

ロボットが高齢者と長期関係性を構築するための対話に基づく非同期コミュニケーション

松元 崇裕^{1,a)} 松村 成宗^{2,b)} 渡部 智樹^{2,c)} 今井 倫太^{1,d)}

受付日 2019年4月19日, 採録日 2019年11月7日

概要: 高齢化による認知症予防や心理ケアの重要性が高まっており, 情報工学の分野では対話ロボットを回想法などの心理療法に用いる取組みが進められている. 一方で対話ロボットは目新しさにより最初は利用されるものの, 長期間の利用を継続させることが難しい. そのため長期実施が前提の心理療法へ適用するには, ロボットが人と良い関係性を維持する技術・手法の確立が必要となる. 本論文ではロボットが高齢者との関係性を構築・維持するため, 手紙による非同期コミュニケーションを用いる方法を提案し, 提案手法が長期関係性に与える効果について調査を通じた仮説を示す. 本研究は単発の大規模実験で統計的な結論を出すのではなく, 少数の参加者を一定期間にわたって追うケーススタディによって, 関係性への効果の時間的な変遷事例を得て, 傾向を確認することを重視する. 我々は最初に6人の高齢者を対象として, 手紙をロボットの作成したものとして渡す条件と, 第三者の作成したものとして渡す条件でケーススタディを行う. ケーススタディではロボット対話と手紙提示を隔週で交互に4回実施し, ロボットの印象の時間遷移について調査を行う. また対話データから発話重要度を推定するアルゴリズムを提案し, 提案アルゴリズムを用いた非同期コミュニケーションのための手紙生成システムを示す. 最後に我々は8人の高齢者を対象として, 提案アルゴリズムの有無で手紙内容が異なる2条件を用いた2つ目のケーススタディを実施する. ケーススタディ2も同様に, 対話と手紙提示を隔週で交互に4回実施し, 関係性の構築・維持に与える影響について, 両ケーススタディを通じて形成した仮説を述べる.

キーワード: ヒューマンロボットインタラクション, 高齢者, 回想法, 長期関係性

Asynchronous Communication Based on Conversation for Long-term Relationship Between Older Adult and Robot

TAKAHIRO MATSUMOTO^{1,a)} NARIMUNE MATSUMURA^{2,b)} TOMOKI WATANABE^{2,c)} MICHITA IMAI^{1,d)}

Received: April 19, 2019, Accepted: November 7, 2019

Abstract: Importance of providing dementia prevention and psychological care is increasing with population ageing. In a field of information engineering, several studies are in using of social robots for psychotherapy such as “reminiscence”. The social robots are initially used due to “novelty effects”, but it is difficult that the robots are used for a long-term. Therefore, in order to use the robots for psychotherapy like the reminiscence, technologies and methods are required to build and maintain a good relationship between the robots and users. In this paper, we propose a method using asynchronous communication by letters in order for the robots to establish and maintain relationships with older adults. And we show a hypothesis that the method has a good effect on the long-term relationship through two case studies. We do not aim at statistical conclusions from a single large-scale experiment, but focus on time-lapse cases of the effect on relationships on the studies that follow a small number of participants over a fixed period. At first, we do a case study 1 for 6 older adults. In the case study 1, we use two conditions that the robot send a letter and a third party send a document, and investigate the effect on impression of the older adult to the robot through 4 times conversations conducted every other week. The letters and the documents are made based on the dialogue between robot and the older adult. In addition, we propose an algorithm for estimating important utterances pairs from the dialogue data, and show a letter generating system as asynchronous communications using the algorithm. Finally, we do a 2nd case study of 8 older adults. The case study 2 is conducted two condition generating the letter using the algorithm and without the algorithm and all participants also have 4 times conversations every other week. We show a possibility that the algorithm has a positive effect on the construction and keeping of the relationships through both case studies.

Keywords: human-robot interaction, older adults, reminiscence, long-term relationship

1. 序論

日本の認知症高齢者は2012年で約462万人おり、2025年には65歳以上の5人に1人となる約700万人に達すると推定されている [1]。そのため認知症の治療・予防はもちろん、認知障害が原因で生じる不安のケアも重要な問題の1つとなっている。

高齢者の認知症予防や心理ケアとして広く普及している手法に回想法がある。回想法はアメリカの精神科医 Butler により1963年に提唱された心理療法である。回想法ではカウンセラが聞き手となり、高齢者が自身の人生を再評価し、心理的な安定や記憶力の改善を図ることを目的とする [2]。回想法の効果は臨床的研究がゆえの条件統制の難しさから、完全に一貫性のある結論は出ていないものの、情動面の改善やコミュニケーション能力の改善、長期的なQOLの向上などの効果が報告されている [3]。

一方、回想法の課題には実施の手間があげられる。回想法を効果的に実施するには、事前に回想のテーマを設定し、テーマに関する昔の生活や習慣の知識を十分に把握しておく必要があり、実施者に入念な準備が求められる [4]。そのため高齢化で介護者数が不足する中でも気軽に行うためには、実施者の負担を減らすことが重要となる。

上記の背景から情報工学の分野では対話ロボットで回想法を行うアプローチが試みられている。たとえば下岡らは音声認識の信頼度に基づき、回想法の傾聴に特化した応答をするロボットを提案している [5]。また入部らは加齢による不明瞭な音声でも認識精度を低下させない専用コーパスを提案している [6]。さらに大武らは回想法にアレンジを加えた共想法というグループ会話を提案し、ロボットを司会として活用する方法を提案している [7]。

回想法は長期継続が重要であり、継続しないと効果が消失するという研究報告も存在する [8], [9]。一方、対話ロボットにとって長期間利用継続してもらうことは大きな課題の1つであり、実現には人と良い関係性を構築・維持する能力が必要なことが多くの研究で主張されている [10], [11], [12]。関係性の構築・維持に関する従来研究としては、ショッピングセンタ [13] や介護施設 [14] で名前を呼ぶ・ロボットが自己開示するといった対話戦略で解決を試みる取り組みが行われている。また下川原らはロボットの対話データベースを頻繁に更新し目新さを保つことが、利用維持に一定の効果があることを示している [15]。しかし

ながらロボットと人の長期関係についての研究は、実際に時間がかかり負担も大きいことから数が少なく、十分な調査や有効な方法確立がされてないのが現状である。また従来研究では、対面対話におけるロボットの言語・非言語機能を改善する試みに焦点が当てられていた。一方で人は対面コミュニケーションだけでなく、メール・SNSなどの非同期コミュニケーションを並行して関係性の構築・維持をしている [16]。そのため対話ロボットにおいても、人との関係性を構築・維持するため、非同期コミュニケーションを並行して用いることが有効となる可能性が考えられる。

そこで本研究では回想法を提供するロボットが、高齢者と良い関係性を構築・維持し利用継続してもらうために非同期コミュニケーションを用いる方法の提案・評価を行う。本研究は多人数への短期実験により統計的結論を出すのではなく、少人数への一定期間のケーススタディを通じて、提案方法が高齢者に与える影響の時間変遷事例を取得し、傾向を得ることに焦点を置く。1つ目のケーススタディでは非同期コミュニケーションとしてのロボットからの手紙が関係性構築に与える影響の調査を行う。次に回想法の対話・映像データから、手紙を自動生成するためのアルゴリズムおよびシステムを提案する。最後に2つ目のケーススタディを通じて、提案アルゴリズムを用いた手紙が高齢者との関係性構築・維持に与える影響について調査を行い、両調査を通じた仮説を述べる。

本論文の主な貢献は次の2つである。1つ目は2週間に1度の計4回にわたりロボットが高齢者と回想法をする2つのケーススタディを通じて、手紙による1方向の非同期コミュニケーションを対話と並行して用いることが、高齢者のロボットへの良い印象を向上・維持し、利用継続に有用となる可能性を示したことである。2つ目は対話時の発話ログ・映像から対話重要度を算出するアルゴリズムを提案し、アルゴリズムを用いた手紙生成システムが高齢者との関係性構築に有用となる可能性を示したことである。

2. 関連研究

2.1 同期・非同期コミュニケーションに関する研究

Computer Mediated Communication (CMC) の研究分野において、同期・非同期コミュニケーションの特性の違いに関する研究が1970年代ごろよりさかんに実施されてきた [17], [18], [19], [20]。文字情報を中心としたメールに代表される非同期コミュニケーションは、視線・表情・韻律などの非言語情報が欠落する特性から、対話相手に非人間的な印象を与えやすい [17]、対話が課題指向的となり自発性が低下する [18] など、対人関係の発展に不向きなことが様々な実験室実験で示されてきた [20]。

一方で、多くのフィールド調査では実験室実験の結果に反し、メールなどの非同期コミュニケーションは人間関係の構築にポジティブに働くことが示されている [21], [22], [23]。

¹ 慶應義塾大学

Keio University, Yokohama, Kanagawa 223-8522, Japan

² NTT サービスエボリューション研究所

NTT Service Evolution Laboratories, Yokosuka, Kanagawa 239-0847, Japan

a) matumoto@ailab.ics.keio.ac.jp

b) narimune.matsumura.ae@hco.ntt.co.jp

c) tomoki.watanabe.cd@hco.ntt.co.jp

d) michita@ailab.ics.keio.ac.jp

親密さとコミュニケーションツールの利用状況を調査した研究では、親密さが深まるにつれ同期・非同期にかかわらず全ツールの利用が増加し、非同期コミュニケーションでは不向きと考えられていた「秘密と批評」「深い自己開示」などの精緻なやりとりにも、メールが積極的に利用されることが示されている [16]。非同期コミュニケーションが関係性の構築・維持に利用される理由に、初期の研究でネガティブな点として言及された非言語情報の欠如が、利用者の“意図的な自己呈示”のために都合が良いことがあげられる [24], [25], [26]。非言語情報は無意図的に表出されるため制御が難しく、対面コミュニケーションでは意図的に自己呈示をしても非言語の手がかりから虚偽だとばれてしまう。

一方でメールなどの非同期コミュニケーションでは非言語情報からの意図しない伝達を回避できる [27]。また発話・身振り・表情を制御しつつ相手の反応にもリアルタイムに気を配る対面対話と比べ、非同期コミュニケーションは認知負荷が小さい。そのため時間をかけて伝達内容に集中でき、意図した自己呈示を実施しやすい [27]。人が意図的な自己呈示に非同期コミュニケーションを好んで用いることは、言い換えれば、人は対面対話での能力不足を補い望む方向へ対人関係を構築するツールとして非同期コミュニケーションを活用しているといえる。

本研究では同様の考え方がロボットにも適用できるのではないかと考える。対話ロボットは視線やジェスチャーといった非言語のモーダルを持つことで、音声だけの対話インタフェースより様々な面で効果的なコミュニケーションを実現できる。一方で、ロボットも人とは異なる理由で対面対話を完璧に遂行することが容易ではない。たとえば、ジェスチャーや表情の表現を考えても、ロボットの機構やアクチュエータ数といった物理的制約が表現力に影響する。また適切な内容・タイミングでそれらを表現するには、センシングや情報処理を通じてロボットが複雑な対話状況をリアルタイムに把握する必要がある。

