解 説

意図欲求を持つ自律対話アンドロイドの研究開発

Development of an Autonomous Android with Conversational Capability based on Intention and Desire

石 黒 浩^{*1*2} 港 隆 史^{*2} 小 山 虎^{*1*3}

^{*1}大阪大学大学院基礎工学研究科 ^{*2}国際電気通信基礎技術研究所 ^{*3}山口大学時間学研究所

Hiroshi Ishiguro^{*1*2}, Takashi Minato^{*2} and Tora Koyama^{*1*3}

^{*1}Graduate School of Engineering Science, Osaka University ^{*2}Advanced Telecommunications Research Institute International

^{*3}The Research Institute for Time Studies, Yamaguchi University

1. は じ め に

自律的に対話するロボットの研究開発は、近年ますます重要になってきている。しかしながら、多くの研究は音声認識やインタフェース等の研究にとどまり、意図や欲求を持ちながら、多様なモダリティで対話するロボットの開発に至っていない。これに対して、筆者等は JST ERATO 石黒共生ヒューマンロボットインタラクションプロジェクト[1]において、意図や欲求を持ちながら多様なモダリティを通して、人間と人間らしく対話できるロボットの研究開発に取り組んできた。本稿では、ロボットのアーキテクチャの歴史を振り返りながら、ロボットがより人間らしく人間と対話するためのアーキテクチャを考察するとともに、実際に実装したアーキテクチャについて紹介する。

人と対話するロボットの研究開発は、今後さらに重要になると期待される。日常生活において人間の活動を様々な支援する家電製品などは、さらにその機能を高めていく。例えば、電子レンジやエアコンは、単に食品を温めたり、部屋を冷やしたりするものではなく、人間の健康を管理することを目的に、温度や湿度等の多様な要素をきめ細かく制御するようになる。そうすると、利用者は複雑過ぎて、もはや自分ですべてのパラメータを設定することはできなくなる。そこでは、人間の健康を管理するという家電製品の意図や欲求が必要になり、家電製品はその意図や欲求に従いながらサービスを提供するようになる。

一方、音声認識そのものは近年非常に進歩し、1 人の人間が明瞭に発話するなら、人間並の音声認識性能を持つようになってきた。その機能を利用して、Amazon Echo や Google Home 等のスマートスピーカーが急速に普及してきている。しかしながら、その利用は、単純な命令の伝達にとどまり、人間らしい対話は実現できていない。その理由として、人間並の音声認識性能であっても聞き間違えることがあり、また話言葉の曖昧さからも、正確に命令を伝えることが難しいことが考えられる。人間にとって、言語

は最も使いやすい情報伝達手段であり、近い将来において、人間が人間に話すように、人間が家電製品と対話できることが期待される。これを実現するには、家電製品は、人間からの命令が曖昧であっても、人間に適切なサービスを提供する自律機能を持つ必要がある。さらには、音声だけでなく、表情や身振り手振りなど多様なモダリティを介して、人間と意思疎通する機能が必要である。すなわち、ヒューマンロボットインタラクションの分野で研究開発されているような、対話型ロボットの実現が期待される。

我々が ERATO で開発を目指してきたのは、こうした人間にサービスを提供するという意図や欲求を持つ自律対話ロボットである。これにより、単に人間からロボットに一方的に命令を伝えるという人間とロボット関係から、互いに意図や欲求を持ち、互いの意図や欲求を、対話を通して推定し合うという、人間とロボットの共生を実現できると考えている。

2. 自律行動するロボットの従来研究

自律ロボットの研究開発は、1966~1972 年にかけて SRI International の AI センターで開発された自律移動ロボット Shakey に始まる [2]。Shakey は汎用の人工知能の実現を目指して開発され、搭載されているカメラによって、部屋や物体を認識し、与えられた命令を遂行できた。しかし、その動作は非常に遅く、今のロボットとはほど遠いものであった。

この Shakey の開発をきっかけに解くべき問題が明らかになり、コンピュータビジョンやプランニングや運動制御等の様々なロボットや人工知能に関する研究分野が創成されていった。Shakey の中核機能は STRIPS とよばれる計画立案機能であった。これは与えられた命令を遂行するために、観察と行動の連鎖を生成した。いわば移動に関する原始的な認知モデルである。その認知モデルの研究は、SOAR [3] や ACT-R [4] 等の研究によって発展していく。

