利用シーンでの多対多ヒューマンロボッ

トインタラクションを例示してきた (図 1).

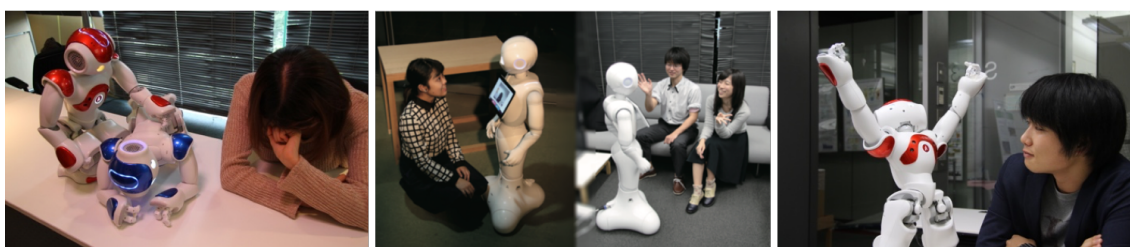


図 1 社会的かつ情動的インタラクション
(共感ロボット/遠隔アイスブレイキング/表情増幅ロボット)

本研究課題で扱うトピックは、「会話の流れを理解するロボット」、「インタラクションの間をはかるロボット」、「情動インタラクションが育てるロボットのパーソナリティ」である。ヒューマノイド型コミュニケーションロボットをベースにソーシャブルロボットプロトタイプを実装，キャンパス規模の実証実験環境を整備し，各種ヒューマンロボットインタラクション検証実験を通して，各詳細機能の有用性を実証的に検証する。

3. 研究の成果 I : 会話の流れを理解するロボット ～複数会話コンテキストの制御～

ソーシャブルロボットの重要要素の 1 つに会話能力がある。石黒らの研究で重要視されているように，近年のロボット開発では，人間が人間と対話しているときに抱く対話感，すなわち対話に参加しているという感覚と同等の感覚を与えられるロボットシステムの構築が求められている¹。Robot to Human (R2H)，Robot to Robot (R2R)，Human to Robot (H2R) のどの組み合わせにおいても，ロボットが会話を整理し話し相手を尊重するような会話制御の仕組みが提供されていなければ，相手の人間に自然な対話感を与えることができない。

会話コンテキスト管理・制御の難しさ

Softbank Robotics 社の NAO や Pepper に代表される従来のコミュニケーションロボットの多くは，1 対 1 の対人インタラクションを想定しており，話題生成等の高度なコミュニケーション能力は持つものの，ロボットクラウドと人，複数人とロボットといった多対多のインタラクションを矛盾なく行う機能は実装されてこなかった。結果，ある会話コンテキストが進行中に他者（他ロボット）から割り込みが入った場合でも，会話コンテキストは未分類のまま会話が進行し，システムデザイナーの望まぬ形で，同時進行的に複数の命令が処理されてしまうという状況が発生していた。その要因として次の 3 つが考えられるが，この状況では自然なコミュニケーションの実現は困難である。

¹ 石黒浩：社会的対話ロボット「CommU（コミュニ）」と「Sota（ソータ）」を開発 ～人とロボットが暮らせる社会の実現に向けて～，2015。 <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20150120-2/index.html>

- 対話相手の識別が限定的である
- 会話途中での割り込み発生箇所を記憶する等のコンテキスト管理が困難である
- 対話相手に対する優先順位の概念がなくスケジューリングが困難である

これらの問題に対処するため、我々は、オペレーティングシステム (OS) のタスク制御 (プロセススケジューリング) におけるコンテキストスイッチングで用いられるデータ構造を参考に、スタック構造を用いた会話コンテキスト管理・制御機構を実装した。中野らの対話ロボットの研究²は、記号レベルでの状況理解と行動選択を司るモジュール (対話行動制御部と呼ぶ) をコンテキストスイッチングの概念で制御している事例の1つであるが、ロボット複数台の割り込みを含めた会話制御に関する研究事例はまだ少ない。

会話コンテキストスケジューリングのフレームワーク

我々は、NAO および Pepper をターゲットとし、両ロボットの共通ミドルウェアである NAOqi が提供する対話フレームワークに、会話コンテキストの概念と管理用データ構造 (オブジェクト) を導入し、スタックによる会話コンテキスト管理を行う会話コンテキストマネージャを実装した。複数対話相手の識別が可能であることを前提としたため、ネットワーク上での識別子交換が可能な複数台ロボットと人1人の対話、すなわち、多対1のR2Hコミュニケーションが可能となっている。図2に会話コンテキストの状態遷移図と、2対1のケースでのR2Hコミュニケーションにおける会話コンテキスト管理の様子を示す。

各ロボットの会話コンテキストマネージャは、OSのスケジューラに相当し、対話相手(人、ロボット)ごとに会話のコンテキストを管理する。また、ロボットは対話相手ごとに優先順位を持っており、プライオリティの高い相手から割り込みが起きた場合、元々進んでいた会話を一時中断させ、優先順位の高い会話にコンテキストを移行する。中断した会話のコンテキストオブジェクトには進行情報 (対話相手 ID, ダイアログ ID (カウンタ) 等) が記録されており、タスク切り替え時にスタックに積まれる (push)。マネージャは、優先順位の高い会話が終了すると元の相手との会話コンテキストをスタックから復帰 (pop) させる。本実装では、どの会話内容にも使える共通の会話復帰ダイアログを工夫しており、論理的破綻のない、自然な流れでの会話復帰を実現した。

² 中野幹生: 実用的な対話ロボットの構築に向けて—物理世界での言語インタラクションのモデルと技術課題—, *Journal of Multimedia Education Research* 2012, Vol.9, No.1, S29-S41.