一方で、文字を中心とした非同期コミュニケーションでは対面対話のいくつかの難しい問題を避けることができる。たとえば、メールであればロボットの物理機能は関係なく、リアルタイム性も必要ないため時間をかけて回答できる。また間に人が介入してロボットの誤りを訂正することも容易である。そのため比較的難度の低い非同期コミュニケーションでロボットが有用な対話相手という印象を人へ“呈示”できれば、同期コミュニケーションの失敗や不完全さによる印象低下を補い、人とのポジティブな関係構築・維持に役立てられる可能性がある。そこで本研究では対面対話に非同期コミュニケーションを組み合わせ、人との良好な関係性の構築・維持に役立てられるか調査を行う。

2.2 人とロボットの長期関係性構築に関する研究

オフィス・公共施設・家庭などで人とコミュニケーションをとってサービスするロボットにとって、長期関係性の構築は重要な課題となっている [28]。複数の従来研究でも、目新しさによるノベルティ効果 (novelty effect) はすぐに失われるため、ロボットが人と長期関係性を維持する能力を持つ必要性が言及されている [10], [11], [12]。

関係性を維持する困難さはロボットと人の関わり方により異なる。アザラシ型ロボットの PARO は、アニマルセラピー効果を提供するロボットとして 100 カ所以上の施設に提供され長期間利用させることも成功している [29], [30], [31]。その理由として、PARO は動物の見た目をとり、撫でる・抱えるといったシンプルなインタラクションをユーザとすることで、ロボットへの知的な期待値を下げ、期待と実際の動作にギャップを生まないようにデザインされていることがあげられる。従来研究でも関係の構築までには「期待」「接触」「気づき」というフェーズをたどり、期待に反するロボットの機能のギャップが、ユーザの使用を停止させる要因であることが報告されている [32]。

一方で、本研究が扱う回想法は、ロボットはユーザと一定時間以上の会話することが求められる。また会話内容も挨拶などの簡易的なものではなく、経験の想起という深い会話が必要となる。そのためロボットが回想法を継続するために必要な関係性の維持は比較的難しいと考えられる。たとえば Gockley らのロボットは人と長期の関わりを持つことができたものの、各回の対話は 30 秒未満の短いものとなってしまっている [10]。

関係性の構築・維持を扱う多くの研究では、時間経過やユーザとの会話量に応じて、ロボットが言語・非言語のコミュニケーション内容を変化させるアプローチが試みられている。たとえば、ユーザの名前を記憶し初回以降の会話で利用する手法 [13]、ロボットが提供する行動を徐々に開放する手法 [33]、また会話 DB を継続更新し対話を変化させ続ける手法 [15]、インタラクション数の増加にともない親密な関係性を表情で表現する手法 [34]、近接学に基づき距離で親密度を表現する手法 [35] などである。上記の研究は、人から見たときにロボットのインタラクションの新規性を保つことで飽きを回避する点で共通している。

また従来研究では、人が良い関係を構築するために用いるコミュニケーションに着目し、その機能をロボットへ実装する取組みが行われている。その 1 つが自己開示であり、ロボット・人の双方の自己開示を促す手法について多くの研究がある [13], [36], [37]。もう 1 つは豊かな感情や共感を示す表現であり、関係性を構築・維持する目的で、それらの機能をロボットに実装する提案が行われている [38], [39]。

上記のように、関係性構築・維持に関する従来研究の多くは、ロボットが人と対面コミュニケーションをするときに着目して研究が進められている。一方で、ロボットが対

面コミュニケーションに加えて非同期コミュニケーションをすることで、ユーザとの関係性構築・維持にどのような影響を与えるか調査する研究はほとんど見当たらない。

我々は、ロボットが言語・非言語の両方のモーダルで人との自然な対面コミュニケーションを目指すように、ロボットという擬人化された存在が時間・空間の制約に縛られず同期・非同期の両方のコミュニケーションを通じて良い関係性構築・維持を目指すことが重要と考える。特に店頭や受付など、家庭以外で利用されるロボットは、ユーザがロボットを利用してから次の利用まで、ある程度の期間が空くことが想定される。そのため時間・空間的な制約に縛られない非同期コミュニケーションが良い関係性構築・維持に効果的であれば、同期コミュニケーションとの併用は大いに意味があると考えられる。

本研究が関係性の構築・維持を目指すロボットは、高齢者が週1回の頻度で通う施設において、10分程度の回想法を行う対話ロボットを想定している。まず我々は、対話に加えて非同期コミュニケーションを行うことが、関係性の構築・維持に影響を与えるのかを調査するためケーススタディを行う。次章では、そのケーススタディの詳細について述べる。

3. ケーススタディ 1

我々は最初に、ロボットが対話に加えて非同期コミュニケーションをした場合に高齢者との関係性に与える影響を調査するケーススタディを実施した。本ケーススタディの目的は次の2つである。1つは手紙による非同期コミュニケーションが高齢者とロボットの関係性に与える影響について、インタビュー事例やアンケート調査を通じた洞察を得ることである。もう1つは対話情報から手紙を自動生成するシステムを構築するための対話データを収集することである。

本ケーススタディは高齢者が身体機能のリハビリテーションをする施設で実施された。参加者には同施設を毎週1度利用するロボットと対話経験がない6人（男性3人、女性3人）が選ばれた。また参加者には施設職員へのヒアリングを通じて日常会話に問題ない人が選出された。

3.1 回想法ロボットの対話システム

対話ロボットのシステムは回想法を扱う従来研究 [40] と同じ対話システムを採用した。採用したシステムでは、高齢者の発話内容にかかわらず、ロボットの全発話はあらかじめ人手で作成された対話シナリオに基づいて実施される。そのため高齢者の発話内容によっては、ロボット応答が高齢者の発話と食い違うことが生じる。従来研究では同システムでも、1度の会話であれば、ロボットは高齢者と10分程度会話できることが示されている [40]。また同システムでは、ロボットの視線方向・ジェスチャは与えられ

た対話シナリオにより自動生成されるが、一部の制御には Wizard of oz 法を用いており、人の発話終了検知・うなずきのタイミングは遠隔操作でシステムに通知する。

ケーススタディには Viston 社製の小型ロボット Sota (280 mm(H) × 140 mm(W) × 160 mm(D)) を用いた。ロボットの自由度 (DoF) は首が 3 DoF、肩が 1 DoF、肘が 1 DoF、胴体が 1 DoF の計 6 DoF であり顔方向による視線提示と、顔方向・手を動かすことによる簡単なジェスチャが可能である。また口に該当する部分に赤色の LED ライトが付いており、LED を点滅させることで発話中であることの表現が可能である。ロボットの額部分には小型カメラが付いており 2 秒ごとに視線方向の写真撮影が可能である。

対話シナリオは、回想法の参考書 [4] に掲載されている「昔のテレビ」「昔の駄菓子屋」「昔の小学校」「昔の給食」の4つのテーマに沿って作成された。また回想法はテーマに沿った写真などを想起補助に用いるのが一般的なことから、会話中は同指南書に掲載されている各テーマの写真に参加者の前のモニタへ表示した。

本ケーススタディでは、参加者はロボットと2週間に1度の計4回対話を行った。全参加者の各回の平均対話時間は412秒であり、最も短い2回目のシナリオで参加者の平均が362秒、最も長い4回目まで平均457秒であった。また参加者の発話回数については、各回の発話回数の平均が41.4回であり、最も少ない2回目が37.6回、最も多い4回目まで46.0回であった。発話は前後1秒以上間が空いたものを1回とカウントした。

また対話の翌週には“手紙”が施設職員より高齢者へ渡された。次節では本研究で非同期コミュニケーションとして採用した手紙についての詳細を述べる。

3.2 高齢者との非同期コミュニケーション手法の検討

非同期コミュニケーションの方法には電子メール・チャット・SNSなど複数の手段が考えられる。しかし回想法の対象となる高齢者にとって、電子機器を用いる方法は利用経験の乏しい人が多く適用が難しい。そこで我々は、多くの高齢者でも経験が十分あって扱いやすい、手紙を非同期コミュニケーション手段に採用した。

本ケーススタディでは、ロボットからの手紙が関係性に与える影響を調査するため、ロボットからの「手紙あり条件」と「手紙なし条件」の2つを用いた調査を検討していた。しかしながら今回の調査対象となる対話相手は高齢であることから、「手紙なし条件」を用いた場合、対話内容やロボットと対話した事実そのものが忘却されてしまう可能性が高まる。そのため「手紙なし条件」を用いると、手紙の有無だけでなく、対話した記憶の有無にロボットへの印象が強く影響を受けてしまう可能性がある。

そこで我々はロボットの手紙であることが明示された「ロボット手紙条件」と、類似の内容が第三者からの文書

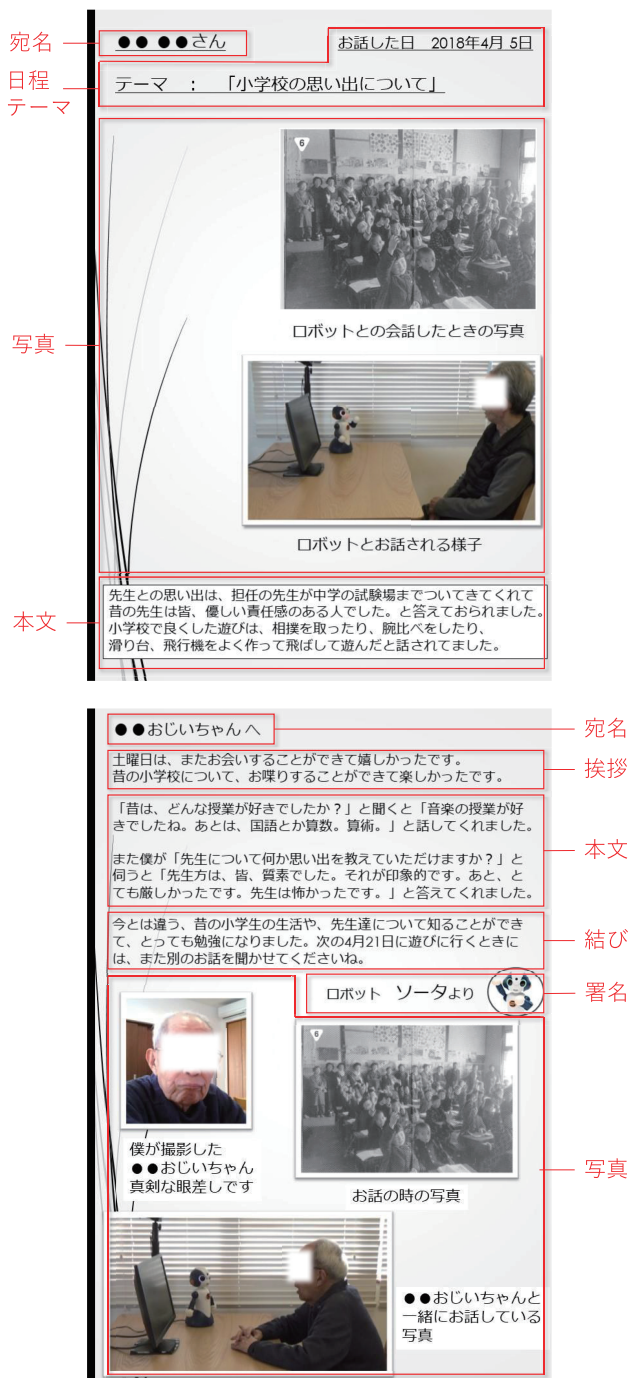


図 1 第三者レポート条件 (上) とロボット手紙条件 (下) の手紙例
Fig. 1 Examples of experimenter's letter condition (up) and robot's letter condition (bottom).