SOAR は、Newell の認知の統一理論 [5] に基づいて、Laird, Newell, Rosenbloom が開発した認知アーキテクチャである。多様な問題を扱えるようにするために、SOAR では、手続的知識、宣言的知識、エピソード的知識、象徴的知識が利用される。またその動作は、プロダクションシステムに基づいている。ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational) は 1993 年に Anderson によって提案された、認知神経科学の知見に基づく認知アーキテクチャである。その

原稿受付 2019 年 1 月 18 日

キーワード: Intention, Desire, Spoken Dialogue System, Conversation, Conversational Robot

^{*1}〒560-8531 豊中市待兼山町 1-3

^{*2}〒619-0288 相楽郡精華町光台 2-2-2

^{*3}〒753-8511 山口市吉田 1677-1

^{*1}Toyonaka-shi, Osaka

^{*2}Soraku-gun, Kyoto

^{*3}Yamaguchi-shi, Yamaguchi

起源は1973年にAndersonとBowerによって提案された人間の記憶に関するモデル[6]にさかのぼる。ACT-Rにおける最も重要な前提は、人間の知識は宣言的記憶と手続的記憶から構成されるというものである。この前提を基に、認知神経科学の知見を取り入れながら、様々なモジュールが組み込まれている。現在でもその研究開発が続いている[7]。

これらの研究は、認知科学や認知神経科学の知見に基づき、人間の脳の機能を再現することを目的とした研究である。SOARやACT-Rと同様に人工知能研究で利用されるモデルにBDIモデルがある。BDIモデルは、1987年に哲学者のBratman[8]が提唱した意図の理論に基づいて、合理的に行動するエージェントを実現するために作られたモデルである。BDIモデルは、信念(B)、願望(D)、意図(I)からなり、信念と願望から達成すべき目標とその手段(計画)を選定し、手段として選定したプランを実行するという意図を形成・保持し、その意図に従って行動するというモデルである。ロボットの分野でも研究されている[9]。

BDIモデルはあくまで人間の合理的思考をモデル化しようとしたものであり、信念や意図を利用しない反射行動レベルの行動は実装が難しい。その反射行動レベルの実装によって、生物らしいロボットの実現を目指したのが、Brooksのサブサンプションアーキテクチャ[10]である。サブサンプションアーキテクチャは、異なる目的のために設計された複数の階層からなり、上位層はより抽象的な目的を持つ。例えば、最下位には物体を避けるという目的があり、その上には徘徊するという目的がある。サブサンプションアーキテクチャの問題は、実現できる行動が主に反射行動の連鎖によるものであることである。合理的な行動を実現するには、BDIモデル等と統合する方法が必要になる。

3. 意図欲求アーキテクチャ

BDIモデルやサブサンプションアーキテクチャを組み合わせた、人間の自律行動を再現する、最も一般的なアーキテクチャの構造は、図1に示すものであると考える。このアーキテクチャでは、サブサンプションアーキテクチャが主に扱う、反射行動のネットワークを最下層に持ち、その上に、動作・発話、意図、欲求・概念の階層を持つ。また、それぞれの階層において、モジュール間の関係はグラフ表現で記述している。無論、ほかのシステムのようにルールによって、関係を記述することもできるが、最も汎用的な表現として、グラフ表現を用いている。

各階層の内部表現は、それぞれ、物理世界、意図、欲求・概念を記憶する。最下層の動作・発話レベルでは、その動作や発話を通して、感覚行動の記憶を蓄え、それを基に、物理世界のモデリングを行う。意図レベルでは、いわゆる手続的記憶として自己や他者の意図の記憶を行う。そして、欲求・概念レベルでは、宣言的記憶として、自己や他者の概念を記憶する。