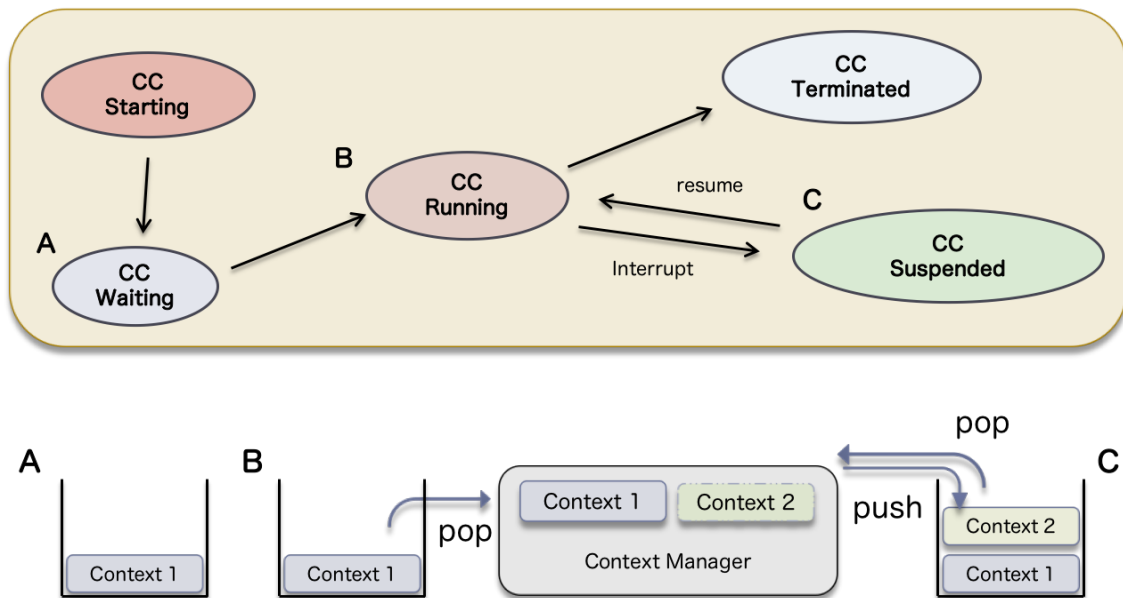


図2 会話コンテキストの状態遷移図とコンテキストマネージャによるスタック管理

対話フローと割り込み状況を考慮した対話スケジューリング CACTS

ロボットは実空間やオンライン空間という動的で不確かな環境に適応する必要がある。公共の場のように不特定多数の人が存在する空間では、現在進行中の会話タスクと無関係な会話タスクの割り込みが生じる状況を考慮しなければならない。例えば、ロボットが店頭商品の紹介をしている際に、客から「トイレはどこですか?」といった緊急度の高い質問がされた場合には、割り込まれた会話を優先して対応するべきであろう。一方で、店員が今日の予定を尋ねる、といったそれほど緊急度の高くない会話タスクが割り込まれた場合、ロボットは会話タスクの適切な切り替えタイミングを判断する必要がある。割り込み発生後直ちに（強制割込）なのか、現在受けている質問にある程度回答してから（ソフトな割込）なのか、あるいは商品説明に関する会話タスクを終了してから（割り込み拒否）なのか、である。実際の会話タスクの割り込み制御には次の4つの段階が存在する。

1. 割り込みの検知
2. 新たに生成された会話タスクの優先度の決定
3. 会話タスク内のアトミシティ (atomicity) 判定
4. 会話タスクのスケジューリング

「会話タスク内のアトミシティ判定」は、ソフトな割り込みを実施する際、実行中の会話タスクへの適切な割り込みタイミングを判断するために必要な処理である。著者らは、同判定手法として、会話分析におけるインタラクションの最小単位である「隣接ペア」³およ

³ 会話において、一方の質問に対しもう一方の話者がすぐに質問に対する応答を返す、という

び「隣接ペアの連鎖」を同判定に用いる方法を導入した⁴。具体的には、会話中の隣接ペアを記述するために用いられる AIML を拡張し、中断可能性を考慮した対話スクリプト記述言語 AIML-ap (ap: adjacency pairs) を新規に定義し、記述された対話スクリプト属性をもとにアトミシティを判定する機構を実装した。図 3 にオリジナルの AIML と AIML-ap の記述例を示す。AIML-ap では、隣接ペアごとに後続する隣接ペアとの関係性（前方拡張，後方拡張，挿入拡張等，隣接ペアの拡張形）を宣言できる <next> タグを用いることで、会話内のアトミシティ属性を効率的に記述することが可能となっている。

<pre> <aiml> <category> <pattern>お話ししよう</pattern> <template>明日は暇ですか？</template> </category> <category> <pattern>何時</pattern> <that>明日は暇ですか？</that> <template>12時以降です</template> </category> <category> <pattern>暇です</pattern> <that>明日は暇ですか？</that> <template>遊びに行きませんか？</template> </category> <category> <pattern>暇です</pattern> <that>12時以降です</that> <template>遊びに行きませんか？</template> </category> </aiml> </pre>	<pre> <aiml> <category name="ask_schedule"> <template>明日は暇ですか？</template> <pattern>暇です</pattern> <next type="PRE">invite_leisure</next> </category> <category name="ask_schedule"> <pattern>何時</pattern> <template>12時以降です</template> <next type="INSERT" /> </category> <category name="invite_leisure"> <pattern>暇です</pattern> <that>12時以降です</that> <template>遊びに行きませんか？</template> </category> </aiml> </pre>
(a) AIMLを用いた場合	(b) AIML-apを用いた場合

図 3 隣接ペアの連鎖を会話シナリオに追加した場合の記述例

事前に実施した予備実験から、「新たな会話タスクの優先度」を決定する因子として以下の指標を用いることとした。

流れは非常に自然である。Schegloff は電話上での会話を書き起こしたものについて分析を行い、先ほど挙げた「質問一応答」のペアや「提案一承認/拒否」，「挨拶一挨拶」のような発話の対が隣り合う形で繰り返し会話中に現れることを発見し，このような発話対のことを会話インタラクションの最小単位として「隣接ペア」と名付けた。(Emanuel A Schegloff and Harvey Sacks, "Opening up closings", *Semiotica*, Vol. 8, No. 4, pp. 289–327, 1973.)

⁴ 堀江 拓実・高汐 一紀, “隣接ペアの連鎖を考慮した対話フローのアトミシティ検出とその効果”, 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会 (CNR), CNR2017-1, pp.23-28, 2017 年 6 月.

- 地位（人間関係）
- 時間（会話の長さ）
- 重要性（目的の有無）
- 表情（怒り）

それぞれの因子の重み付けの大きさは、「重要性 > 時間 > 地位 > 表情」の順であることが同じ事前実験からわかっている. この結果をもとに、会話タスクスケジューリング機構 CACTS (Context-Aware Conversation Task Scheduler) を実装し、Softbank Robotics 社の Pepper に組み込んだ⁵ (図 4).