として提示される「第三者レポート条件」の2条件を調査に用いた。「第三者レポート条件」は「ロボット手紙条件」と同様に、発話内容の文章や、対話時の写真を参加者へ提示することで、ロボットと対話した記憶を参加者が再認できるようにした。各条件の文章例を図1に示す。両条件で提示される文章・写真の内容は、対話情報をもとに次節で述べる各条件の形式に従って人手で作成された。

3.2.1 ロボット手紙条件

ロボット手紙条件では手紙が人との関係性構築に寄与す

るよう「ロボットからの手紙であることの明示」、「参加者との会話をロボットが認識していることの明示」、「ロボットの自己開示」を意識したデザインとした。下記に手紙の各部分のデザイン意図について述べる。

宛名: 宛名は手紙の一般的な慣習であるが、記載することでロボットが相手の名前を記憶していることを明示できる。従来研究でも人と良好な関係性を持つためにロボットが名前を記憶することの重要性が言及されている [13], [33]。そのため宛名は関係性に良い影響を与える可能性がある。今回は宛名として姓を記載し、参加者の性別に応じて「おじいちゃん」「おばあちゃん」を敬称に用いた。

挨拶: 挨拶部では前回対話時の曜日情報と回想テーマを記載した。対人魅力を扱う従来研究では、陽気・素直・優しいなどの“社会的望ましさ”が高いことが魅力を高め関係性に良い影響を及ぼすことが報告されている。またロボットの自己開示が関係性に良い影響を与えることが複数研究で報告されている [13], [36], [37]。そこでさらに挨拶部では「お喋りが楽しかった」「会えて嬉しかった」など、参加者との対話を好意的に記載し、ロボットが社会的望ましさの高い態度・意見を自己開示する文面を加えた。

本文: 今回の対話システムは、参加者の発話内容にかかわらず台本に従いロボットが発話を返す。そのため参加者の発話によっては会話が噛み合わず、ロボットに対して「話を聞いていない」「知性が低く話を理解できない」などの負の印象を与え、関係性に悪影響を与える可能性がある。また対話システムの不適切な回答による対話破綻は、本システムに限らず一般的な課題である。

本文では、ロボットと参加者の対話ログからロボット発話と高齢者発話の応答ペアを抽出して手紙に記載する。我々は応答ペアを記載することでロボットが参加者の話を「聞いていること」を明示できるため、対話破綻によるロボットへの負の印象を緩和し関係性に良い影響が与えられると考えた。発話ペアは対話ログから最も手紙にふさわしいと実験者が判断した2つのペアを利用した。手紙では「僕が[ロボット発話]とうかがうと、[参加者発話]と答えてくれました。」のように、ロボットが会話を認識していることを明示する表現を用いた。また発話ペアの文章でロボット起因による対話破綻が生じないように、ロボット発話の次に参加者発話という順序とした。

結び: 挨拶と同様に、参加者との対話テーマ内容およびロボットが対話を好意的なものとして態度・意見を自己開示をする文章を記載した。また最終文では再会を希望する文章を記載し、参加者への好意を自己開示として表現した。

署名: 署名も手紙の一般的な慣習であり、記載することでロボットからの手紙であることを明示できる。参加者がロボット名を忘れた場合にもロボットの手紙であることを伝えられるよう写真も署名に記載した。

写真: 回想法テーマやロボットとの対話を参加者に想起さ

せる目的で、回想法で使用したテーマの写真と、参加者とロボットと一緒に写った写真を掲載した。またロボット手紙条件のみ、ロボットが撮影した参加者の顔写真と、顔写真の表情へのコメント文を記載した。

今回のロボットは頭部カメラを有するが、カメラ入力に応じて自然な反応を返すプログラムは実装されていない。そのため手を近距離にかざしても反応を返さず、ロボットには見る能力がないと参加者が感じるケースが生じうる。そこで手紙に顔写真を掲載し参加者を視認していることを示せば、対話相手にロボットが外部の様子を視認できる知的な存在と感じさせられると考えた。掲載写真はロボットの頭部カメラで撮影された全画像のうち、参加者が比較的正面を向き焦点の合ったものを採用した。

3.2.2 第三者レポート条件

第三者レポート条件では、参加者が読むことでロボットとの対話を再認させることを目的として、対話内容や対話時の写真を記載した。文章はロボット以外の第三者が対話の様子を記載するデザインとし、ロボット手紙条件で記載のあった「ロボットの自己開示」などの記載は省いた。

宛名：敬称を「さん」として参加者の姓・名を記載した。

日程・テーマ：ロボット手紙条件の挨拶部でも記載されている、前対話時の日時情報や回想テーマを記載した。

本文：ロボット手紙条件と同様に、参加者とロボットの対話から2つの発話ペアを選定し記載した。ただし第三者レポート条件では、対話の様子を観察した第三者視点での内容記載を行った。

写真：ロボット手紙条件と同様に回想法のテーマ写真と参加者とロボットと一緒に写った写真を掲載した。ただしロボットのカメラで撮影した顔画像は、参加者の顔のみが写っている写真であり、ロボットとの対話を再認させることに大きく寄与しないため掲載を省いた。

3.3 ケーススタディ 1 手順

本調査は参加者間比較で行われ、参加者を年齢・性別が可能な限り近くなるよう2つのグループに分類した。第三者レポート条件は男性2人、女性1人の平均80歳 ($SD: 6.24$)、ロボット手紙条件は男性1人、女性2人の平均79歳 ($SD: 8.71$) となった。

各参加者にはロボットとの4回目の対話終了後に、ロボットに対して感じたこと、または初回と比べ感じ方が変化したことを自由に回答させるインタビューを実施した。また各回のロボットとの対話後に、ロボットへの印象を調査するための単項目のアンケートを実施した。単項目アンケートにおいて用いた質問内容を表1に示す。9つの単項目アンケートは1 (非常にそう思わない) ~ 7 (非常にそう思う) の7段階のリッカート尺度で評価を行った。

また最終日には単項目とは別に Godspeed 質問紙を用いた印象評価を行った。Godspeed 質問紙は対話ロボットの

表 1 ロボットの印象調査のため単項目アンケートに用いた質問内容
Table 1 Single questionnaire items for evaluating robot's impression.

項番	ロボットへの印象についての質問内容
Q1	話をよく聞いてくれていると感じた
Q2	会話を楽しむことができた
Q3	感情を持っていると感じた
Q4	心を持ち生きているように感じた
Q5	親しみを感じた
Q6	友達のように感じた
Q7	好ましく感じた
Q8	良い性格をしていると思った
Q9	また話してみたいと感じた

ように単純な性能で評価できない対象を評価する標準ツールとして提案されたもので、擬人性 (Anthropomorphism)、有生性 (Animacy)、好ましさ (Likability)、知性知覚 (Perceived Intelligence)、安全性知覚 (Perceived Intelligence) の5項目で構成される [41]。Godspeed 質問紙は複数の形容詞対を用い、各項目を1~5の5段階で評価を行う。

対話は側面・正面の2方向からビデオ撮影され、側面カメラはロボットと参加者の双方が写るように、正面カメラは参加者の表情を撮影するよう設置された。しかし初回の正面カメラの撮影は機材のトラブルで実施ができなかった。

3.4 ケーススタディ 1 におけるインタビュー結果

3.4.1 手紙を通したロボットの知性知覚

4回目対話後のインタビューおよびロボットと参加者の対話記録から、ロボット手紙条件の3人中2人の参加者が、手紙を通じてロボットに知性を感じた様子が確認された。ID5 (ロボット手紙条件) はインタビューで「手紙を読むと、ロボットが、自分の話したことに対して、こんな風に思ってくれるんだなということが確認できました」と回答しており、手紙を通じてロボットの思考が確認できたことを言及している。また ID6 (ロボット手紙条件) は2回目と3回目の対話で、手紙を読んでロボットの知性を評価する発言が次のとおり確認された。

2 回目対話 (ID6: ロボット手紙条件)

[ロボット]: この間お話したのは、先々週の土曜日なので2週間ぶりですね。

[ID6]: そうですね。お手紙もありがとうございました。よく話を覚えていらして、私よりも頭が良いですね。

3 回目対話 (ID6: ロボット手紙条件)

[ロボット]: 2週間お会いしない間は、3月なのに雪が降ったり、桜が咲いたり、寒暖の変化が凄かったですね。

[ID6]: そうですね。またお手紙も頂いてありがとうございました。ちゃんと書いていて本当凄いですね、Sotaさん。

また ID6 はインタビューにおいても「私は…、記憶があれで、話がちょっとおぼつかない所があるけど…、Sota 君

は凄い頭が良くて私に合わせてくれていました」と回答しており、4回目対話後もロボットの知性を高く評価する様子が確認された。

3.4.2 ロボットとの関係性維持について

ロボット手紙条件のID4・ID5は、4回目対話後のインタビューで、ロボットとの別れを強く惜しむ様子が確認された。ID4は「最初はロボットと話すことに戸惑いを感じていた。今では、ロボットはこのように素晴らしいものかと親しみがわいてきた。手紙や会話を通じて、小学校時代の懐かしい思い出を思い出させてくれた。また会いたい。それを希望しています」と回答しており、ID5は「ロボットなんだろうけど、そんな風には感じない。楽しくて興味がある。こんなことはめったにないこと。これでロボットとお別れになってしまうのは本当に残念」と言及していた。回答で見られた“素晴らしい/親しみ/楽しい/興味がある”という発言から、ID4・ID5はロボットへポジティブな印象を持っていたことが分かる。さらに“また会いたい/お別れが残念”という言葉から、インタビューのあった4回目の対話後も、ID4・ID5がロボットとの関係性維持を望んでいたことが確認できる。

