

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
事後評価（予備評価）報告書

【研究総括】石黒 浩（大阪大学 大学院基礎工学科／荣誉教授、
ATR 石黒浩特別研究所／所長・（客員））

【評価委員】（敬称略、五十音順）

佐藤 理史（名古屋大学 大学院工学研究科／教授）
中島 秀之（委員長；札幌市立大学／理事長・学長）
中野 有紀子（成蹊大学 理工学部情報科学科／教授）
廣瀬 通孝（東京大学 大学院情報理工学研究科／教授）
藤田 雅博（ソニー株式会社 R&D センター／VP）

評価の概要

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は、身振り手振り、表情、視線、触れ合いなど、人間のように多様な情報伝達手段を用いて対話できる、社会性を持つ自律型ロボットの実現を目標に、共生ヒューマンロボットインタラクション（人間とロボットの相互作用）の研究開発に取り組んでいる。特に、人と安全に関わることができるロボットのメカニズム、頑健で柔軟な音声認識技術の開発と、欲求、意図、行動・発話の階層モデルの構築に取り組む。これらにより、特定の状況と目的において自律的に対話できる機能や、複数の情報伝達手段を用いて社会的状況で複数の人間と対話できる機能を開発し、実社会において人間と親和的に関わり、人間と共生するための自律型ロボットの実現を目指す。

また、開発したロボットの人間らしさは、遠隔操作されるロボットとの比較や、人間との直接的な比較によって評価し、特定の状況、目的、対象者において、ロボットが人と同レベルのものに感じられることを確認する「トータルチューリングテスト」を実施する。さらに、技術の実用化に向けて、ロボットを用いた健常者や高齢者や発達障害者の生活支援に取り組む。具体的には、高齢者介護において物理的支援と同様に重要な対話支援や、発達障害者の療育を目指すとともに、健常者へのコミュニケーション教育・学習支援や公共施設での情報提供や対話サービスへの展開を図る。すなわち本プロジェクトでは、以下の2つを目標に研究に取り組む。

（1）人間らしく対話できるロボットやアンドロイドの実現（挑戦的研究、基礎研究）

（2）ヒューマンロボットインタラクションの新たな技術を開発し、実社会で対話サービスを提供するロボットを実現（実用的研究）

自律的に動くアンドロイドを目指した点は野心的である。挑戦的な基礎研究と実用的研究の両者を含んでいる点は評価できる。人間の社会的パートナーを実現するための段階的研究開発となっており、全体として目標・計画は妥当である。

プロジェクトの運営体制として、石黒研究総括のもとに編成された3グループのそれぞれに十分な数の国際的色豊かな研究員と技術員が配置され、のびのびと研究を実施している。多くの若手研究者を惹きつけた魅力的な研究プロジェクトとなっている。3つの研究拠点すべてに同じアンドロイド ERICA を設置し、開発技術を速やかに共有する体制が取られており、多くの機関や企業との共同研究を実施し、効果的な連携がなされている。

自律対話アンドロイド ERICA、社会的対話ロボット CommU、車輪移動型子供アンドロイド ibuki の3つのインパクトのある研究成果をもたらしている。人間のような自律的対話機能という非常に難しい課題にチャレンジし、限定された状況ではあるが、傾聴・面接・初対面对話において、対話がほとんど破綻せず、5分間のインタラクションが実現できた点を高く評価する。発話に伴う身体動作の実現により、「人間型ロボットによる対話の人間らしさの向上」という目標に近づきつつある。今後はすべてのシステムを統合し、トータルチューリングテストにパスするとともに、アンドロイ

ドならでの新しい設計原理を提案することにより、歴史に残るような科学技術への貢献を期待する。

数多くの企業との共同研究、展示会への出展等は卓越した成果である。社会的対話ロボット **CommU** と **Sota** を複数体使用したアプリケーション等は実用化のレベルにある。タブレットによる選択会話も実用レベルに達している。アンドロイド **ERICA** は各種メディアにも数多く取り上げられ、インパクトを与えている。多数の企業と連携することにより、先端的な技術開発を素早く事業化するというプロセスを作っている。今後はコンピュータグラフィクスによる人とのインタラクション技術などに対し、違いを明確に打ち出して行くことによりコミュニケーションロボット産業が花開くための大きな一石を投じていくことを期待する。