このアーキテクチャが従来のアーキテクチャと最も異なるのは、概念レベルにも反射行動レベルにも欲求が表現されていることである。人間の幼児も動物も、欲求を明示的

図1 意図欲求アーキテクチャ

に理解していない。欲求は本能として反射行動に埋め込まれている。例えば、おなかが減ったらご飯を食べるとか、母親がいなくなったら泣くなど、これらの行動は、なぜそのような行動を取るかを理解することなく発現する。しかし、人間の場合はある程度成長すると、食欲とは何かや、母親が恋しいという欲求に、概念レベルで気づくようになり、自分の欲求を満たすための行動を合理的に選択できるようになる。無論、自分の欲求だけでなく、他人の欲求も概念レベルで理解できるようになる。このような、反射行動に埋め込まれた本能としての欲求と合理的な行動選択に貢献する概念レベルの欲求という欲求の二重構造が人間を特徴づけていると考える[11]。そして、複雑な機能を持つロボットを実現しようとするれば、この欲求の二重構造さえも再現する必要がでてくると考える。ただ、この機能の実現は非常に困難であり、一方で、複雑な機能を持つロボットが成人ロボットであれば、ロボットが反射行動に埋め込まれた自らの本能に気が付き、それを概念レベルで自らがモデル化するという必要は必ずしもない。最初から成人レベルのロボットであれば、概念レベルの欲求を設計者が与えることから研究を始めることは、許されると考える。

我々のプロジェクトでは、このような意図欲求のアーキテクチャに従って、初対面の人と10分から20分対話できる自律対話アンドロイドERICA[12]を開発した。具体的には、研究所の待合室にアンドロイドは座っており、実験に参加するために訪問してきた初対面の被験者と話すという日常対話の状況である。以下では開発した対話アンドロイドのシステムを説明する。

4. アンドロイドERICAの意図と欲求

雑談のような日常対話は、音声案内などのタスク指向的な対話や議論などと異なる非タスク指向的な対話であり、対話の内容に明確な目的があるわけではない。日常対話は情報伝達の側面が主眼ではなく、むしろ共感し合う行為であり、他者理解や共感を得るための一つのコミュニケーション手段となっていると考えられる[13]。したがって、ロボットが人間の要求に応えるように話すのではなく、ロボットにも人間が日常対話を行うときに持っている欲求と同様の

欲求を持たせることで、人間との自然な対話が可能になると考えられる。

人間の日常対話において現れる欲求を調べた研究として、家庭内の日常会話における欲求を調べた研究がある[14]。この研究では、知識欲求、共感欲求、快指向・不快回避欲求、承認欲求、コミュニケーション開始・維持欲求が会話を構成していると考察している。これらのうちロボットが承認欲求を持つことは自然に受け入れられると考えられる。すなわち、ロボットが自らの存在意義を得ようとする欲求である。人間との対話においてこの欲求を満たすためには、対話している相手に気に入られる、すなわち良い関係を構築するように振る舞うと同時に、第三者から見ても受け入れられる、すなわち社会的な規範に従うように振る舞うという手段をとることが考えられる。また、このときには選好も大きく影響する。人間は個人的な特性として選好を持っているため、自身が気に入らなかった相手には、気に入られようとはしないであろう。より具体的に、初対面においてこの欲求を満たすためにどのような意図が働くのであろうか。文献[15]には様々な初対面場面の研究が概説されている。初対面場面では、見知らぬ他人と何らかのきっかけで会話が始まり、それを通してお互いがどんな人物かを知り、そしてその人と一定の人間関係を構築すると考えられる。互いの情報交換として自己開示の連鎖が生じ、開示度合いは互いの親疎の度合いによって変わってゆく。また、初対面場面では、2者間の開示量の釣り合いがとれている場合に、その会話に対して快印象を抱くことが示されており、返報的な行動が重要な役割を果たしているといわれている[16]。返報的な行動は、社会的な規範に沿おうとするものと考えられる。

日常対話における発話内容に関しては、雑談に見られる対話のパターンを調べた研究[17]がある。そこでは、2者間の雑談対話には、30種の発話の連鎖パターンがあることを示している(下記はその一例で、話者Aと話者Bの発話の流れを示している)。

- A:「情報要求」→ B:「情報提供」→ A:「理解」
- A:「語り要求」→ B:「語り」→ A:「評価」→ B:「語り(詳細)」→ A:「理解・評価」
- A:「意見提示」→ B:「同意」→ A/B:「根拠説明」→ B/A:「承認」