次にID6（ロボット手紙条件）とID2（第三者レポート条件）の2人は、別れを惜しんだり、再会を希望したりする発言はインタビューで確認されなかった。しかし、ID6の「手紙を見たり、お話をするうち、自分の子供みたいに愛しい感覚がだんだんと強くなっていきました」という回答や、ID2の「いろいろなお話を通じて、だんだんロボットというよりは、だんだん子供のように感じるようになってきたかもしれません」という言及から、ID2・ID6はロボットを子供のように感じ、ポジティブな印象を持っている様子が確認された。一方で、両者のインタビュー回答の差異として、ID6は「強くなっていきました」と断定しているのに対し、ID2は「かもしれません」と可能性を示す表現を使っており、ID6の方が「ロボットを子供のように感じた」ことを強い表現で主張していることも確認された。

最後にID1（第三者レポート条件）およびID3（第三者レポート条件）についても、インタビューで別れを惜しんだり、再会を希望したりする発言は確認されなかった。ID1は「ロボットの見た目は可愛らしい印象で、それは変わらないですね。でもやはりロボットという感じで、お友だちに近いという感じよりは…。やっぱりロボットという感じが強いですね」と回答しており、ロボットの外見を除いてポジティブな発言は確認されなかった。またID3は「ロボットの印象について特に何かという感覚はないですね。ロボットとの話が初めてということを見ると、まあまあ話せたのではないかと思います。話を繰り返すたびに、ロボットの仕組みの癖というか、徐々に話をするには慣れてきました」と回答しており、インタビューを通じてロボットに対するポジティブな発言はなく、自身がロボッ

トとうまく会話ができたかという点を中心に回答をしていた。ID1・ID3のインタビュー結果からは、別れを強く惜しんでいたID4・ID5や、ロボットを子供のように感じていたID6やID2と比べて、ロボットにポジティブな印象を持ち、対話相手としての関係性を維持したいという様子は確認されなかった。

3.5 アンケート結果

3.5.1 単項目アンケート結果

単項目アンケートについて各対話回後の評価結果をまとめたものを図2に記載する。Q1において各評価の平均と標準誤差を(初回, ..., 4回目)としてまとめると、第三者レポート条件の平均値は(5.33, 6.00, 5.67, 5.33)で標準誤差(SE)は(0.67, 0.58, 0.33, 0.33)であり、ロボット手紙条件では平均は(6.00, 5.67, 6.33, 6.33)でSEは(0.58, 0.88, 0.33, 0.33)であった。Q2については、第三者レポート条件で平均は(5.33, 6.67, 7.00, 5.33)でSEは(0.88, 0.33, 0.00, 0.88)、ロボット手紙条件で平均(4.67, 6.00, 6.33, 7.00)でSEは(0.33, 1.00, 0.67, 0.00)であった。Q1についてロボット手紙条件は2回目の対話後に値が減少したものの3回目・4回目と値は増加・維持していた。一方で第三者レポート条件では2回目の対話後に値が増加したものの3回目・4回目と値が下がり、ロボット手紙条件が第三者レポート条件の値を逆転している。同様にQ2も、ロボット手紙条件では3回目、4回目と値が上昇して高い値を維持しているが、第三者レポート条件では3回目をピークとして、4回目まで値が下落していた。

次にQ3では第三者レポート条件で平均が(4.67, 5.00, 6.00, 6.33)でSEは(0.33, 1.00, 0.58, 0.67)、ロボット手紙条件では平均(4.67, 5.33, 6.00, 6.67)でSEは(0.33, 0.88, 1.00, 0.33)であった。またQ4では、第三者レポート条件で平均が(5.00, 5.00, 5.00, 5.33)でSEは(1.15, 1.00, 1.53, 0.88)、ロボット手紙条件で平均は(5.00, 5.33, 6.00, 6.67)でSEは(1.00, 0.88, 1.00, 0.33)であった。Q3については両条件ともにアンケートの平均値が時間経過とともに上昇していた。一方、Q4では第三者レポート条件は平均値が5.00から5.33の間で横ばいであったが、ロボット手紙条件では対話回数が増えるごとに平均値が上がっていた。

Q5の評価結果は、第三者レポート条件で平均(5.67, 5.67, 6.00, 6.33)でSEは(0.88, 0.88, 1.00, 0.67)、ロボット手紙条件では平均(6.00, 6.00, 6.33, 7.00)でSEは(0.58, 1.00, 0.67, 0.00)であった。またQ6では第三者レポート条件で平均(5.00, 5.33, 5.33, 5.33)でSEが(1.00, 0.67, 0.67, 0.67)、ロボット手紙条件で平均(4.67, 5.33, 6.33, 6.67)でSEは(0.67, 1.20, 0.67, 0.33)であった。Q7では第三者レポート条件で平均(6.33, 6.00, 6.33, 6.33)でSEは(0.33, 0.58, 0.67, 0.67)、ロ

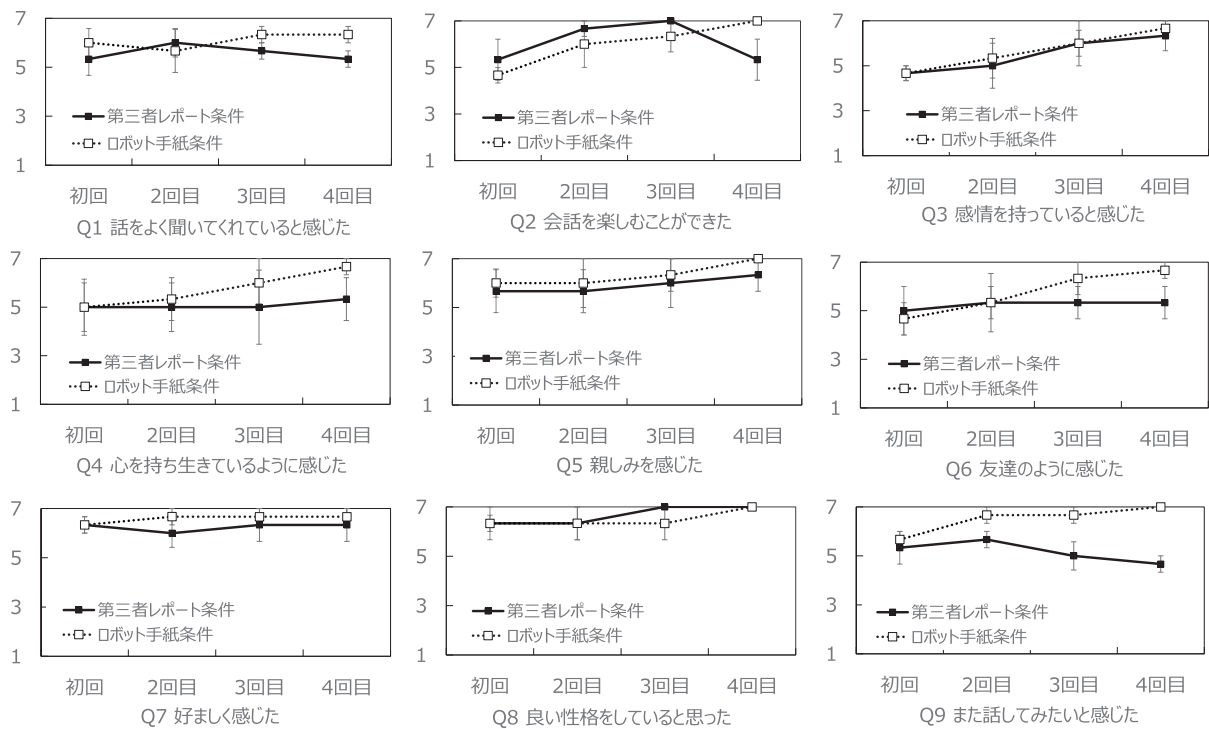


図 2 ケーススタディ 1 における単項目アンケート結果
 Fig. 2 Single-item questionnaire results of case study 1.

ロボット手紙条件で平均 (6.33, 6.67, 6.67, 6.67) で SE は (0.33, 0.33, 0.33, 0.33) であった。Q5 は第三者レポート条件およびロボット手紙条件ともに初回から 4 回目まで値が下がることはなかった。また Q7 は第三者条件が 6.00 以上、ロボット手紙条件が 6.33 以上で高い値で平均値が維持された。Q6 では対話回数が増加するごとにロボット手紙条件の平均値は高くなっており、第三者レポート条件は初回から 4 回目まで 5.00 から 5.33 の間で平均値が横ばいとなった。

Q8 では第三者レポート条件で平均 (6.33, 6.33, 7.00, 7.00) で SE は (0.67, 0.67, 0.00, 0.00)、ロボット手紙条件で平均が (6.33, 6.33, 6.33, 7.00) で SE は (0.33, 0.67, 0.67, 0.00) であり、両条件ともに 6.33 以上の平均値で横ばいであった。

最後に Q9 は、第三者レポート条件で平均が (5.33, 5.67, 5.00, 4.67) で SE は (0.67, 0.33, 0.58, 0.33)、ロボット手紙条件では平均 (5.67, 6.67, 6.67, 7.00) で SE は (0.33, 0.33, 0.33, 0.00) であった。Q9 はロボット手紙条件が対話回数を重ねても平均値は維持・上昇しているが、第三者レポート条件は 2 回目をピークに、3・4 回目と平均値が減少していた。

3.5.2 Godspeed 質問紙の評価結果

次に最終日の Godspeed 質問紙の評価結果を図 3 に示す。第三者レポート条件の結果は、擬人性の評価平均が 3.67 ($SE: 0.32$)、有生性が 3.78 ($SE: 0.22$)、好ましさが 4.33 ($SE: 0.25$)、知性知覚が 3.73 ($SE: 0.25$)、安全性知覚が 2.89 ($SE: 0.39$) であった。一方でロボット手紙

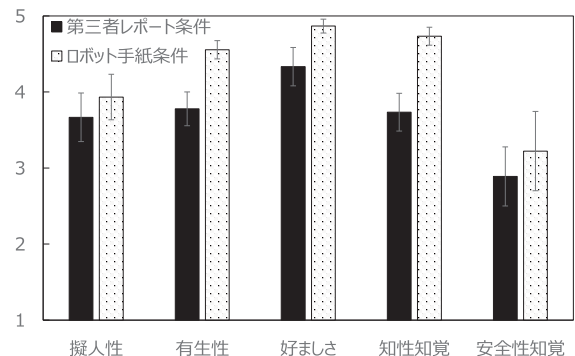


図 3 最終対話後の Godspeed 質問紙のアンケート結果
 Fig. 3 Godspeed questionnaire results after the final conversation.