また、アウトリーチ活動は卓越しており、最も評価すべき点である。

以上を総合すると、本プロジェクトは全体的に順調な進捗にあり、戦略目標「人間と調和する情報環境を実現する基盤技術の創出」及び「人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理技術の開発」の達成に資する十分な成果が得られることが期待されると評価できる。

1. 研究プロジェクトの設定および運営

1-1. プロジェクトの全体構想

本プロジェクトでは、身振り手振り、表情、視線、触れ合いなど、人間のように多様な情報伝達手段を用いて対話できる、社会性を持つ自律型ロボットの実現を目標に、共生ヒューマンロボットインタラクション（人間とロボットの相互作用）の研究開発に取り組んでいる。

これらにより、特定の状況と目的において自律的に対話できる機能や、複数の情報伝達手段を用いて社会的状況で複数の人間と対話できる機能を開発し、実社会において人間と親和的に関わり、人間と共生するための自律型ロボットの実現を目指している。現状の **Amazon Echo** や **Google Home** などのスマートスピーカーとは異なる質の対話システムを目指しており、人が制御するのではなく、自律的に動くアンドロイドを目指した点は野心的で画期的である。

また、開発したロボットの人間らしさは、遠隔操作されるロボットとの比較や、人間との直接的な比較によって評価し、特定の状況、目的、対象者において、ロボットが人と同レベルのものに感じられることを確認していく（トータルチューリングテスト）という非常に高い目標を掲げている。さらに、技術の実用化に向けて、ロボットを用いた高齢者や発達障害者の生活支援に取り組んでいる。挑戦的な基礎研究と実用的研究の両者を含んでいる点は評価できる。

「まずやってみる」という方針も評価できる。今後、その先に設計原理を見い出していくことを期待する。

1-2. プロジェクトの目標・計画

本プロジェクトでは、多様な遠隔操作型ロボットの技術を基に人とロボットの日常的な関わりの中で大量のデータを収集し、特定の目的や状況において多様なモダリティを通して、意図や欲求を基に人間と関わる人間らしいロボットの開発とそれを実現するための共生ヒューマンロボットインタラクションの研究に取り組んでいる。

人間の社会的パートナーを実現するための段階的研究開発となっており、全体として目標・計画は妥当である。

1. 対人場面における共生ヒューマンロボットインタラクション
2. 社会的場面における共生ヒューマンロボットインタラクション
3. 健常者や高齢者や自閉症児のための状況に応じたコミュニケーションロボットの設計と実証

という3つの課題はそれぞれ適切なサブゴールを設定している。

それらの成果に基づき、課題3では高齢者等に対してサービスを行うロボットなど、社会実装に

取り組んでおり、石黒研究総括の個性が活かされた研究計画と考えられる。

最終目標として、トータルチューリングテストをパスするという高い目標を掲げている。

1-3. プロジェクトの運営

研究体制として、石黒研究総括のもとに編成された自律型ロボット研究グループ（大阪大学）、音声対話研究グループ（京都大学）、実証研究グループ（ATR）3グループのそれぞれにグループリーダーを配置し（ATRは石黒研究総括兼務）、2018年度には計65名が参加しており、多くの若手研究者を惹きつける魅力的な研究プロジェクトとなっている。研究員の出身地は14カ国に上り、国際的なチームとして研究が実施されている。若手研究者はのびのびと研究を行っているように見受けられる。高齢者施設、療育施設、海外大学などの機関や多くの企業との共同研究を実施し、周囲の研究者を巻き込んだ効果的な連携がなされている。

研究拠点は3カ所に分かれているが、研究拠点すべてに同じアンドロイド ERICA を設置することにより、開発技術を速やかに共有する体制が取られている点は、特筆すべき工夫点である。各拠点では、得意とする分野の研究開発を行っている。研究課題は個別に進められる傾向も見えるが、中心となる石黒研究総括にぶれはなく、最終的には統合されていくものと思われる。研究費の執行状況には、問題は見られない。