このようなパターン化された発話連鎖は、図1で示す動作・発話に相当し、一旦発話連鎖が始まれば、連鎖中の発話は熟考なしに生成されるようなものであると考えられる。反射行動は個々の発話やさらにその構成要素として理解できる。

以上を総合して、ここでは初対面対話における意図欲求の構造として、図2のような構造を設計した。図中の矢印は、個々の欲求や意図がどの意図や行動に影響しているかを示しているものであり、動作・発話の決定には複数の欲求・意図が同時に影響している。欲求・意図は、話題(例えば休日に何をしたか、好きな野球チームは何かなど)の選択に影響し、話題中の発話連鎖はパターン化されたスクリプトに沿って生じる。ここで、図中の欲求・意図は、個人

図2 初対面対話におけるアンドロイドの欲求・意図・行動モデル

図3 個人的・社会的欲求・意図に基づく行動生成モデル

的なものと社会的なものに分類できる。そのように分類して、構造を整理したものが図3である。日常対話のような人間からの明確な要求がないような状況では、人間と同様に個人的な欲求と社会的な欲求を持たせることで、人間と自然にインタラクションできるようになると考えられる。

5. 意図欲求に基づく自律対話機能の設計

ERATOの研究プラットフォームとして開発したアンドロイドERICA[12](図4)は、人間に酷似した見かけを持ち、また上半身に44自由度を備えており、対話中の人間らしい視線、口唇動作、頭部動作、表情、ジェスチャなどを表出することができる。さらに、HOYA株式会社の音声合成ソフトウェアVOICE TEXT ERICA[18]によって人間らしい音声を生成できる。認識システムとして、周囲に配置された複数の深度センサ、マイクロフォンアレイ、カメラからなるセンサネットワークと統合することで、人物検出、追跡、話者認識、話者ごとの音声分離・音声認識、表情認識などが可能である(図4)。

5.1 自律対話に必要な機能

自律的に日常対話が可能なアンドロイドを実現するうえでの基本的な機能について、その必要性和実装方法について簡単に説明する。

スクリプトに基づく対話制御

日常対話は、上述したように共感や互いの経験の共有、

図4 開発したアンドロイド ERICA と認識システム

好みの理解などのためのコミュニケーションであり、初対面場面ではそれらを通して関係性を構築してゆく。これを実現するためには、ロボットに抽象化・一般化された記憶（意味的記憶）だけでなく、主観的な記憶（エピソード記憶）を持たせて、エピソードレベルでの情報共有を実現しやすい記憶システムを持たせる必要がある。開発したシステムでは、設計者があらかじめ数ターンから十数ターン程度の発話のやりとりからなるスクリプトを準備し（Schank の Script [19] に相当）、アンドロイドは自身の欲求や感情などの内部状態および対話相手の状態に応じて話題を選択する。スクリプト内では、キーワードマッチングレベルでの認識で発話を制御する。例えば、「出身地に関するスクリプト」を選択した場合、相手がどこから来たかを聞き、そこが知っている場所なら感想を述べ、知らない場所ならどの辺りかをさらに聞く、... というような流れに沿った対話を行う。スクリプトはあらかじめ準備されているが、相手の発言によって得られる情報やアンドロイドの経験は変化する。選択した話題の経験がエピソード記憶となる。

対話破綻検出と破綻状態からの回復（エラーリカバリ）

ロボットの音声の誤認識や言語処理の限界に起因する不適切な応答、両者の発話のオーバーラップ（衝突）のような対話破綻は、人間の対話意欲を減退させるものである。しかし、対話破綻は人間同士の対話でも生じる現象であり、完全に破綻を取り除くことは困難である [20]。逆に、アンドロイドが破綻状態を認識し、破綻の責任を認め、そこから元の対話コンテキストに戻そうとする振る舞いに、人間は様々な心的状態を帰属すると考えられる。エラーリカバリはアンドロイドの心的状態を表出できる機会なのである。破綻が生じるごとに同じ文言で聞き返すだけでは日常対話の相手として扱われない。人間らしいエラーリカバリを設計することが、アンドロイドへの理解や協調を促し、関係性の構築に役立つ。開発したシステムでは、音声認識の確信度や人間の訂正発言などに基づいて音声の誤認識等を検出し、対話履歴に基づいて自身の非を認めて謝ったり、相手を責めたりしつつ自律的に元のコンテキストに戻る [21]。また、発話衝突を検出した際には、現在の話題に関するアンドロイドの主張の強さによって、発言権を取ったり、譲渡したりする。