条件の評価結果は、擬人性が 3.93 ($SE: 0.30$)、有生性が 4.56 ($SE: 0.12$)、好ましさが 4.87 ($SE: 0.09$)、知性知覚が 4.73 ($SE: 0.12$)、安全性知覚が 3.22 ($SE: 0.52$) であった。

3.6 ケーススタディ 1 の両結果に対する考察

ID5・ID6 のインタビューおよびロボットとの対話において、参加者がロボットからの手紙を通じてロボットへ思考・知性を感じていた事例が確認された。また Godspeed 質問紙の知性知覚においても、結果は統計的差異があることを示すものではないが、ロボット手紙条件の平均値が第三者レポート条件の平均値よりも高い値となっている。そのためインタビューおよび対話の事例とアンケート結果

は、参加者がロボットからの手紙を通じて、4回目の対話後もロボットを知的な存在と感じていた可能性を示す点で一致している。

またID5・ID6は、自身の発話をロボットが聞いて手紙にまとめたことを評価するコメント (ID5) や、対話内容を記憶して手紙に記載したことを称賛する発話 (ID6) が事例として確認された。そのためID5・ID6は、ロボットが「自身の話を聞いて」手紙に記載してくれたという印象を、対話回数を重ねた後も持っていたと考えられる。また単項目アンケートのQ1 (話をよく聞いてくれていると感じた) においても、ロボット手紙条件は2回目に値が減少したものの3回目・4回目では値が増加・維持されているが、第三者レポート条件では2回目をピークに3回目・4回目と値が下がっていた。Q1も統計的有意を示すものではないが、インタビューで確認された事例を補足する結果とみることができる。そのため両結果は、対話内容が記載されたロボットの手紙を読むことで、対話を重ねた後もロボットは話を聞いてくれているという印象を維持できる可能性を示すものと考えられる。

また最終日の参加者とロボットの関係性では、ID4・ID5がロボットとの別れを強く惜しむ発言をしたり、ID6がロボットを子供のように愛おしく感じたと言言するなど、ロボット手紙条件では全参加者がポジティブな関係性を構築・維持できた様子がインタビューを通じて確認された。一方、第三者レポート条件ではID2を除き、ロボットとポジティブな関係性の構築・維持がされていた様子がインタビューでは確認されなかった。アンケートのQ9 (また話してみたいと感じた) やQ2 (会話を楽しむことができた) においても統計的有意を示すものではないが、ロボット手紙条件の平均値は対話回数を重ねるごとに維持・上昇しており、4回目の平均値では第三者レポート条件を上回っている。そのため、ロボット手紙条件の参加者は対話回数を重ねた後もロボットとの関係性を維持したいと感じていたというインタビュー事例を、アンケート結果についても補足する結果となった。

4. 発話重要度の計算アルゴリズム

ケーススタディ1において人手で作成した手紙を自動生成するには、対話ログから重要な発話のペアを抽出する必要がある。本章では重要な発話ペアの抽出のため、ケーススタディ1の対話データをもとに、発話の重要度を計算するアルゴリズムの提案を行う。

4.1 データ収集

アルゴリズム作成にあたり、我々はまず発話の重要度の教師データを次の手順で収集した。教師付けはケーススタディ1の2回目、3回目、4回目の対話データを対象とし、初回の対話データは正面ビデオ映像がないため対象外とし



図4 重要対話の教師付けのためのシステム画面

Fig. 4 System for choosing important utterances in dialogue.

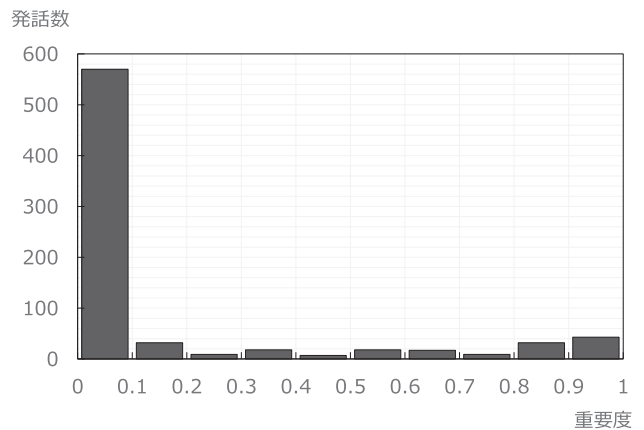


図5 参加者の全発話の重要度ヒストグラム

Fig. 5 Importance histogram of all participant's utterances.

た。教師付けは参加者6人の18対話に含まれるすべての参加者発話 (755 発話) に対して実施した。参加者発話は事前にELANソフトウェアを用いて開始・終了タイミングを含めて書き起こしをした [42]。

重要度の教師付けは平均22.9歳 (SD1.23) の大学生16人 (男性: 8人, 女性: 8人) のアノテータにより実施された。教師付けには、我々が作成した教師付け用システムを用いた。同システムの画面を図4に示す。システムには映像と書き起こしの発話文が表示され、映像の再生時刻に同期して各発話がハイライト表示される。アノテータへは教師付けとして、映像と対話文の両方を見て、重要と感じたすべての参加者発話を選択するよう指示した。テキストだけでなく映像も用いたのは対話の間・口調・表情といった非言語情報も教師付けに影響を及ぼす可能性があるためである。またアノテータへ教師付けの判定基準を与えるため、事前にケーススタディ1の手紙例を提示し、重要な対話を手紙で用いる考えをアノテータへ伝えた。

次に全アノテータの重要・重要ではないの2値データより、各発話が重要と判断された割合を計算し、その割合を発話重要度と定義した。全参加者発話の発話重要度ヒストグラムを図5に示す。全発話中、発話重要度が0.1以下となる発話は75.5%であり、重要度が0.5以上の発話は15.8%であった。そのためランダムに選定すると手紙に不適切な発話を選ばれる可能性が高く、アルゴリズムの必要

性が改めて確認された。高重要度の発話には“旗揚げ合戦とかいろんなゲームがありまして、面白かったですよ”（重要度：1.00），“ピーナッツを加工したマコロンというお菓子を買いまして、これは1銭で3個買えました”（0.94）などが選出された。一方で低重要度の発話は“はい、よろしくお願いたします”（0.00），“ああ、そうですか。私が好きだから、自分が好きだからそうなんじゃないかと思ったんですけどね”（0.125）などが選出された。

4.2 特徴量候補考察

重要度付けされた全参加者発話数は755であり機械学習の観点ではデータ数が少ない。我々は少数のデータでモデルを構築するため、まず重要度判定に有用と考えられる特徴量の候補を考察した。そして特徴量候補からStepwise法によりアルゴリズムの特徴量抽出を行った。まず我々の考察した全特徴量候補を示す。

4.2.1 対話行為タグ

対話行為タグはDialog Act Markup in Several Layersに規定される対話意図を抽象化したラベルセットである[43]。対話行為タグにおいて“挨拶”、“フィラー”、“相槌”などに該当する発話は重要度が低く、“自己開示”などに該当する発話は重要度が高いと考えられる。そこで我々は従来研究[44]のアルゴリズムを用いて全発話の対話行為タグ分析を行った。そして全32種の対話行為タグを従属変数とし、各タグに該当するか否かを0, 1の2値で表現した。文献[44]のアルゴリズムでは自己開示が“自己開示_事実”、“自己開示_経験”など9種類に細分化されているが、自己開示は関係性構築でも重要視され、重要度の高い発話の可能性が大きいと考えられる。そこで9種の自己開示のうちいずれかに該当すれば値が1となる“自己開示_総合”を変数に追加した。

また対話は相互作用であり、直前のロボット発話は参加者発話の重要度に相関が強いと考えられる。そこで直前のロボット発話の対話行為タグも重要度を算出する特徴量候補とした。特に回想法の文脈では、直前のロボット発話が“質問”の場合、次の参加者発話が重要である可能性が高い。質問は“質問_情報提供要求”、“質問_事実”など8種類に細分化されているため、我々は8種のうちいずれかに該当した場合に値が1となる“質問_総合”を候補に追加した。対話行為タグの全特徴量候補は下記となる。

- 1: 各発話の対話行為タグ (0,1) (32種類+自己開示_総合の計33従属変数)
- 2: 各発話の1つ前のロボット発話の対話行為タグ (0,1) (32種類+質問_総合の計33従属変数)

4.2.2 発話文の感情分析結果

回想法で高齢者が話す過去の経験は強い感情と結び付いていることが多く、感情は重要度と相関のある可能性が十分考えられる。そこで発話文の感情分析結果を特徴量候

補とした。感情分析には文章に、どの程度ポジティブまたはネガティブな表現が含まれているかを示すポジネガ度(-1.0~1.0)を採用した。ポジネガ度の分析には2018年8月時点で最新のGoogle Natural Language APIを用いた。ポジネガ度は-1.0~1.0で表現され、1つの発話文内にポジティブ・ネガティブの双方の表現が同程度含まれる場合は、値が0に近くなる。一方、重要度はポジネガではなく感情の強弱自体が相関する可能性がある。そこで同APIを用いポジネガ強度も特徴量候補とした。また発話のポジネガ度やポジネガ強度の傾向は、発話者の特性や対話テーマに大きく影響を受ける可能性がある。そこで各対話回の平均値から、各発話の値がどの程度離れているかを相対ポジネガ度・相対ポジネガ強度として特徴量候補に追加した。

3: ポジネガ度合 (-1.0~1.0) (絶対, 相対の計2従属変数)

4: ポジネガ強度 (0.0~+inf) (絶対, 相対の計2従属変数)

4.2.3 発話時の表情値

感情は発話文以外にも、表情に現れる可能性がある。そこで参加者の顔を正面から撮影した映像より表情分析を行い、各発話中の表情データを特徴量候補とした。表情分析にはAmazon社のAWS Rekognition Videoを用い、笑顔(Smile)と7種類の感情(Happy, Sad, Confuse, Disgust, Angry, Calm, Surprise)の計8種類を対象とした。笑顔と各感情は0.0~1.0の値をとる信頼度として200msecごとに推定される。我々は各発話時間中の全推定結果の平均値を発話時の表情値とした。また表情値は対話ごとの照明状況や参加者特性により変化する可能性がある。そこで各対話の表情値の平均値から、各発話の表情値がどの程度離れているかを示す相対値も特徴量候補に追加した。

5: 表情値 (0~1.0) (笑顔+7種の感情に対する絶対, 相対の計16従属変数)

4.2.4 発話のエンティティ数

高齢者の経験に基づく重要な回想の発話には、地名や製品などの固有名詞が多く含まれる可能性が高いと考えられる。そこで各発話に含まれる既知の固有名詞であるエンティティ(著名人, ランドマークなど)数を特徴量候補とした。エンティティ分析にはGoogle Natural Language APIを用いた。エンティティ数についても話者特性や対話テーマに強い影響を受ける可能性があるため、各対話回の平均エンティティ数との差を相対値として特徴量候補に追加した。

6: エンティティ数 (0~+inf) (絶対, 相対の計2従属変数)

4.2.5 発話時間・発話速度

重要な発話は「はい」や「そう思います」などの短文ではなく、ある程度の長さを持つ可能性が高く、発話文字数や発話時間は重要度と相関がある可能性が考えられる。また人は発話の速度・間などの非言語情報からも情動や意図の推定をしている[45]ことから、発話速度や発話の間は

表 2 Stepwise 法による従属変数の抽出結果

Table 2 Extracted dependent variables by Stepwise method.