2. 研究の達成状況および得られた研究成果

2-1. 自律型ロボット研究グループ

自律型ロボット研究グループ（大阪大学）は、人と安全に関わるメカニズム、対人場面における自律対話機能、社会的場面における自律対話機能の実現を目標とし、自律対話アンドロイド ERICA、移動機構を備える子供型アンドロイド ibuki、複数で対話する卓上型・人間型ロボット CommU を開発し、実フィールドでサービス提供するアンドロイドの開発に取り組んでいる。

研究基盤としてのアンドロイド ERICA および ibuki は人間のようなフォームファクターをもち、本プロジェクトの特徴的な高いレベルのプラットフォームであると判断できる。画面の中の CG あるいは映像とは異なるインパクトを与えることが期待される。連れて歩ける子供型アンドロイド ibuki を開発した点は高く評価できる。ハードウェア的にも色々な工夫が見られるとともに2足ではなく敢えてタイヤ型を選ぶなど、安全性や社会実装にも十分留意している。Ibuki は、まだ一通り実装を終えた段階であるが、将来のインパクトは非常に大きいものと考えられる。今後は、表情や身体動作等の検討をさらに進めるとともに実証研究を実施することを期待する。

複数体の CommU/Sota というロボット間の対話を用いて、音声認識をしなくてもユーザーが自然に対話に参加している印象を持つという実験は、興味深いアイデアであり、あまり他には例を見ないものである。相手の発話が十分理解できない場合のセーフネットとして働くと考えられる。高齢者施設や日本科学未来館などで実証実験を行った点は高く評価できる。企業と協力し、多くの応用にもトライしている。今後は、音声認識を中心とした対話技術に取り組む京都大学の研究成果と統合し、価値をさらに高めていくことを期待する。

また、タッチパネルを用いてユーザーに選択の自由度を与えながらのインタラクションを行う「選択対話」の実験は、意思決定をユーザーが行うことの重要性を示したものである。対話をストーリーの共有と捉え、その共有法を複数提案している点は、高く評価できる。対話というコミュニケーションによって何がもたらされているのかという問題に迫るひとつのアプローチとなり得るものである。アンドロイドによるニコニコ動画のデモは、特定の状況では、条件反射的対話で十分であり、複雑な対話が必要ないことを示している。デパートの店員やお見合いでの選択式対話は、特定の目的を持つ対話は設計でき、かつ、発話が制限されている状況でも、対話者が満足する事実を明らかにしている。実用レベルに達している研究として評価できる。

2-2. 音声対話研究グループ

音声対話研究グループ（京都大学）は、頑健な音声認識システム、意図・欲求・発話の階層構造を持つ柔軟な対話システムの実現を目標とし、自然な対話を実現する音声認識技術、対話生成技術の研究開発に取り組んでいる。また、自律型ロボット研究グループ、実証研究グループと連携して、特に、対人場面において、傾聴や就職面接を目的に、人と対話するアンドロイドの開発に取り組んでいる。

ロボットと対話をする環境に特化した音声認識技術についてはあまり研究が無く、ヘッドセットマイク等を使わずに音声認識ができる技術は有用である。頑健な音声認識の実現に関しては、フィールド音声認識のためのマルチマイクのビームフォーミング、雑音化での音声認識など、ロボット音声認識には必要となるものを開発し、高い精度と短い認識時間の両方を達成しており、大きな前進があったと評価する。

対話システムの研究については、傾聴や初対面、面接の状況での対話コーパス収集など、いずれの音声対話においても必要になるものに関して、特徴づけて開発をおこなっている。傾聴と就職面接の両方において、対話がほとんど破綻せず、5分間のインタラクションが実現できた点は高く評価できる。

対話システムにおいて、フィラーや相槌の挿入を音声区間検出のようなもので行うことは既存の研究としても存在するが、傾聴の多様なイントネーションの相槌生成は新規性が高く、重要な成果である。高い音声技術を有している研究室ならではの成果であるといえる。