傾聴

人間が経験等を語っているときには、アンドロイドの適切な傾聴的振る舞いがなければ、経験を共有したという心理にはなれない。日常対話においては、適切な傾聴的振る舞いが重要である。人間同士の対話データベースに基づいて学習された適切なタイミングでの相づち生成 [22] や、相手発話中の焦点語のリフレーズやそれに関する深掘り質問の自動生成機能 [23] を開発したシステムに組み込んだ。

相手の主観的概念の推定と自身の主観的概念の形成

対話相手の主観的概念を理解したり、対話を通して自身の新たな概念を形成したりすることは、日常対話における共感や互いの経験の共有、好みの理解などに必要な機能である。現在、対話を通して対話相手の好みにおける主観的な概念を推定する手法について研究を進めている [24]。

発話と同期した動作生成

マルチモーダルな表出が可能なアンドロイドでは、各モダリティの人間らしい表出だけでなく、人間と同様のモダリティ間の同調的表出が重要であることが、我々のこれまでの研究で分かってきた。開発したシステムでは、アンドロイドの発話に同調するように自動的に口唇動作 [25]、頭部動作 [26]、表情 [27] [28]、ジェスチャ [29] を生成するシステムを組み込んだ。

5.2 意図欲求に基づいた対話制御

図2, 3で示した意図欲求行動モデルに基づく対話制御を、上述の機能を持つアンドロイドシステムに実装する。このモデルに基づく対話戦略を要約すると下記ようになる。

- 個人的欲求を満たすために、気に入った相手には、積極的に話しかけ、より自己を開示する話題を選択する。
- 社会的欲求を満たすために、相手を気遣って、話題の主導権や選択基準を相手に合わせる（相手の好みそうな話題を選択する）。また、初対面の人との気まずい雰囲気解消するために、話しかけて関係性を推定しようとする。好感度や関係性を考慮して、対話を継続するか終了するかを決める。
- 初対面場面で見られる返報性 [16] に従って、上記の個人的欲求と社会的欲求の優先度（自他の優先度合い）を均一化しようとする。

上記を実現するために、アンドロイドには以下のような内部状態を持たせて対話の制御を行う。

アンドロイドは個性として話題に関する選好を持ち、心的状態として対話相手への好感度を持つ。好感度は、あらかじめ定めたルールに従って対話相手の発言内容や自身の選好などに依存して変化する。また、対話相手の心的状態も推定する。相手の発言内容、表情、視線などからアンドロイドへの興味度をあらかじめ定めたルールに従って推定する。

各スクリプトには内容によって自己開示度の高低度合いをあらかじめ定める（例：出身地の話は開示度低、愚痴を言う話は開示度高）。人間同士の対話では気に入った相手には自己を開示する内容を話す [30]。これと同様にアンドロイドが相手に話しかけるときは、相手への好感度に応じた自己開示度のスクリプトを選択する。ただし、相手を優先

しようとしている場合は相手の好みそうな話題を選択する。

対話相手に積極的に話しかけるかどうかは、対話相手の好感度や、相手のアンドロイドへの推定興味度、自他優先度によって変化する。自他優先度は返報性に従って、これまでに主導権を取った頻度によって変化する。例えば、アンドロイドから話しかけた頻度が高ければ、相手を優先する度合いが高くなる。

また、アンドロイドは相手の自己開示度合いも推定する。ここでは単純に相手の発話量が多いと自己を開示してくれたと推定する。そして、自身の自己開示度および相手の自己開示度によって自他の関係性を認識する。