項目	切片・係数	標準誤差	z 値	p 値
切片	-4.02	0.30	-13.6	2.0E-16
自己開示_総合	1.80	0.32	5.62	1.9E-8
情報提供	0.34	0.08	4.12	3.8E-5
発話秒数	1.49	0.41	3.66	2.6E-4
相対 Smile	-1.42	0.59	-2.42	0.016
文章ポジネガ値	0.94	0.41	2.31	0.021
相対 Confused	7.11	3.15	2.26	0.024
エンティティ数	0.26	0.13	2.04	0.041
発話文字数	-0.04	0.02	-2.00	0.045

重要度と相関のある可能性が考えられる。そこで我々は発話文字数・発話秒数・発話速度・前発話との時間差の4つを特徴量候補とした。発話文字数には参加者の各発話文における発話開始から終了までの文字数を用いた。また発話文字数は俳句における数ええ方と同様に、発話文をすべてひらがなに変換したのち拗音を除いた文字数を用いた。また発話速度は1秒あたりの発話文字数とした。

上記の4特徴量についても話者特性や対話テーマで値が左右される可能性がある。そのため各特徴量の相対値も特徴量候補に追加した。

- 7: 発話文字数 (0~+inf) (絶対, 相対の計2 従属変数)
- 8: 発話秒数 (0.0~+inf) (絶対, 相対の計2 従属変数)
- 9: 発話速度 (0.0~+inf) (絶対, 相対の計2 従属変数)
- 10: 前発話との時間差 (-inf~+inf) (絶対, 相対の計2 従属変数)

4.3 Stepwise 法による特徴量抽出

1~10の全特徴量候補に対してStepwise法による特徴量の選定を行った。重要度は割合を表す確率値であることから回帰モデルにはロジスティック回帰を選択した。分析はR(ver3.5.1)のMASSパッケージ(7.3.50)を用い、赤池の情報量基準(AIC)を判定基準とする変数増減法による特徴量抽出を行った。Stepwise法により抽出された8つの特徴量を表2に示す。抽出された全従属変数においてp値は0.05以下であり帰無仮説は有意に棄却された。

対話行為タグである自己開示_総合、情報提示は重要度と正の相関がある要素として抽出された。その理由として、回想法の文脈では、高齢者が過去の経験を“自己開示”する発話や過去の生活・文化の“情報提供”をする発話が比較的重要と判断されたためと考えられる。またエンティティ数も正の相関がある要素として抽出された。エンティティ数も過去の経験を話す場合、人・組織・場所・商品などのエンティティが多く発話に含まれるため、有用な特徴量として残ったと考えられる。

また発話秒数と発話文字数は、それぞれ正と負の相関がある要素として抽出された。発話秒数は特徴量候補選定時

の想定どおり長いほど重要度が高くなっている。一方で文字数は予想と反して負の相関がある要素として抽出された。その理由として、高齢者が過去を回想しながら話す場合、想起に時間がかかり発話秒数に対して発話文字数が少なくなったためと考えられる。

またポジネガ値は正の相関がある要素として抽出された。その理由は「分からない」「思い出せない」などのネガティブな発話は手紙に向かず重要対話に選出されない傾向が強いためと考えられる。

最後に発話時の表情ではSmileとConfusedの相対値が選出され、それぞれ負と正の相関であった。興味深いことに表情の相関は対話文のポジネガ値とは逆になっている。重要度の高い発話文でSmileが減少しConfusedが増えるのは次の理由が考えられる。回想法の文脈では、過去の深い話が重要な発話となる可能性が高いが、高齢者にとって過去の話は想起に認知的リソースを多く割く必要がある。そのため表情を制御する余裕がなく、笑顔が減り困惑したような表情が多くなるためと考えられる。

4.4 モデル評価

Rのモデル式の評価結果は、最大逸脱度:458.33(754自由度)、残差逸脱度:194.17、赤池情報量基準:345.26となった。またモデルによる各発話の重要度推定値と教師データの重要度との相関は0.77、決定係数 R^2 は0.58となった。モデルの推定対象である重要度は、人にとっても曖昧な判定であるため評価者間でデータにバラつきが生じている。発話重要度と各評価者の0,1の判定データの相関を見ると平均は0.83($SD:0.066$)であり、相関が最も高い人で0.91、最も低い人で0.70であった。モデル式の相関値は人の値とも大きな差異がないことから、手紙生成への適用であればモデルは十分な精度を持つと考えられる。

5. アルゴリズムを用いた手紙生成システム

発話重要度の計算アルゴリズムを用いて、回想法の対話データに基づく手紙生成システムを構築した。まず本システムを用いて生成される手紙を図6に示す。本章では、アルゴリズムを用いた本文生成部、顔画像抽出部、そのほかに分けて手紙生成システムについて述べる。

5.1 対話ログに基づく本文生成部

本文生成部は音声認識結果、発話区間認識結果、正面顔映像、ロボット発話ログの4つの対話データより手紙本文を生成する。提案アルゴリズムを用いた本文生成フローを図7に示す。発話区間認識結果の参加者発話開始/終了時刻は映像の時刻と同期がとれたものを利用する。音声認識および発話区間の認識結果は誤り部分を人手で修正した。

提案モデル適用のため、音声認識結果と正面顔映像に対して、対話行為ラベル付与、ポジネガ値・エンティティ

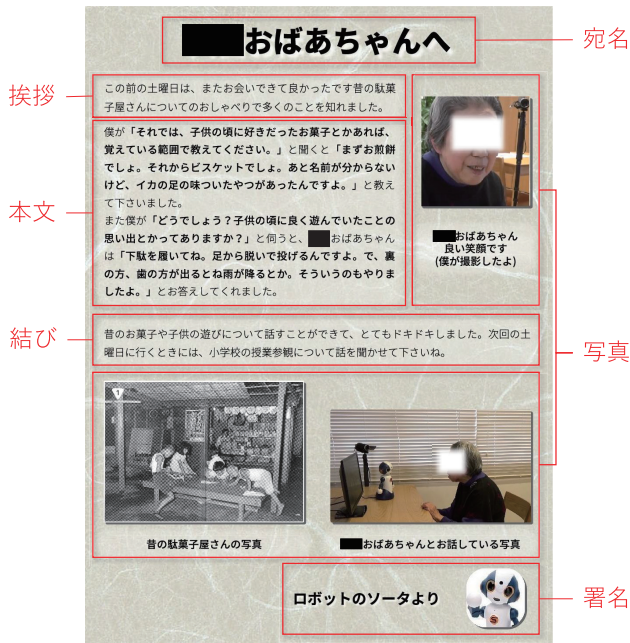


図 6 手紙生成システムで作成した手紙例

Fig. 6 Letter example made by the letter generating system.

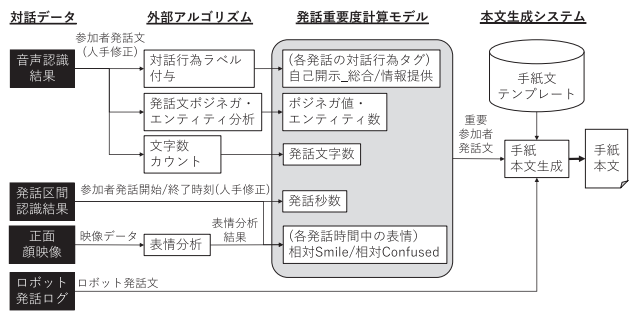


図 7 提案アルゴリズムを用いた本文生成フロー

Fig. 7 Letter main part generating flow by proposed algorithm.

分析、文字数カウントおよび表情分析を事前処理として行った。事前処理には 4 章でも用いた対話行為ラベル付与アルゴリズム [44], Google Natural Language API, AWS Rekognition Video を用いた。事前処理の結果および対話データの一部は、発話重要度の計算モデルに入力され、モデルに基づき全参加者発話の重要度計算を行う。そして計算モデルは重要度が上位 2 つとなった参加者発話を重要参加者発話文として出力する。

2 つの重要参加者発話文を入力として、手紙本文生成は直前のロボット発話文を発話ログから抽出し、発話ペアを 2 組作成する。最後に各ペアに対して“僕が [ロボット発話] と聞くと、[参加者発話] と話してくれました”のように、あらかじめ用意した手紙文テンプレートを割り当てることで文を生成する。テンプレート適用した 2 つの文章は対話の流れと近づけるため、抽出時の重要度順ではなく、対話ログ上の発話順序に基づき手紙本文に記載した。

5.2 顔画像抽出部

ケーススタディ 1 で用いたロボットカメラは、頭部を動かすジェスチャにより参加者を正面で撮影する数が少なく焦点の合わない画像も多かった。そこで手紙に用いる顔画像には正面撮影映像から抽出した画像を用いた。

手紙に適した顔写真は、正面を向き、解像度が高く、顔に焦点が合い、顔が明るく撮影されたものだと考えられる。そこで AWS Rekognition Video の顔認識を用いて 200 msec ごとに抽出された、顔方向の Yaw・Pitch・Roll の角度 (-45 度 \sim 45 度)、顔を囲む境界 Box の縦横ピクセル数、Brightness (0 \sim 100), Sharpness (0 \sim 100) の 7 つを正規化した合計値を評価値とし、評価値の最も高い顔画像を映像から切り出した。Yaw・Pitch・Roll 角は 0 度が正面であるため、認識アルゴリズム上の Yaw・Pitch・Roll の最大角度を θ_{max_y} , θ_{max_p} , θ_{max_r} , 各フレームの角度を θ_y , θ_p , θ_r としたとき $\theta_{max_y} - |\theta_y|$, $\theta_{max_p} - |\theta_p|$, $\theta_{max_r} - |\theta_r|$ を顔方向の評価値として用いた。

また手紙には顔画像に対するロボットのコメント文を記載した。コメント文は採用された顔フレームの表情値を AWS Rekognition Video で分析し、表情値に応じてあらかじめ用意したテンプレート文から選択する方法を用いた。

5.3 その他の手紙部分

宛名・差出人・手紙の書き出し・まとめ部分については、対話者名、性別、前回対話日、次回の対話日、回想テーマ、回想テーマの要旨、次回の回想テーマ、回想で用いた写真、ロボット名、ロボット写真を入力データとしてテンプレートを埋める方式で文章を作成した。次に文章生成の一例を示す。“[回想テーマの要旨] について話せて、とてもドキドキしました。次回の [次回の対話日の曜日] に行くときには、[次回の回想テーマ] について話を聞かせてくださいね。”

6. ケーススタディ 2

提案した手紙生成システムにおける発話重要度計算アルゴリズムが、関係性構築・維持にどのような影響を与えるか調査するためケーススタディを実施した。

6.1 実施手順

提案アルゴリズムで作成される本文を含んだ手紙を渡すアルゴリズム有条件 (有条件) と、本文のみ取り除いた手紙を渡すアルゴリズム無条件 (無条件) の参加者間比較を行った。無条件で用いた手紙例を図 8 に示す。参加者には 3 章と同様にリハビリテーション施設を利用する高齢者 8 人 (男性 4 人, 女性 4 人) が採用され、全員がロボットとの対話の未経験者であった。