就職面接では、アンドロイドの発話までの時間が長いように感じられた。まだ、発話のバリエーションが少なく、シチュエーションにあった発話内容やイントネーションではないため、やや自然性に欠けているように見受けられた。掘下げ質問がポイントであったが、発話形式が単調であるように感じられた。「Xについて説明して下さい」という定型質問だけでなく、「Xの面白さについて教えてください」や「Xにはどんな特徴があるのですか」など、いくつかの聞き方を用意すれば、単調感は緩和されると思われる。また、傾聴と就職面接の違いやロボットと人との社会的関係なども考慮して対話システムの設計、話し方や相槌のフォーマリティ表現を検討するとさらに改善されることが期待される。会話衝突回避のため、アンドロイドの発話開始時間を長く取っていたようであるが、間が開けば人間が発言を再開する可能性も高いため、発話衝突が起きた際に、アンドロイドの音声発生システムを中断できるよう再構築することを期待する。

2-3. 実証研究グループ

実証研究グループ（ATR）では、言語・非言語情報を用いた人との自然な対話を行うアンドロイドの実現を目標として、マルチモーダル対話制御システムの開発を行っている。プロジェクトの各グループで開発した個々の対話機能をアンドロイド制御システムに実装して統合的なシステムを構築すると共に、対話アンドロイドの実証的実験による評価を行いながら、トータルチューリングテストにパスすることを主な目的として研究を進めてきた。具体的には、マルチモーダル統合および動作の自動生成、音声対話の場合に必要なエラーリカバリー、アンドロイド側の意図や欲求に基づく対話機能などの開発が行われている。

ATR 来訪者と対話をするアンドロイド ERICA が ATR の 1 階ロビーに設置されており、システム化が意欲的に進められている点は大きな成果である。ERICA のデモは、インパクトが大きい。発話に伴う身体動作の実現により、ロボット感が下がり、人間に近づいている。

欲求・意図に基づく対話生成は、音声のみの対話システムでもうまくモデル化する方法はわかっておらず、これまでのロボットの対話システムで大きく欠落していた部分であり、非常に難しい問題である。今後のロボットによる音声対話において重要な要素になり得る。デモンストレーションでは人手でシナリオを作り込んでおり、限定された初対面などの状況においての実験となっている。状況が変わるときのアンドロイド側の欲求や意図をどう設計するのか？状況の変化をどのように評価しながら変化させるのか？など課題は多いと思われるが、その先鞭をつけていると思われる。

より長期的な研究が必用であると思われるが、アンドロイドならではの新しい汎用的な方式や理論としての成果を期待したい。今後の実証実験の展開を期待する。

2-4. プロジェクト全体

自律対話アンドロイド **ERICA**、社会的対話ロボット **CommU**、車輪移動型子供アンドロイド **ibuki** の3つのインパクトのある研究成果をもたらしている。アンドロイド **ERICA** を用いて人間のような自律的対話機能という非常に難しい課題にチャレンジし、限定された状況ではあるが、傾聴・面接・初対面对話において、対話がほとんど破綻せず、5分間のインタラクションが実現できた点を高く評価する。発話に伴う身体動作の実現により、「人間型ロボットによる対話の人間らしさの向上」という目標に近づきつつある。連れて歩ける子供型アンドロイド **ibuki** を開発した点も高く評価できる。社会的対話ロボット **CommU** は高齢者施設や日本科学未来館等で実証実験を行うとともに企業と協力し、多くの応用にもトライしている。

アウトリーチについては、各グループまたプロジェクト全体でも大変積極的に行われている。掲載・放映された記事は新聞記事 75 件、テレビ放送 22 件など合計 182 件にも及んでおり、本プロジェクトで最も評価すべき点である。

AI スピーカーとは異なり、身体を持つロボットが対話を行う場合の統合開発はそれだけでも多くの作業を必要とし、かつ統合のためのアーキテクチャ開発も必要となる。アンドロイドの会話・動作生成に関して、基本システムがあるとはいえ、デモの目的やコンテンツの違いにより様々な調整が必要になると思われる。若手研究者の努力を高く評価したい。

今後は新しい汎用的な方式や理論としての成果を期待する。また、CG とは異なるアンドロイドならではの实証実験の展開を期待する。

3. 研究成果の科学技術、社会・経済への貢献

3-1. 科学技術への貢献

人間に酷似した姿を持つロボットであるアンドロイドの開発では、これまでも石黒研究総括のチームが世界をリードしてきた。

本プロジェクトは人間のような自律的対話機能という定量的評価が難しい課題にチャレンジし、エアポケットになっている非言語型のインタラクションの研究を加えて、実現しようとするものである。その中で音声認識なし対話や意味を理解しない対話、3者間での話題の共有を考えた対話など、今後の人とアンドロイドとの対話を研究開発していくうえで多くの示唆をあたえる設計のノウハウを提案している。