6. 意図欲求を感じさせる対話とその効果

待合室における初対面場面での日常対話を実現するための実装を行った。具体的には、研究所の実験に参加しに来た被験者が、実験開始まで待機するようにと待合室に案内されると、そこにアンドロイドが座っていたという状況であり（アンドロイドも実験参加目的で来ている）、そこで生じる対話を想定したスクリプトを作成した。内容としては、どこから来たかについての話題、ロボットに興味があるかについての話題、好きな本についての話題など、25の話題について、80のスクリプトを作成した。同じ話題でもアンドロイドから話し始める場合（アンドロイド主導）、人間から話し始める場合（人間主導）、話の流れが異なる場合などを別々のスクリプトで用意している。スクリプトの対話が実行されていない状態で人間から話しかける場合、人間の発話内のキーワードに従って、人間主導のスクリプトを選択する。キーワードに対応するスクリプトがない場合、アンドロイドは話題転換する発言を行った後、内部状態に従ってアンドロイド主導のスクリプトを選択する。

想定している場面では、人間がアンドロイドに話しかけるかどうかはその人の自由である。どのように対話が進むのがその人によって良いのかは、その人の性格やそのときの心理状態によって変化する。実際に開発したアンドロイドとの対話を試行すると、人によって異なる自己開示パターンを示す。例えば、徐々に互いに自己開示度の高い話題を話していった結果、名前を教え合う話題（やや自己開示が高い話題）を話すに至った場合、アンドロイドと人との自己開示度合いに乖離があったため、アンドロイドが返報性に従って人の開示度合いに合わせた話題と自身の開示度合いに合わせた話題を交互に話した場合、アンドロイドが話しかけても人は返事するだけで話を続けず、スマホを見始めるとアンドロイドも話しかけなくなる場合、などが観察された。対話がかみ合わない場面は発生しているものの、いずれも人間に合わせた自然な対話の展開になっていると考えている。このような対話は、アンドロイドが自身の欲求を持って振る舞うことで可能になったと考えている。

意図欲求を実装したアンドロイドの究極の評価方法は、トータルチューリングテストであろう。チューリングテストは、テキストチャットを介して、対話相手が人間かコンピュータかを判断するものであるが、我々の定義するトー

タルチューリングテストとは、ロボットの人間らしさのテストであり、ロボットの持つ多様なモダリティを通して判断する。ただし、判断するのは、そのロボットが人間と同じに見えるかどうかではなく、ロボットがコンピュータで制御されているか、人間に遠隔操作されているかである。実のところ、アンドロイドの見かけがどれ程人間に近いかは、あまり問題にならない場合が多い。ロボットらしいロボットであっても、その対話が人間らしければ、多くの人は人間と対話するのと同様に親しみをを感じる。また、アンドロイドの実験で、アンドロイドの代わりに人間を座らせておくと、それが人間であることに気が付かないことも多い。故に、見かけそのものは、対話者が容易に擬人化できる程度の見かけがあればよいと考える。

開発したアンドロイドERICAに対しては、まだトータルチューリングテストを丁寧に行っていないが、パスする可能性はすでに被験者の反応から見えてきた。ERICAと対話した被験者の中には、自律的に対話しているERICAに対して、「人が遠隔操作していると思った」という感想を述べる者もでてきている。

7. 課題と展望

アンドロイドERICAを開発することで、多くの研究課題が明らかになった。それは本稿の最初で述べたShakeyの研究と同様である。Shakeyは当時手に入るコンピュータやカメラやモータなど、様々な技術を集結させて作られた。作ってみて初めて、何ができて何ができないのか、今後どんな研究に取り組むべきかが明らかになり、その後の多様なロボットや人工知能の研究分野を生んだ。アンドロイドERICAの開発も同様に多くの課題発見に繋がっている。

対話の安定性

ERICAにはいくつものエラーリカバリの機能を実装しているが、エラーリカバリの多様な機能を統一的にとりまとめることができていない。またそのエラーリカバリの機能によってどれ程対話が安定に行えるか、その評価基準も明らかではない。それらを明確にする必要がある。

パーソナリティの設計

意図や欲求を持つ自律型ロボットであれば、利用者はロボットがパーソナリティを持つことを期待するであろうし、パーソナリティを持つロボットのほうが人間との親密な関係を築きやすい。そのようなパーソナリティはどのように設計されるべきであろうか。

ロボットの持つべき意図や欲求の研究

人間は個体保存と種族保存という2大欲求を持つが、いずれもロボットには必ずしも必要がない。ロボットが持つべき意図や欲求はどのように設定すればいいのか。またそこにはどのような根拠があるのか。