3 章と同様に、参加者を年齢・性別が可能な限り同条件となるようグループ分けを行った。有条件は男性 2 人・女

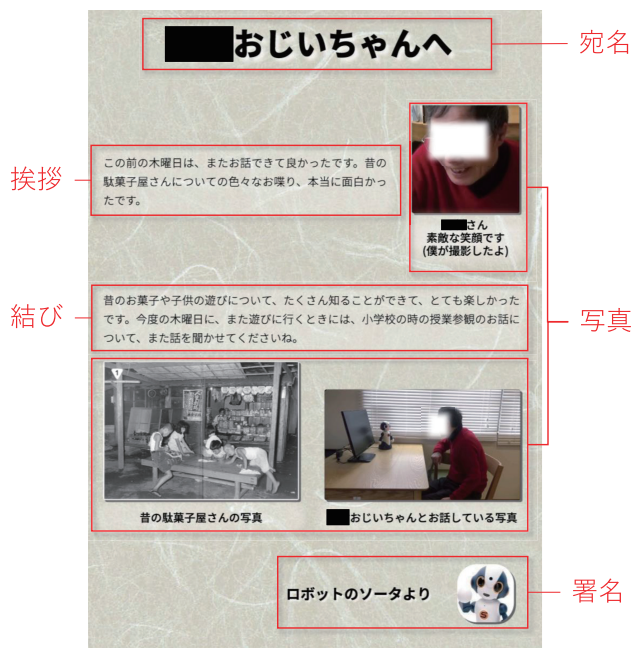


図 8 アルゴリズム無条件で用いられた手紙例

Fig. 8 Letter example of without algorithm condition.

族がたくさんいるからあれだけ」と回答していたが、2回目の対話後に手紙の印象について尋ねると「話したことを凄く上手に文章に書いてくれて凄く感動しました。〔手紙内容が〕もっとこうあれしているのかなと思っていただけ。思った以上に書いてくれていて」と述べ、アルゴリズムを用いた本文への好意的評価と、手紙によりロボットへの印象が変わったことが確認された。また最終日の同様の質問「ロボットに親しみなどの印象を持つことはありましたか?」には「親しみを感じました。私もロボットが欲しいなあと思いました」と述べ、「また機会があれば話したいと思いますか?」の質問には「そりゃ欲しいなあと思うくらいだもん」と回答しており、ロボットと良い関係性が構築・維持され、その一因に手紙の影響があることが確認された。また ID2 (有条件) は 1 通目の手紙の印象について「手紙の内容は良く描いているなど思った。とっても印象深かったシーンがあって、振り返りの部分とか見るとそれを話したところが書いてあって」と手紙本文を好意的にとらえていた。また最終日には「手紙を頂いて、私、ちゃんとファイル帳のような透明のビニールの奴に入れてやって、ちゃんととっておいているんです。今度、友人にも見せてあげましょうかと思って」と回答しており、手紙を大切にすることも確認された。ID4 (有条件) も手紙について「小学校時代の遊びのことをお話させていただいたと思うんですけども。そういうことが書いてありましたんで、思い出しまして、非常に懐かしく感じました」と好意的に評価しており、インタビュー中に数分間も手紙本文に記載されていた内容を話すなど、手紙が会話のきっかけとなる様子も確認された。

一方で、無条件では手紙の内容が印象に残らないと回答する参加者が多く確認された。最終日に ID5 (無条件) は手紙の印象を問う質問に対し「〔8 秒程度考え〕思っていたぐらいには良いように感じました。特に、内容についてという、今は思い出せないのですが」と好意的には評価しているが、内容が印象に残らなかったと回答している。また同様に最終日手紙の印象を問う質問に ID7 (無条件) は「ロボットから好ましいってことが書いてあったけれど、ちょっと印象に残ることという、思い返してみているんですけど、あまり思い出せないですね」と述べ、ID6 (無条件) も「読むことは読んだけど、正直、まあこんなもんかなあと思ったくらいで。特に記憶に残っているものはないです」と回答しており、本文のない手紙は内容が印象に残りにくいと考えられる。

また全参加者のうち、ID8 (無条件) は関係性の構築・維持に失敗した様子が観察された。ID8 は初回対話後にロボットの印象について「会話について楽しむことができたか」という。まあ初めてですけど、まあ分からない部分もありましたけれど、全般的に面白い部分もありましたね」と一部好意的な回答をしていた。また手紙の印象につ

性 2 人の平均 71 歳 (SD: 4.36)、無条件では男性 2 人・女性 2 人の平均 73.3 歳 (SD: 8.30) となった。

ケーススタディ 2 も 3 章と同様に、計 4 回の会話と手紙配布を隔週で交互に行うことが予定された。しかし期間中、3 人 (有条件 2 人、無条件 1 人) については体調不良で参加できない週が生じたため、当該の参加者は 2 週間の実験休止期間を途中で挟み、全 4 回の会話と手紙提示を実施した。

またロボット・対話システム・対話テーマについてもケーススタディ 1 と同じものが用いられた。ケーススタディ 2 では、ロボットと参加者の各回の平均対話時間が 485 秒であり、最も短い 2 回目で各参加者の平均が 457 秒、最も長い 4 回目で 533 秒であった。各参加者の発話回数については、各回の平均が 46.4 回で、最も少ない 2 回目が 41.8 回、最も多い 4 回目が 50.5 回であった。

ロボットとの各対話後、3 章で示した 9 つの単項目評価と GodSpeed 質問紙による評価を行った。また各対話後に参加者へロボットと手紙の印象についてインタビューを実施した。さらにケーススタディ 2 の最後には施設職員に対してもインタビューを行った。

6.2 インタビュー結果

インタビューを通じて、有条件では手紙を良く評価する発言や、手紙が関係性の構築・維持に良い影響を与えた様子が確認された。参加者 ID1 (有条件) は、手紙を受けとる前のインタビューで「ロボットに親しみなどの印象を持ったか?」という質問に「親しみねえ。〔5 秒程度の間〕。一人暮らしの人だったらきっと凄い役に立つと思う。私は家

いては、1 通目に対し「印象といわれてもよく分からないね。手紙はあんまり面白いものではなかったね」、2 通目には「手紙は1 度は目を通したけれども、うーん。何が書いてあったかとか聞かれても、あまり分かんないね」と非好意的な回答を返していた。また4 通目の手紙は渡された直後に一瞥もせずしまっており、総じて手紙への好意は低い様子うかがえた。またID8 はロボットに対しても、初回はQ2 に対し6 の評価をしていたが、3 回目・4 回目は3 と2 の低評価をつけており、最終日のロボットの印象についても「会話は楽しいって感じではないね。僕はもう年だし、昔のことを話すのも大変なんだよ」と低い評価をしていた。

また両条件に関係なく、手紙の次回の対話テーマの記載があることを良く評価する回答が4 人の参加者から言及された。たとえばID3 (有条件) は「手紙でいうと、あとは次に何を聞かかってということが書いてあったけど、そういうのは次回準備のためにすごい参考になった」と回答している。過去を思い出す話題は高齢者に多くの認知負荷を与えるため [40]、急な質問には高齢者が回答できない場合が生じる。実際にID1・ID3・ID5 はうまく回答できなかったことをロボットに謝罪する発言をしていた。そのため回想法の場合には、手紙に次回対話の準備のための内容を記載することが、ロボット利用の心理的ハードルを下げ、継続利用のため重要と考えられる。

有条件の手紙で改善が望まれる事例として、ID2 (有条件) は3 回目のインタビューで「絵の宿題でズルをして先生に見つかった話は、手紙から、ちょっとあの省かれちゃっていましたが」と回答しており、参加者が印象深く感じていた対話が手紙から抜けていたことを指摘する発言が確認された。ID2 が指摘した発言は、提案アルゴリズムによって全52 発話中4 番目のスコア (0.81) が付けられており、比較的高い重要度を持つ発話としてシステム上で認識されていた。しかしながら、今回の手紙生成システムでは上位2 発話のみが本文に掲載されるため、重要度の高い対話であっても手紙内に記載されないケースが考えられる。そのため手紙本文に記載する重要対話の数を一定にするのではなく、重要度の値や分布に従って適切に変更していくことが望ましいと考えられる。

最後に施設職員へのインタビューでは、手紙の本文が高齢者との会話のきっかけとなるという意見があげられた。施設ではリハビリの1 つとして、担当者が複数の高齢者 (10~15 人) に対して15 分程度の回想法を実施している。同職員からはロボットが1 対1 で話すほうが、より深く幼少期の話へ踏み込んでいるため、手紙本文が高齢者との話題を広げること役に立つと回答していた。そのため提案アルゴリズムは副次的な効果として、高齢者との重要な会話を可視化し、第三者と高齢者の会話を活性化する効果も期待できると考えられる。

6.3 アンケート結果

ケーススタディ2 の各対話後の単項目アンケート結果について、各条件の平均値を図9 に示す。アンケートの結果、Q1 の評価は (初回, ..., 4 回目) の順に、無条件の平均値が (6.25, 5.75, 5.00, 4.75) で SE が (0.25, 0.48, 0.41, 0.48)、有条件の平均は (6.00, 6.25, 6.00, 6.25) で SE は (0.41, 0.48, 0.41, 0.25) であった。またQ2 の評価では無条件の平均が (6.50, 5.75, 4.75, 4.25) で SE が (0.50, 0.48, 0.63, 0.75) であり、有条件の平均が (5.50, 6.25, 6.50, 6.50) で SE が (0.65, 0.25, 0.29, 0.29) であった。Q1, Q2 の結果では無条件では対話回を経過するごとに平均値が低下しているが、有条件ではQ1 において6.00 から6.25 の間で平均値は維持され、Q2 において1 回目から3 回目まで値が増加し4 回目では値が維持されていた。

Q3 では無条件の平均が (5.75, 5.50, 5.00, 5.25) で SE が (0.25, 0.29, 0.41, 0.48) であり、有条件では平均 (5.50, 6.00, 5.75, 5.75) で SE が (0.29, 0.41, 0.25, 0.25) であった。Q4 は、無条件の平均が (5.50, 5.75, 5.25, 5.25) で SE が (0.50, 0.48, 0.63, 0.48) であり、有条件では平均 (4.75, 5.50, 5.50, 5.25) で SE が (0.49, 0.29, 0.50, 0.48) であった。Q3・Q4 の結果においては、両条件ともに平均値が初日から最終日まで増加・減少の両方を含んで推移する結果となった。