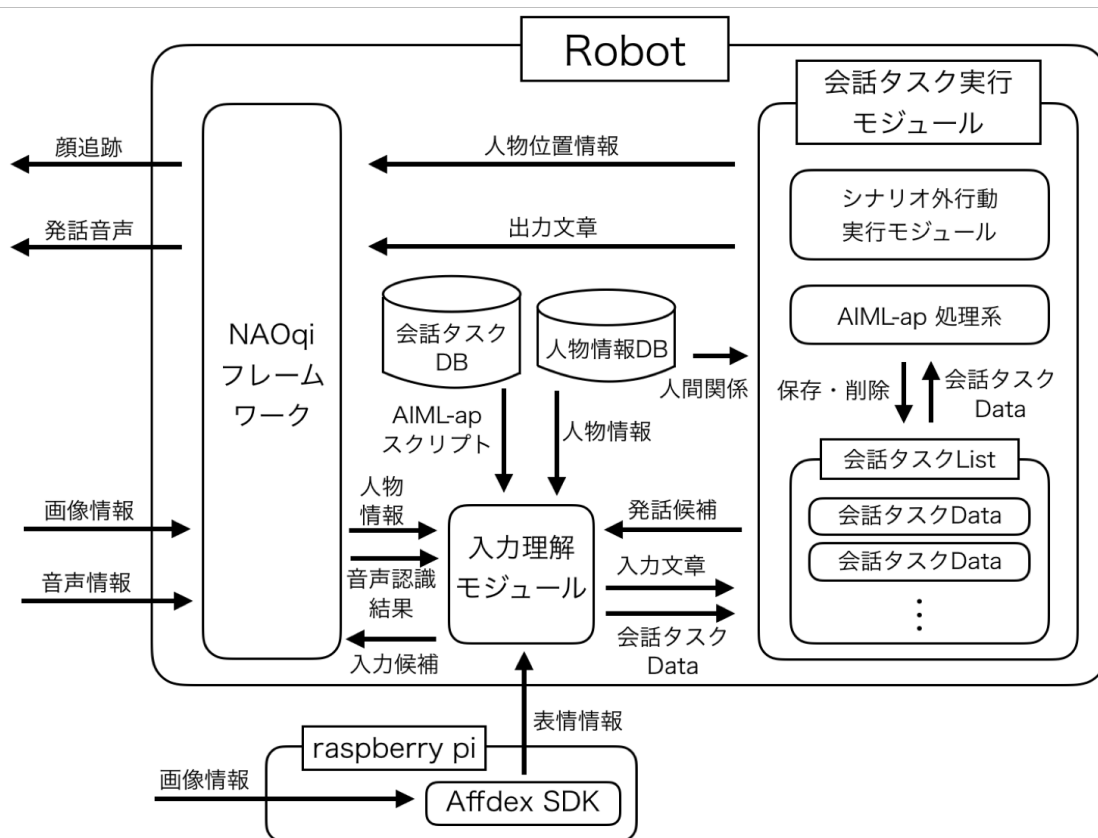


図 4 CACTS システム構成図

応用事例

本研究課題で提案した会話コンテキスト管理フレームワークの動作検証を目的とした実証実験を、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスで実施した. 登場するキャスト、ロボットと、

⁵ 堀江 拓実・高汐 一紀, “会話の文脈と割り込み状況を考慮した会話タスクスケジューリング手法 CACTS の実装と評価”, 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会 (CNR), 2018年2月.

想定した状況，シナリオは次の通りである．

1. 1人暮らしの女性が彼女の日常を支援するパーソナルロボット（R1）と会話（R2H）をしている．内容はかかりつけの病院の予約時間の確認である．
2. 会話中に，病院の受付ロボット（R2，遠隔）から，予約時間のリマインダコールが入る．R1は女性に断りを入れた上でR2Hの会話を中断し，ロボット同士（R2R）の会話に移行する．
3. R2Rの会話が終了すると，R1は女性との会話に復帰し，病院の予約時間が間もなくであることを告げる．R1は，待機していた自動運転車に配車リクエストを送信する．
4. 配車リクエストを受信した自動運転車が発信シーケンスをスタートさせ，女性宅に迎えに向かう．

実験では，R2H，R2Rだけでなく，自動運転車とも連携し，R2Mでのコミュニケーションも実現した．実験当日の様子を図5に示す．本シナリオでは，ロボットと自動運転車はネットワークに接続されたソーシャブルロボットとして機能しており，R2R，R2Mのコミュニケーションには，MQTTベースのPub-Sub型プロトコルを用いている．本実験，デモンストレーションを通して，提案した会話コンテキスト管理・制御フレームワークが有効に機能していることが確認できた．