対話の一般的な目的の研究

対話の一般的な目的とは、互いの価値観のすり合わせ、意図のすり合わせであろう。それによって相手がどれ程自分と同じであるか、異なるかを理解し、どのように協調すればいいか、どのような関係を持てばいいか判断できるよう

になる。意図や欲求を持つロボットであれば、人間との間においてそのような価値のすり合わせ機能が必要になる。

欲求と意識の研究

人間は欲求が満たされたときには、ポジティブな感情表現を用い、満たされないときにはネガティブな感情表現を用いる。すなわち、欲求と感情は深くかかわっている。また欲求や感情を表出する者からは強い意識を感じる。意図・欲求、感情、意識の関係を明らかにする研究が必要になる。

トータルチューリングテストの基準

トータルチューリングテストの評価指標を明確にするとともに、状況に応じて難易度を定め、人間に近づくためのマイルストーンを明確にする必要がある。

ここに挙げた新たな研究分野の例はまだごく一部である。意図や欲求を持ちながら自律対話するロボットを実現するには、これからさらに多くの研究が必要となる。

謝 辞 本研究は、JST ERATO 石黒共生ヒューマンロボットインタラクションプロジェクト（グラント番号：JP-MJER1401）の一環として行われたものである。ERICAの開発にかかわった国際電気通信基礎技術研究所、京都大学、大阪大学のプロジェクトメンバに深く感謝する。

参 考 文 献

- [1] <http://www.jst.go.jp/erato/ishiguro/>
- [2] <http://www.ai.sri.com/shakey/>
- [3] J. Laird, A. Newell and P. Rosenbloom: "SOAR: An architecture for general intelligence," *Artificial Intelligence*, vol.33, Issue 1, pp.1-64, 1987.
- [4] J. Anderson: *Rules of the mind*. Lawrence Erlbaum Associates, 1993.
- [5] A. Newell: *Unified theories of cognition*. Harvard University Press, 1990.
- [6] J. Anderson and H. Bower: *Human associative memory*. V.H. Winston & Sons, 1973.
- [7] <http://act-r.psy.cmu.edu/>
- [8] M. Bratman: *Intention, plans, and practical reason*. Harvard University Press, 1987.
- [9] 藤田恵, 片山寛子, 新出尚之, 高田司郎: "実世界の多様性に適応したBDIロボットについて", *情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用*, vol.5, no.1, pp.50-64, 2012.
- [10] R. Brooks: "A robust layered control system for a mobile robot," *Journal of Robotics and Automation*, vol.2, no.1, pp.14-23, 1986.
- [11] 小山虎, 石黒浩: "人とロボットの相互理解を目指した心のアーキテクチャの提案", *日本認知科学会第34回大会予稿集*, pp.380-388, 2017.
- [12] D.F. Glas, T. Minato, C.T. Ishi, T. Kawahara and H. Ishiguro, ERICA: "The ERATO Intelligent Conversational Android," *Proc. of the IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp.22-29, 2016.
- [13] 岡田美智男, 鈴木紀子, 石井和夫, Edward Altman: "雑談の構造的な理解に向けて", *情報処理学会研究報告音声言語情報処理*, vol.1997-SLP-017, pp.39-44, 1997.
- [14] 春木茂宏: "欲求に基づくコミュニケーション原則の可能性", *文学・芸術・文化: 近畿大学文学部論集*, vol.24, no.2, pp.140-114, 2013.
- [15] 張瑜珊: 初対面会話における対人関係構築プロセスの研究外観-会話データからの研究を中心に-, *言語文化と日本語教育. 増刊特集号, 第二言語習得・教育の研究最前線 2007 年版*, pp.94-118, 2007.
- [16] 小川一美: "初対面場面における二者間の発話量のつりあいと会話者および会話に対する印象の関係", *名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要 (心理発達科学)*, vol.47, pp.173-183, 2000.
- [17] 筒井佐代: *雑談の構造分析*. くろしお出版, 2012.
- [18] <http://voicetext.jp/>
- [19] Roger C. Schank (原著), 長尾確 (翻訳), 長尾加寿恵 (翻訳): *人はなぜ話すのか-知能と記憶のメカニズム*. 白揚社, 1996.
- [20] 駒谷和範, 河原達也, ほか: "音声認識結果の信頼度を用いた効率的

な確認・誘導を行う対話管理", *情報処理学会論文誌*, vol.43, no.10, pp.3078-3086, 2002.