一方で、フィルターや相槌、エラー処理、意図・欲求のレベルを持つアーキテクチャ **belief**、**desire**、**intention (BDI)**モデルなど、一つ一つの技術は昔から研究されていたものでもある。本プロジェクトの価値は、個々の分解されたアルゴリズムだけを取り出して研究するのではなく、対話ロボットとして統合された結果としての検証を行っていることと考えられる。かつて、スタンフォード研究所が開発した世界初の移動能力のある汎用ロボット **Shakey** がそうであったように、人工知能 **STRIPS** や画像認識にしても、個々の要素技術は過去に研究されているものではあるが、統合することによって見えてくる課題や解決方法があると考えられる。

今後、インタラクションのミニマムモデルから、欲求や意図を推定するようなものを統合することでいかに人間のような対話が可能となるのかを、アーキテクチャ理論により再現可能なルールにまとめることなどにより、かつてのサブサンクション・アーキテクチャー(**SSA**、自律型ロボットの **AI**)のように、成果を歴史に残るようなものにしていくことを期待する。**ERICA** が 1970 年の **Shakey**、2000 年の **ASIMO** などに匹敵するインパクトを与え、科学技術の発展に大きく貢献していくことを期待する。

3-2 社会・経済への貢献

数多くの企業との共同研究、展示会への出展等は卓越した成果である。特許出願は積極的に行われている。

社会的対話ロボット **CommU** と **Sota** は比較的安価に購入でき、これを複数体使用したアプリケーション等は実用化のレベルにあると考えられる。**CommU** と **Sota** はヴィストン株式会社と連携し、コミュニケーションロボットとしての可能性を実ビジネスとして示している。

株式会社 **NTT** ドコモ、株式会社ゼンショーホールディングスをはじめとして、多数の企業と応用についての実証実験を進めており、先端的な技術開発を素早く事業化するというプロセスを上手く作ることができていると考えられる。

タブレットによる選択会話は実用レベルに達している。

アンドロイド **ERICA** は高価であるためすぐに普及させることは難しいが、日本テレビと共同研究でのアンドロイドアナウンサーのアオイエリカは、実社会への実装のトライアルとしてインパクトを与えている。

これらは「アンドロイドやロボットがいる社会」を強く予感させる研究であり、中長期的には、社会的・経済的にも大きなインパクトを持つと考えられる。高齢化社会が急速に進みつつある日本において、ロボットの社会進出は不可欠であると考えられる。一方、コミュニケーションロボット **JIBO** がビジネスとして失敗、**Pepper** の更改率低迷など他の商品・サービスは厳しいというのが現状ではある。今後、コンピュータグラフィクスによる人とのインタラクション技術などに対し、違いを明確に打ち出して行くことにより、コミュニケーションロボットに関する産業が花開くための大きな一石を投じていくことを期待する。

4. その他特記すべき事項

4-1. 若手研究者支援

石黒研究総括は以下の方針のもと若手研究者の育成指導の下に行っている。

- ・解くべき問題は実世界にある。故に、実証実験に積極的に取り組み新たな研究課題を自らが発見すること。
- ・自らの研究が進んできたら、そのテーマに関する解説記事を書くこと。それによって、研究の位置づけが明確になる。
- ・研究分野に制限を設けないこと、ロボット工学、人工知能、認知科学、哲学、倫理は人間理解という大目標において全て繋がっており、分野やその分野の手法にこだわらずに研究を進めること。

その結果、本プロジェクトから講師のポストに就いた者2名、テニストラック助教のポストに就いた者1名、助教のポストに就いた者1名などが昇進している。また、研究員2名が本プロジェクトの研究テーマを発展させた課題によってそれぞれさきがけや **CREST** の研究代表者に採択されている。以上、若手研究者の育成について顕著な成果が得られていると評価する。