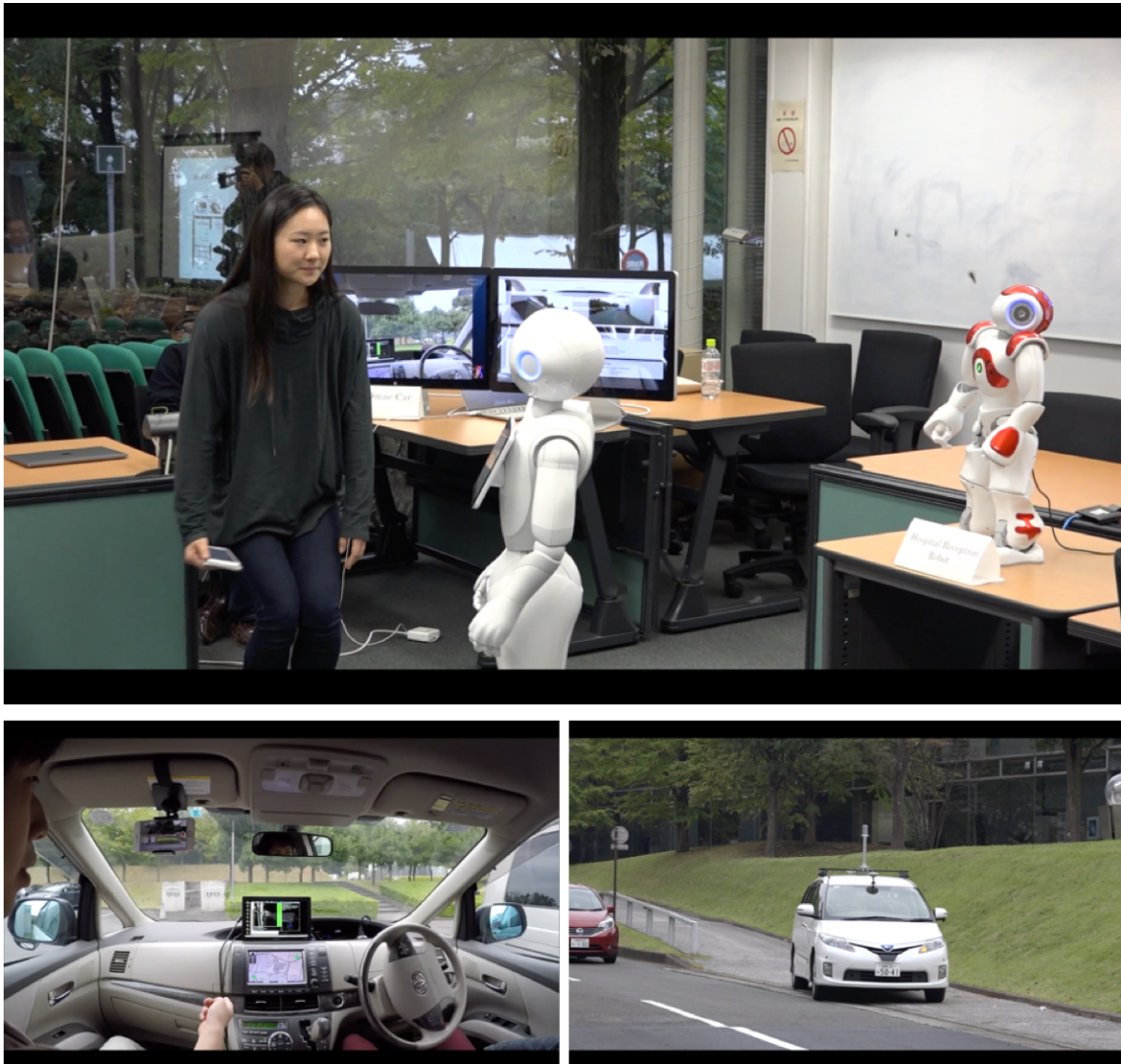


図5 慶應義塾湘南藤沢キャンパスでの実験風景

4. 研究の成果Ⅱ：「間」をはかる力を持ったロボット ～間合いのインタラクション～

サービスロボットが一般的に利用されるようになった今も、自律移動できる機能を備えているにもかかわらず、固定した場所での作業やサービスの提供を余儀なくされているロボットが多い。その要因の1つに、インタラクションの中でロボットが時間的、空間的に適切な間合いを作れていないことがある。ロボットに対する不安を感じる人はまだ多く、安心して協働できるロボットを実現するには、対話相手を脅かさない、対話相手のパーソナルスペースを考慮したインタラクションをデザインする必要があるが出てきた。人間が持つパーソナルスペースは対話の内容や状況によって動的に変化するものであるが、ロボットが人のパーソナルスペースを侵さないことは、対人のコミュニケーションと同様に重要なことだ。いわゆる「間合い」である。

対話相手の反応を考慮した間合い生成機構

「間合い」とは自身と相手との距離や、動作をするのに適当な「ころあい」のことを指し、人間が個々に持つパーソナルスペースと深く結びついている。相手のパーソナルスペースを考慮して動くことで間合いをはかることができ、動作のタイミングを相手に合わせることで、適切な間合いを構築できる。適切な間合いは相手に対する安心感を増加させ、より円滑なコミュニケーションの実現にも繋がる。

我々は、対話相手の反応をリアルタイムに検知し、それに応じてロボットも挙動を制御する「間合い生成機構」を提案している。いわゆる「相手の顔色をうかがう」ロボットである。実際に Softbank Robotics 社の Pepper に組み込み、公共空間に置かれた初対面のロボットを想定した評価実験を行った (図 6)。実験の目的は、ロボットが間合いをはかった場合のユーザのロボットに対する心理的变化を観察することであり、ロボットの間合いのとり方としてどのような方法が効果的なのかを探った。システムの動作概要は次の通りであり、単純なものとした。

1. 対話相手との距離を検出する
2. ユーザの表情を検出し識別する
3. 取得したユーザの表情と位置関係 (距離) からロボットの挙動を決定する
4. 適切なアクションを実行する

距離の検出には Pepper のソナーセンサ、表情検出には Pepper 頭部に設置した Web カメラにより顔画像を取得、RaspberryPi 上で動作する Affectiva 社の表情認識システム AffdexMe⁶でリアルタイム解析している。取得した表情は、正の表情として joy (喜び)、負の表情として disgust (嫌悪), fear (恐れ), sadness (悲しみ), anger (怒り), surprise (驚き) の 5 種である。ロボットは、対話相手の負の表情を取得した場合に距離を取るように、正の表情を取得した場合に間合いを詰める挙動を取るように設定した。実験の様子を図 7 に示す。

⁶ Affectiva 感情認識 AI 「Affdex」 : <https://affectiva.jp/>

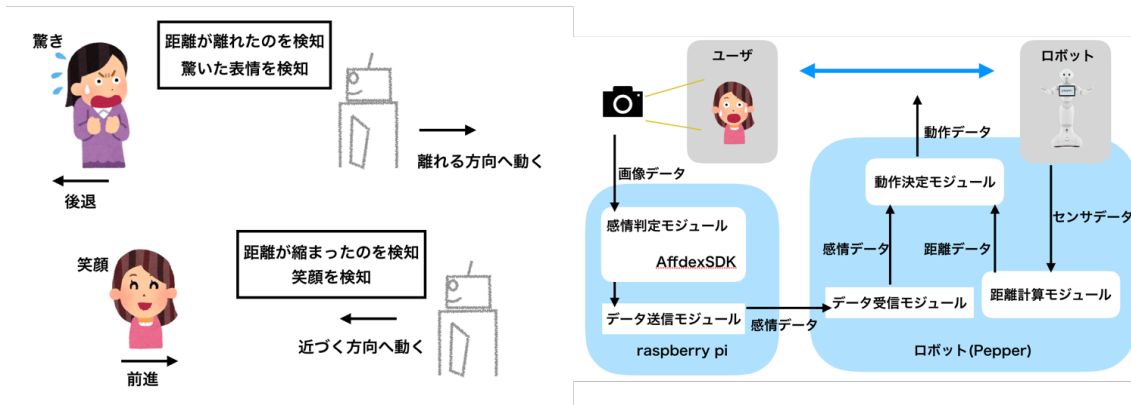


図 6 実装された間合い生成機構（動作概要とシステム構成図）



図 7 実験の様子

間合いを考慮したインタラクション ～実験から得られた知見と展望～

評価実験の結果から、間合いを考慮した対話とすることで、安心感や近づきやすさが増すことが示された。被験者が挙げた安心感の要因として多かったのは、「対話相手である自分のことをきちんと認識してくれていると感じた」「自分のパーソナルスペースを理解してくれていると感じた」というものであった。また、「距離を詰める動作の速度よりもリアクションの挙動を俊敏にする」設定とした場合の評価が高いことがわかった。これは、対話相手の行動に機微に反応してくれることが安心感に繋がることを示していると言える。

一方で、今回のシステムデザインでは、間合いをはかる（とる）行為が対話相手との距離を詰める（被験者のパーソナルスペースを狭める）結果には繋がらなかった。この点に関する被験者からの興味深い指摘に、「ロボットの挙動に『意図』を感じた」というものがあった。「ロボットが距離をとりたそうにしているように見えた」というのである。ロボットが用心深く動いているように見えることで、逆に距離を置かれる方向に印象が傾いたと考えられる。奇しくも人対人のインタラクションで見られる傾向と同じ結果となった。

今後の展望としては、インタラクションの相互性を高めるために、ロボット自身にパー

ソナルスペースの概念を与えることが考えられる。「ロボットが距離を詰めたがらないように見えた」という上述の結果にも関連して、今回の実験の被験者の多くが「ロボットにもパーソナルスペースが必要だ」と回答しており、さらなる実験を通して、ロボット側のパーソナルスペース定義に必要な要件を明らかにしていく必要があると考える。