- [21] S. Nishiguchi, T. Koyama and H. Ishiguro: "Error Handling System for Humanoid Robots," *The 3rd International Symposium on Cognitive Neuroscience Robotics*, 2016.
- [22] T. Kawahara, T. Yamaguchi, K. Inoue, K. Takanashi and N. Ward: "Prediction and generation of backchannel form for attentive listening systems," *Proc. of the Annual Conference of the International Speech Communication Association*, pp.2890-2894, 2016.
- [23] 石田真也, 井上昂治, 中村静, 高梨克也, 河原達也: 共感表出と発話促進のための聞き手応答を生成する傾聴対話システム, *人工知能学会研究会言語・音声理解と対話処理研究会資料*, 2018.
- [24] 内田貴久, 港隆史, 中村泰, 石黒浩: 無限関係モデルを用いた対話における概念獲得手法に関する検討-主観的意見のやり取りを行う自律対話アンドロイド-, *人工知能学会研究会 言語・音声理解と対話処理研究会資料*, pp.13-18, 2018.
- [25] C.T. Ishi, C. Liu, H. Ishiguro and N. Hagita: "Evaluation of formant-based lip motion generation in tele-operated humanoid robots," *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.2377-2382, 2012.
- [26] K. Sakai, T. Minato, C.T. Ishi and H. Ishiguro: "Speech driven trunk motion generating system based on physical constraint," *Proc. of the IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp.232-239, 2016.
- [27] C.T. Ishi, T. Funayama, T. Minato and H. Ishiguro: "Motion generation in android robots during laughing speech," *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.3327-3332, 2016.
- [28] C.T. Ishi, T. Minato and H. Ishiguro: "Motion analysis in vocalized surprise expressions and motion generation in android robots," *Robotics and Automation Letters*, vol.2, issue 3, pp.1748-1784, 2017.
- [29] C.T. Ishi, D. Machiyashiki, R. Mikata and H. Ishiguro: "A Speech-driven Hand Gesture Generation Method and Evaluation in Android Robots," *Robotics and Automation Letters*, vol.3, issue 4, pp.3757-3764, 2018.
- [30] 丹羽空, 丸野俊一: 自己開示の深さを測定する尺度の開発, *パーソナリティ研究*, vol.18, no.2, pp.196-209, 2010.

石黒 浩 (Hiroshi Ishiguro)

1991 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。その後、京都大学情報科学研究科助教授、大阪大学工学研究科教授等を経て、2009 年より大阪大学基礎工学研究科教授、ATR 石黒浩特別研究所客員所長 (ATR フェロー)。2017 年から大阪大学栄誉教授。専門は、ロボット学、アンドロイドサイエンス、センサネットワーク等。2011 年大阪文化賞受賞。2015 年文部科学大臣表彰受賞。(日本ロボット学会正会員)

港 隆史 (Takashi Minato)

2001 年大阪大学大学院工学研究科博士課程単位修得退学。JST CREST プロジェクト研究員、大阪大学大学院工学研究科助手、JST ERATO プロジェクト研究員を経て、2011 年より ATR 石黒浩特別研究所研究員となり現在に至る。2004 年大阪大学大学院工学研究科博士 (工学) 取得。(日本ロボット学会正会員)

小山 虎 (Tora Koyama)

2004 年大阪大学人間科学研究科博士課程修了。専門は哲学 (分析哲学, ロボット哲学)。日本学術振興会特別研究員 (慶應義塾大学), 米国ラトガース大学哲学科客員研究員等を経て、2010 年より大阪大学基礎工学研究科にてロボット工学と哲学の融合研究に従事。現在山口大学時間学研究所講師、大阪大学基礎工学研究科招へい教員、日本哲学会、日本科学哲学会、科学基礎論学会、応用哲学会、日本認知科学会会員。(日本ロボット学会正会員)