4-2. アウトリーチ活動

本プロジェクトではアウトリーチ活動として、招待講演などの他に、2回のシンポジウムと併設開催の記者発表会や、企業への技術移転、研究成果物であるアンドロイド **ERICA** の日本テレビでの活躍など、多方面で社会への発信を行っている。その結果、本プロジェクトに関連して掲載・放映された記事はテレビ放送 22 件、Web 記事 69 件、新聞記事 75 件、雑誌記事 16 件の合計 182 件となっている。以上のようにアウトリーチ活動は、本プロジェクトで最も評価すべき点である。開催したシンポジウムや報道発表、多数の企業との共同研究、展示会への出展等は各種メディアで数多く取り上げられており、いわゆる不気味の谷を超えるための活動として、他には類を見ない貢献をしている。社会的アピールは卓越している。

5. 総合評価

5-1. このプロジェクトが達成した成果の素晴らしい点・特筆すべき点とその理由

本プロジェクトはそれぞれ以下のような3つのインパクトのある研究成果をもたらした。外見を含め人間にできる限り近づけた自律対話アンドロイド **ERICA**、社会的対話ロボット **CommU**、車輪移動型子供アンドロイド **ibuki** である。ロボットの完成度は高く、評価できる。自律対話アンドロイド **ERICA** では、5分以上の破綻しない音声対話を実現するとともに、発話に合わせた身体動作・表情表出などを実装し、限定的な状況では、人間と近いレベルに到達しつつある。ハンドクラフトではあるが、いままでにないレベルの対話を実現できたことは特筆すべき成果のひとつである。社会的対話ロボット **CommU** では、十分な音声認識・内容認識なしでも対話を破綻させない方法を開発し、多くの実証実験・社会実験を実施し、その効果を実証した。車輪移動型子供アンドロイド **ibuki** は、連れて歩ける初めての人型アンドロイドである。ロボットはその形態や機能によって使い方を選ぶべきであるが、本プロジェクトはそのお手本を見せてくれている。開発されたロボット対話の要素技術は、まだすべてが統合できているわけではないものの、統合化を含めて対話研究に対して今後の新しい方向性を示していると思われる。

成果を幅広くアピールするために、数多くの展示会出展やメディアとの協力など、アウトリーチに力を入れている点は特筆すべき成果である。

5-2. このプロジェクトの社会的・経済的インパクトとその理由

アンドロイド **ERICA** 等は日本 **TV** のアナウンサーや、ニコニコ動画などへ自動コメント発信など、人間に極めて似せたロボットのインパクトを活用しながら、自動対話生成の可能性を社会に見せた。社会的対話ロボット **CommU** と **Sota** などは多くのパートナー企業と社会実装に近い形で実験が行われている。「アンドロイドやロボットがいる社会」を強く予感させる研究であり、中長期的には、社会的・経済的にも大きなインパクトを持つことが期待される。今後、コンピュータグラフィクス等に対し違いを明確に打ち出して行くことにより、コミュニケーションロボットに関する産業が花開くための大きな一石を投じることを期待する。

5-3. このプロジェクトが達成できなかった点（今後期待する点）とその理由

「人間のような対話を行うロボット・アンドロイド」という点ではまだギャップがあるように思われる。トータルチューリングテストをパスするという目標は、まだ達成できていない。本プロジェクト提案以前、トータルチューリングテストはアンドロイドの見かけが人間と10-20秒間と区別がつかなければ合格という目標であったが、本プロジェクトにおいては、アンドロイドと人間の会話において、操作しているのが人間かコンピュータか区別がつかなければ合格という判定基準になっている。目標転換の方向性はより好ましいものとなっているが、「トータルチューリングテスト」という名称は、「対話におけるマルチモーダルチューリングテスト」のようなものに変更することも視野に入れるべきと思われる。同時に、客観的に評価できる実験のコントロールや定量化の検討を行い、達成条件を明確にした上で、チャレンジしてほしい。

また、バーチャルリアリティやスマートスピーカーのようなものでは不可能であり、3次元世界で実在するアンドロイドやロボットゆえの対話タスクとは何かを明確にし、対話相手としての人型ロボット・アンドロイドの優位性を示してほしい。

5-4. 上記以外の全体所見

特に無し。

以上を総合すると、本プロジェクトは全体的に順調な進捗にあり、戦略目標「人間と調和する情報環境を実現する基盤技術の創出」及び「人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理技術の

開発」の達成に資する十分な成果が得られていると評価できる。

以上