5. 研究の成果Ⅲ：インタラクションが育てるロボットの個性

サービスロボットの社会進出がめざましい。タイプは様々であるが、その数は年々上昇しており、特に見守り・コミュニケーションロボットの機種数が目立った伸びを見せている。PALRO⁷やパロ⁸のように介護や医療の現場でセラピストのような役割を担うものもあれば、Pepper⁹のように街中の店頭で接客を行う場面もあり、ユースケースもまた様々である。そして、今後爆発的に増えると考えられているのが、家庭内における家族の一員や友人、あるいはペットとしての役割である。OHaNAS¹⁰やAIBO¹¹等はその典型例であり、これらロボットは単なる便利な機械としてではなく、日常のコミュニケーションの相手として設計されている。AIBOに至っては、サポート期間が終了した後もファンからの強い要望によって独自に修理を行う企業が生まれたり、動かなくなったAIBOの葬儀を行ったりするなど、ユーザがロボットに対して強い愛着を抱く事例となったことは、記憶に新しい。人はなぜ、ロボットに愛着を持ち、そしてなぜ飽きてしまうのだろうか。近い将来、ロボットが身に付けるであろう「個性」（パーソナリティ）¹²について議論した。

コミュニケーションロボットにおける個性の欠落

コミュニケーションロボットは自然言語による会話を主に、ボディランゲージ、さらには光や音による表現等を駆使し、ときにはユーザの感情を読み取り、ときにはロボット自身の擬似的な感情を表現することで、ユーザとの円滑なインタラクションを実現する。コミュニケーションロボットが普及し、各家庭に複数台のロボットが存在するようになれば、自身の家族や友人、ペットを他者に紹介したり、連れ立ったりするかのようになり、自身のロボット

⁷ 会話ロボット最先端！ PALRO(パルロ)【公式】 富士ソフト, <https://palro.jp/>

⁸ パロ | ロボット事業 | 法人のお客さま (生活環境ソリューション) | 大和ハウス工業, <http://www.daiwahouse.co.jp/robot/paro/>

⁹ Pepper, the humanoid robot from SoftBank Robotics, a genuine companion | SoftBank Robotics, <https://www.ald.softbankrobotics.com/en/robots/pepper>

¹⁰ OHaNAS (オハナス) | オムニボット | タカラトミー, <http://www.takaratomy.co.jp/products/omniobot/ohanas/>

¹¹ AIBO Official Site, <http://www.sony.jp/products/Consumer/aibo/index2.html>

¹² 人間の成長過程を議論する発達心理学の分野においても「個性」に関する明確な定義はない。ここでは、様々な議論の中で広く用いられている Eysenck による「個性とは、多かれ少なかれ安定した個人の特徴（性格、気質、知性、体質など）の持続的な体制で、個人に独自の環境への適応の仕方を決定するものである」を用いることとしよう。(H.J. Eysenck, “The scientific study of personality”, Routledge and Kegan Pau, 1952.)

を用いて他者とコミュニケーションを行うようになる未来がやってくる。隣人や知人が自分と同じ型のロボットを所持しているような状況も増えるだろう。一方で、それぞれのロボットが同一の個性を持っていることが違和感として表面化してくることも予想される。個性の欠落がロボットへの愛着の低下やコミュニケーションにおける違和感の原因となってしまうのだ。自宅のペットロボットと同じロボットを隣人が持っていたとしよう。それぞれのロボットが全く同じ個性を持っていたとしたら、自分のロボットに愛着を持つことができるだろうか。こうした問題は、コミュニケーションそのものを大きな目的とするコミュニケーションロボットにおいて深刻であり、セラピーや接客、エンターテインメントなどコミュニケーションによって達成すべきタスクの実行にも影響が出るであろう。

そこで我々は、ロボットに性格を付与することで個性を実現し、ロボットとのコミュニケーションがより自然に感じられるようにするとともに、ロボットに対する愛着を増加させることを目的とし、長期的なインタラクションの中でロボットの性格を形成する手法 C²AT² HUB を提案した。本手法では、ロボットの情動を「対人情動」と「情動」の2種類によって定義し、それぞれの「情動の遷移傾向（情動傾向）」をロボットに対するユーザ行動の履歴によって調整することで、緩やかな性格形成を行う。

ロボットの情動傾向と対人情動、変化する個性

我々が他者の個性を考えると、個性の5因子モデル¹³で議論されるような外向性や協調性などだけではなく、「怒りっぽい」であるとか「落ち込みやすい」といった情動傾向について思い浮かべることはごく自然にある。しかし情動を内部に持たないコミュニケーションロボットの場合、情動に基づいて行動を起こすことができないため、ユーザの側としてもロボットに情動傾向を想定しにくく、不自然さを覚えてしまう。

人は、好意を抱いている人から食事に誘われたら喜ぶが、嫌悪感を抱く人から誘われたら同じようには喜ばないのが普通である。このように、相手に抱いている対人情動はその人との対人関係や、その対人関係において生じる情動に大きな影響を与える¹⁴。もし対人情動の概念が無ければ、ロボットは誰に対しても似たような反応をしてしまうだろう。また、人間の場合、個性は同じものであり続けるわけではなく、生涯に渡り発達を行い¹⁵、身体的、運動的、情緒・欲求的、認知的、社会的に変化していくものである¹⁶。対人コミュニケーションによっても人は相互作用し合い、影響を与え合う。ロボットとのインタラクションも同様であろう。こうした変化の欠落がロボットに対する違和感や飽きの要因となり得るのだ。

¹³ O. John, "The 'Big Five' factor taxonomy: Dimensions of personality in the natural language and in questionnaires", Handbook of Personality: Theory and Research, Guilford Press, 1990.

¹⁴ 星野 命, "対人関係の心理学", 日本評論社, 1998.

¹⁵ Paul B. Baltes and K Warner Schaie, "Life-Span Developmental Psychology", Academic Press, 1973.

¹⁶ 八木 冕, "心理学", 培風館, 1967.

本研究課題で我々が提案した性格形成手法は、小笠原らによる、ユーザのロボットに対する行動態度の履歴からロボットの性格を形成するモデル¹⁷をベースとしている。コミュニケーションロボットへの実装を想定した対人インタラクションモデルであり、教育心理学の理論である Symonds の養育態度尺度¹⁸に基づき、ロボットの長期的な性格形成を行なっていることが特徴である。性格形成手法としてはロボット内部における情動の遷移傾向を変化させることで、ユーザの行動に対する反応を変化させる手法と言える。

Symonds の養育態度尺度は、親の子に対する養育態度によって子のパーソナリティ形成に影響があり、ある程度の性格傾向が表れるとする理論である¹⁹ (図 8)。図が示す通り、Symonds は親の養育態度を「支配-服従」の軸と「保護-拒否」の軸によって表現される平面に位置付けた。支配-服従の軸は子の態度や振る舞いに対しての干渉度合いを表し、保護-拒否の軸は子に対する優しさや好意度合いを表す。

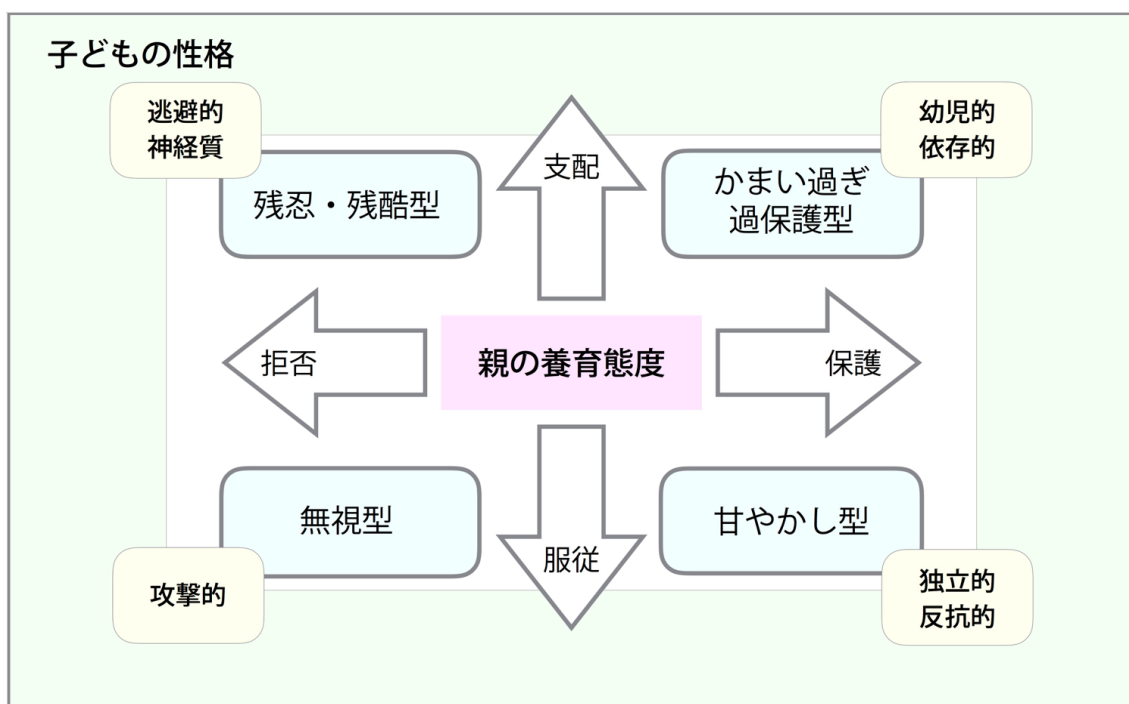


図 8 Symonds の養育態度尺度

小笠原らは Symonds の養育態度として示される支配・服従・保護・拒否の 4 態度が、対人心理学上の対人行動と一致すると考えた。対人心理学上では、対人行動によって引き起こ

¹⁷ 小笠原 宏樹・加藤 昇平, “ユーザの行動選択傾向に応じた感性ロボットの性格付与”, 日本感性工学会論文誌, 2015.

¹⁸ Symonds, Percival Mallon, “The psychology of parent-child relationships”, Appleton-Century Co., 1939.

¹⁹ 堀 洋道・山本 真理子・松井 豊, “心理尺度ファイル：人間と社会を測る”, 垣内出版, 1994.

される対人情動が存在し、「支配／劣位」「服従／優位」「保護／好意」「拒否／嫌悪」といった対応がある。対話相手の行動に対し対応する対人情動をロボットは持つが、性格によって異なる対人情動を持つようにすることで性格の違いを出していた。

新しい対人インタラクションモデル C²AT² HUB

小笠原らの手法は緩やかな性格形成を実現する一方で、情動の考慮の欠如や柔軟性の欠如、さらには確率的な対人情動遷移といった問題が存在する。人間における広い意味での情動とは、対人情動の他にも悲しみや喜びなど様々な情動が含まれる。情動が欠如していることは、ロボットが持ち得る情動の幅が狭まることになり、自然なコミュニケーションを阻害する。そもそも対人情動は悲しみや喜びなどの情動が、コミュニケーションの相手ごとに変化するという考えのもとで構築されている。すなわち、対人情動と情動は同時にモデル化されている必要があるのだ。

提案するコミュニケーションモデルを図9に示す。まず、定義されているロボットの行動や挙動が行動データベースから呼び出され、ユーザに提示される(1)。次に、ユーザはロボットの行動に対して応答を示し(2)、選択された行動はユーザ行動としてユーザ行動履歴に保存される(3)。ユーザ行動履歴をもとに情動傾向が更新され(4)、新しい情動傾向を基にしてユーザ行動から対人情動の計算がなされる(5)。そして、情動傾向と対人情動、ユーザ行動の3要素からロボットの情動が決定され(6)、情動は情動表出機構によってロボットの情動表現が行われ(7・8)、ユーザはロボットに対して行った行動の反応を見ることになる。以上の流れを繰り返すことで、ロボットとユーザとのインタラクションが進行する。

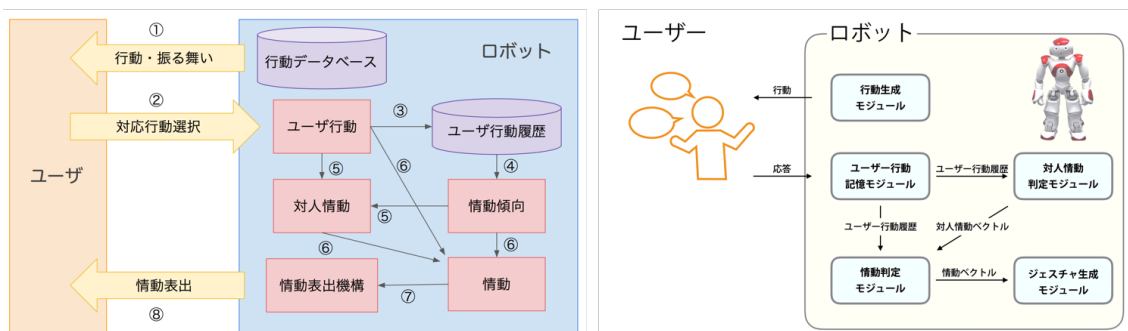


図9 C²AT² HUB コミュニケーションモデル (左) とシステム構成図 (右)

本モデルでは小笠原らのモデルを踏襲し、ユーザ行動を記憶する機構を組み込み情動傾向を変化させることで、性格形成を行う。既存モデルと異なる点は、対人情動と情動の概念を取り入れ、情動の判定を対人情動とユーザ行動履歴から行うことである。モデル中、対人情動は斎藤らによる円環図式²⁰に基づく2次元ベクトルとして、また、情動はRussellの円

²⁰ 斎藤 勇, “対人感情の心理学”, 誠信書房, 1990.

環モデル²¹に基づく同じく 2次元ベクトルとして表現される (図 10)。対人情動そのものもユーザ行動履歴から影響を受け、情動傾向を持つことになる。従って、人を好きになりやすいロボットや自分が優位だと思しやすいロボットなどを表現可能となる。

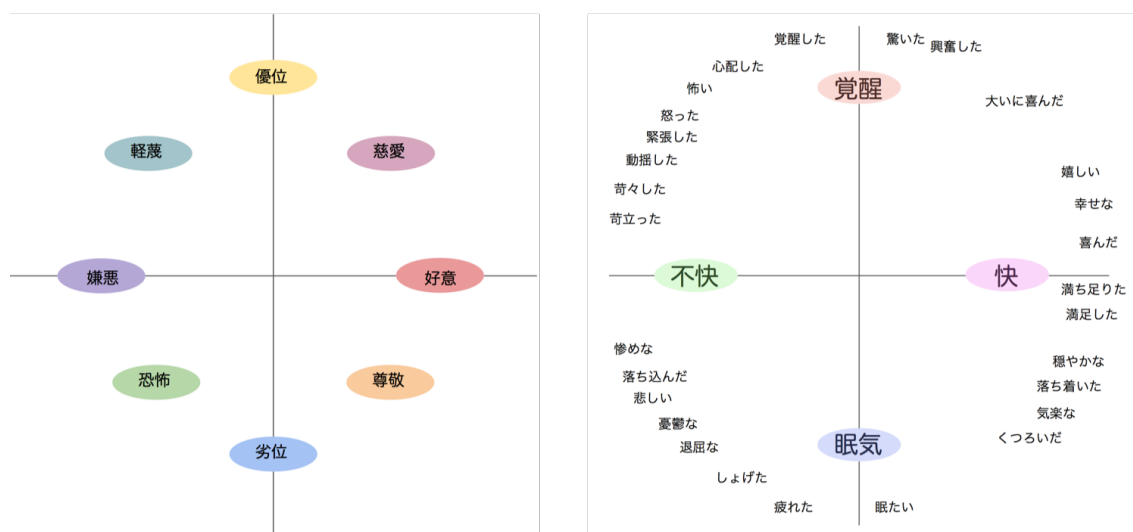


図 10 対人情動の円環図式と Russell の情動円環モデル

対人情動計算モジュールでは、ユーザの行動履歴を加味し、最新のユーザ行動から対人情動ベクトルを算出する。対人情動ベクトルの評価関数 (算出式) の詳細は割愛するが、基本的な方針は、小笠原らによって示された対応関係 (「行動：支配的→対人情動：劣位」等) と同じであり、支配-服従の行動は対人情動ベクトルの縦軸成分に影響し、保護-拒否の行動は横軸成分に影響を与える。ユーザ行動履歴による対人情動遷移傾向を持たせるため、支配を多く受けたロボットは支配以外の行動を受けてもベクトルが負の方向に傾きやすくなるといった処理を施す²²。この評価式の挙動そのものが対人情動傾向であり、性格の表現となっている。

情動ベクトルの計算は、斎藤らが実施した、特定の対人情動下で任意の対人行動を受けた場合に抱く情動についての調査結果データをベースに、ヒューリスティックな手法で評価関数を求めた。

²¹ Jonathan Posner, James A. Russell and Bradley S. Peterson, "The Circumplex Model of Affect: An Integrative Approach to Affective Neuroscience, Cognitive Development, and Psychopathology", *Development and psychopathology*, pp.715-734, 2005.

²² 算出式 (評価式) の詳細は以下を参照。

川那子 進太郎・高汐 一紀, "C²AT² HUB: 人の心理モデルに基づいたロボットの長期的な性格形成手法", 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会 (CNR), 2018年2月。

実ロボットへの組み込みと得られた知見

提案した C²AT² HUB コミュニケーションモデルを Softbank Robotics 社の NAO 上に実装し、継続的なインタラクションにより緩やかに変化するロボットの性格・個性に対する印象調査を行った。ロボットからの情動表出は 5 歳前後のこどもの行動を想定し、発話ではなく細かなジェスチャの変化として情動を表現する手法を取った。人間で言えば、目をキラキラさせる、拗ねる、ふくれっ面になる等の表現である。実験の様子を図 11 に、ロボットがとる反応（表情）を図 12 に示す。



図 11 実験の様子とインタラクション GUI (タブレット)

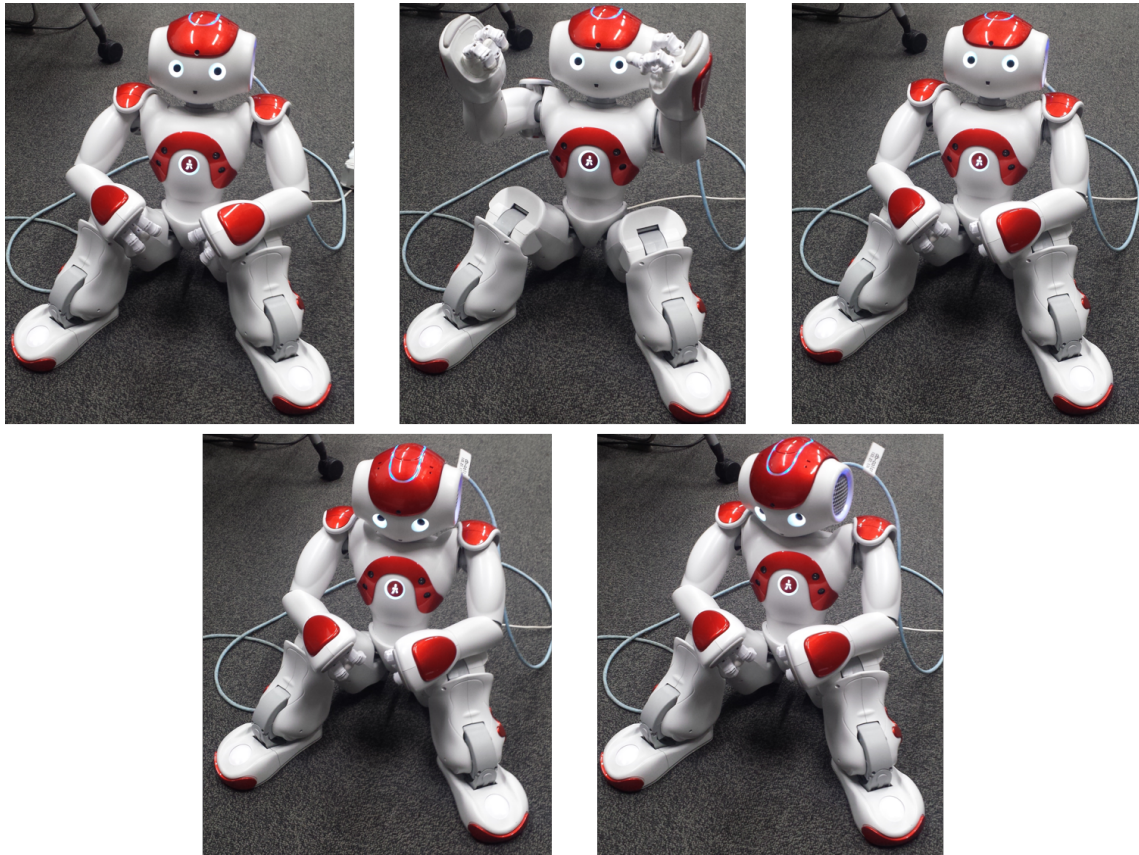


図 12 ロボットのリアクション（左上から順に、待機時、喜び、満足、悲しみ、怒り）

比較対象は小笠原らの手法とし、印象評価の指標としてはパーソナリティの 5 因子モデルの指標（外向性、知性、情緒安定性、協調性、勤勉性）に加え、自然さや愛着に関する 11 項目（親しみやすさ、優位性、自然さ、複雑さ、面白さ、知性の有無、人間らしさ、善し悪し、好感度、飽きにくさ、愛着）を用いた。アンケートの結果から、性格変化後のアンケートでは多くの項目で提案手法の優位性が確認できた。

コメントの中には「ロボットの反応がわかりやすく、かつバリエーションが豊富でよかった」とあり、提案システムにおける微妙なジェスチャの違いが「有意性」や「人間らしさ」、「自然さ」、「面白さ」などの印象向上に繋がったと考えられる。微妙なジェスチャの違いを生み出しているのは連続的な情動定義であり、また「有意性」も向上していることから、提案手法において対人情動と情動を用いた情動遷移とジェスチャの結びつきが自然に成されていたと推察される。従って、提案手法における対人情動と情動のベクトルによる定義の有用性が示されたと言っていいだろう。ただし、「反応がわかりやす」いことは「複雑さ」を減少させたとも考えられる。必ずしも複雑であることが意外性に繋がるわけではないが、意外性の低さは飽きやすさの原因ともなり得る。本実験では「飽きにくさ」が向上しているものの、より長期的なコミュニケーションを実践した場合、「複雑さ」の低さが飽きに繋がる懸念が残った。

本プロジェクトの主題である「愛着」の増加は確認できた。「愛着」は「外向性」や「協調性」、「親しみやすさ」と強い相関が見られ、これらの項目の向上によって愛着がもたらされた可能性がある。提案システムの性格変化後の性格調査では「情緒安定性」や「勤勉性」が低い、これらも「愛着」との間に相関が見られたことから、「情緒安定性」と「勤勉性」の低さが「愛着」の増加を阻害した面もあるであろう。

性格変化については、提案手法の方が性格の変化がわかりやすく、また変化の度合いも自然だったとの調査結果を得た。性格変化前と後で性格や印象が変わっているのは明らかであり、提案手法によって「緩やかに変化する個性」が実現されていることは性格と印象の面から伺える。

6. 本研究課題の意義

ユビキタスな情報サービスを提供するコンピュータシステム、人と駆け引きするモノやロボットは、工学系と社会人文学系が交錯する領域である。そこには、両者の視点から人間そのものを深く洞察する人材が不可欠であり、議論を成立させるための「土俵」と「言語」が必要である。

本報告書が想定する読者は、共進化型サイバーフィジカル社会の構築を担うシステムアーキテクトたちであり、エンジニアたちである。多くの読者にとっての本稿の意義は、ユビキタス情報空間とロボットとの密な連携による、高度なヒューマンロボットインタラクション支援、ヒューマンサービスインタラクション支援、さらには人同士のコミュニケーション能力の強化に関する基礎的技術と実装を、各論において数多く例示することにある。本稿の内容は、クラウドネットワークロボティクス (Cloud Network Robotics), コグニティブロボティクス (Cognitive Robotics), 情動的ロボティクス (Affective Robotics) の各分野を横断するものであり、RO-MAN (RObot and huMAN Interactive Communication) 等、従来の特定の領域に限定されることなく、多種多様なドメインへの応用が期待できる。新世代のロボットシステム, IoT システムをデザインする際のブレークスルーになれば幸いである。

7. 主な発表論文等

[国際学会発表 (査読あり)]

1. Ai Kashii, Kazunori Takashio and Hideyuki Tokuda, “Ex-Amp Robot: Expressive Robotic Avatar with Multimodal Emotion Detection to Enhance Communication of Users with Motor Disabilities”, IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2017), Lisbon, Portugal, Aug. 2017.

[口頭発表 (国内学会)]

2. 堀江 拓実・高汐 一紀, “CACTS: 会話の文脈と割り込み状況を考慮した会話タスクスケジューリング”, 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会 (CNR),

信学技報 vol.117 no.443, CNR2017-30, pp.45-50, 2018年2月.

3. 川那子 進太郎・高汐 一紀, “C2AT2 HUB: 人の心理モデルに基づいたロボットの長期的な性格形成手法”, 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会 (CNR), 信学技報 vol.117 no.443, CNR2017-45, pp.127-132, 2018年2月.
4. 堀江 拓実・高汐 一紀, “隣接ペアの連鎖を考慮した対話フローのアトミシティ検出とその効果”, 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会 (CNR), 信学技報 vol.117 no.95, CNR2017-5, pp.23-28, 2017年6月.
5. 林 亮太・堀江 拓実・真島 大樹・川那子 進太郎・宮本 凜太郎・高汐 一紀, “MoDe: ヒューマノイド型ロボットのためのモーショндеフォルメツール”, 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会 (CNR), 信学技報 vol.117 no.95, CNR2017-8, pp.41-44, 2017年6月.

8. 研究組織

[研究代表者]

高汐 一紀 (環境情報学部・准教授) 研究の総括・実施

[研究協力者]

佐々木 嘉子 (環境情報学部・4年)	間合いのインタラクション
川那子 進太郎 (総合政策学部・4年)	ロボットの長期的な性格形成手法
松井 佑有 (環境情報学部・4年)	ソーシャブルロボットの实環境応用
堀江 拓実 (環境情報学部・3年)	多対多 HR インタラクション