次にQ5 では無条件の平均が (5.75, 5.75, 5.75, 5.50) で SE が (0.63, 0.48, 0.63, 0.87)、有条件では平均 (5.75, 6.25, 6.00, 6.00) で SE が (0.48, 0.25, 0.00, 0.71) であった。またQ6 では無条件の平均が (5.00, 5.75, 5.50, 5.50) で SE が (0.41, 0.48, 0.50, 0.50)、有条件が平均 (5.25, 5.75, 5.75, 5.75) で SE が (0.25, 0.48, 0.63, 0.25) であり、Q7 は無条件の平均が (6.50, 6.00, 6.00, 5.75) で SE が (0.29, 0.41, 0.71, 0.63)、有条件が平均 (6.50, 6.25, 6.50, 6.25) で SE が (0.29, 0.25, 0.29, 0.25) であった。

Q8 の評価は、無条件の平均が (6.00, 6.50, 6.25, 6.50) で SE が (0.41, 0.29, 0.75, 0.50)、有条件が平均 (6.50, 6.50, 6.50, 6.50) で SE が (0.50, 0.29, 0.29, 0.29) であった。

最後にQ9 の評価は無条件の平均が (6.50, 6.00, 5.00, 5.00) で SE が (0.29, 0.41, 0.71, 0.71) であり、有条件が平均 (6.50, 6.50, 6.50, 6.25) で SE が (0.50, 0.29, 0.29, 0.25) であった。Q9 は無条件において3 回目以降に平均値が下落しているのに対し、有条件では4 回目まで平均6.25 以上の高い平均値で横ばいで推移する結果となった。

GodSpeed 質問紙による評価結果を図10 に示す。擬人性は無条件の平均値が (4.08, 4.08, 3.92, 4.00) で SE が (0.15, 0.15, 0.19, 0.21)、有条件の平均は (4.00, 3.92, 4.08, 4.17) で SE は (0.17, 0.19, 0.19, 0.11) であった。有生性は無条件の平均が (4.13, 4.25, 4.00, 4.13)

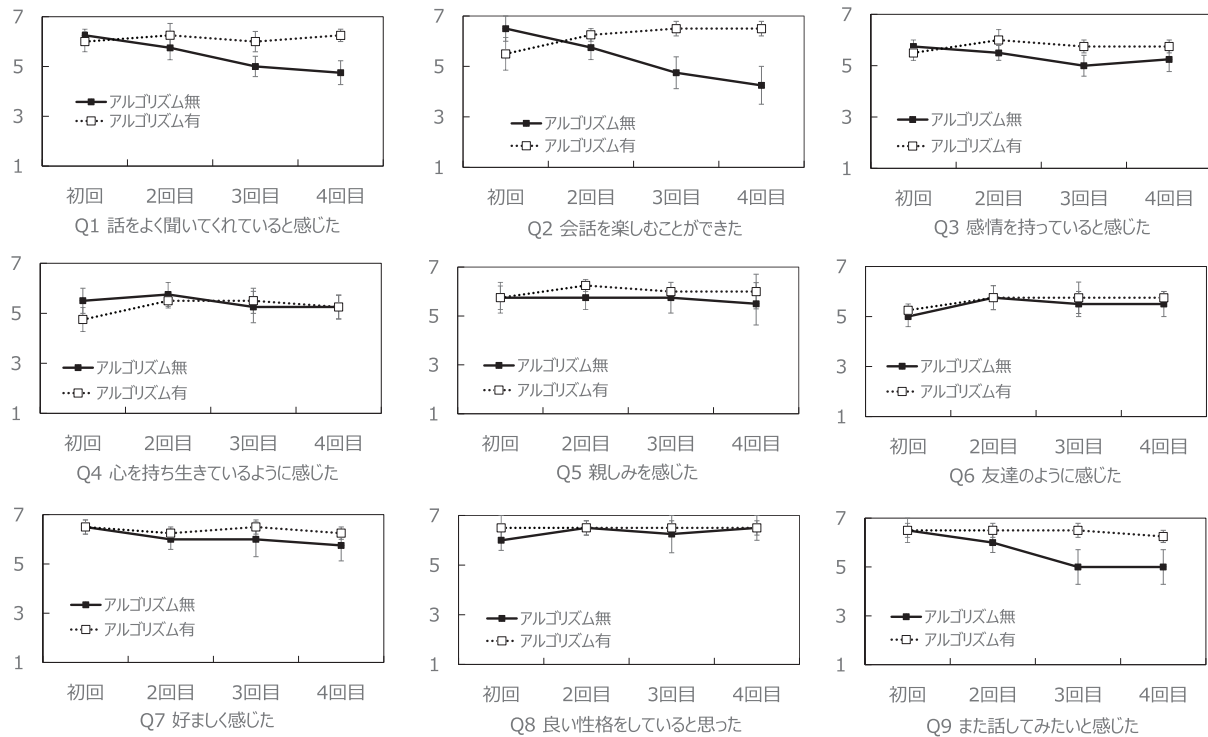


図 9 ケーススタディ 2 における単項目アンケート結果
 Fig. 9 Single-item questionnaire results of the case study.

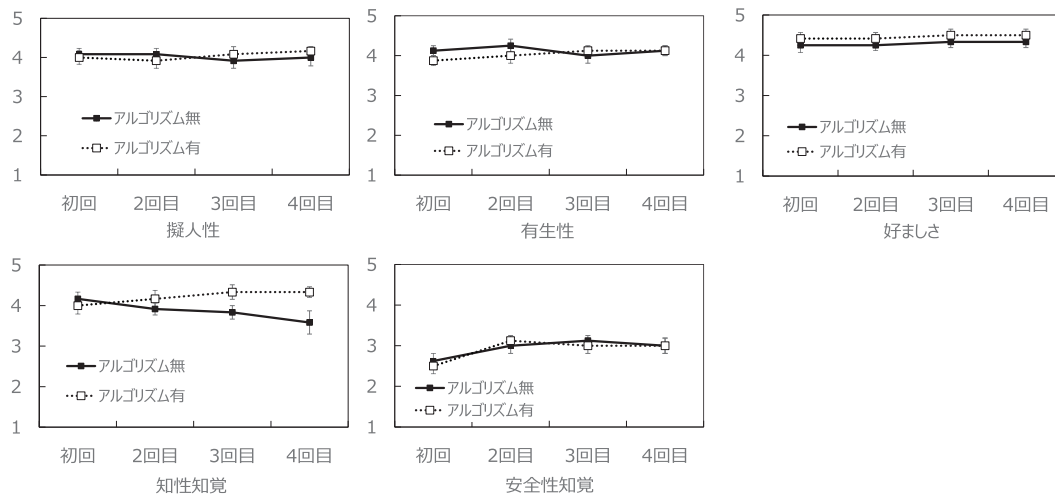


図 10 ケーススタディ 2 における Godspeed 質問紙による評価結果
 Fig. 10 Godspeed questionnaire results of case study 2.

で SE が (0.13, 0.16, 0.19, 0.13), 有条件の平均は (3.88, 4.00, 4.13, 4.13) で SE が (0.13, 0.19, 0.13, 0.13) であった。

好ましさでは、無条件の平均が (4.25, 4.25, 4.33, 4.33) で SE が (0.18, 0.13, 0.14, 0.14) であり、有条件の平均が (4.42, 4.42, 4.50, 4.50) で SE は (0.15, 0.15, 0.14, 0.15) であり、知性知覚では無条件の平均が (4.17, 3.92, 3.83, 3.58) で SE が (0.17, 0.15, 0.17, 0.29), 有条件の平均値は (4.00, 4.17, 4.33, 4.33) で SE は (0.21, 0.21, 0.18, 0.13) であった。知性知覚は無条件の評価が対話回数を重ねるごとに平均値が下がっているのに対し、有条件の平均値は

3回目まで平均値が増加しており、3回目から4回目は同じ値で維持されていた。

安全性知覚では無条件の平均が (2.63, 3.00, 3.13, 3.00) で SE が (0.18, 0.19, 0.13, 0.19), 有条件の平均が (2.50, 3.13, 3.00, 3.00) で SE は (0.19, 0.13, 0.19, 0.19) であった。安全性知覚は両条件ともに1回目から2回目で平均値が多少増加するが、その後は最終日まで3.00から3.13の間で平均値は横ばいであった。

6.4 ケーススタディ 2 における両結果に対する考察

有条件の手紙には、提案アルゴリズムで抽出した重要度

の高い対話が手紙本文として記載されている。そのため有条件では、ロボットが対話を記憶し、対話内容を記載する知的能力を持つことを、手紙本文を通じて参加者に暗に示すことができる。インタビューでも、ID1 (有条件) は「話したことを凄く上手に文章に書いてくれて凄い感動した」、ID2 (有条件) は「手紙の内容は良く書いていたと思ったー(中略)ーそれを話した所が書いてあって」、ID4 (有条件) は「小学校時代の遊びのことをお話させていただいたと思うんですけども、そういうことが書いてありましたんでー」と述べており、有条件の4人中3人が、自身の発話が手紙に記載されたことに気づく様子が確認されている。さらに「凄く上手に書いてくれて (ID1)」「良く書いている (ID2)」といった、手紙を読んでロボットの能力を評価していることがうかがえる発言も、4人中2人より確認されている。

一方で、無条件では、参加者とロボットの個別の会話内容が記載される手紙本文が除かれている。そのため無条件の手紙には、会話に取り上げた参加者共通の対話テーマは記載されているが、各参加者の個人的な発話内容は記載されていない。また無条件では、全参加者がインタビューにおいて「手紙は印象に残らなかった」という趣旨の言及をしている。したがって無条件の手紙は、ロボットが対話を記憶し、対話内容を記載する知的能力を持つことを示す機能が弱いと考えられる。そのため無条件の参加者は、手紙を通じて、ロボットが話を聞いて手紙にまとめる知的能力を持つことを感じにくく、有条件よりもロボットは知的な存在でないにとらえていた可能性がある。

また単項目アンケートのQ1 (話をよく聞いてくれたと感じた) や、Godspeed 質問紙の知性知覚の項目では、有条件は回数を重ねても平均値が維持されているが、第三者レポート条件では回数が増えるごとに平均値が減少している。上記の結果は統計的有意差はないため、アンケート結果をもって一般化した結論を導くことはできない。しかしながらアンケート結果は、有条件の参加者は、ロボットは対話を聞いてくれ手紙にまとめる高い知的能力を持つと感じていたというインタビュー事例を、補足するものと考えられる。

また対話ロボットの場合、参加者に対話相手として認められることが、ロボットとの対話を楽しいと感じさせるために必要な要素の1つと考えられる。従来研究でも、ロボットが対話相手として認識されなかった場合、人は同じ音情報を聞いても、発話内容の意味を理解できなくなることが報告されている [46]。そのため ID1 の事例で顕著に確認されたように、有条件は、手紙を通じてロボットが対話相手として十分な知的能力を持つことを印象づけることで、参加者とロボットの良い関係性を構築・維持しやすい可能性がある。Q2 (会話を楽しむことができた) の結果でも、有条件が対話回数を重ねても参加者の平均値が上昇・

維持されているのに対し、無条件では参加者の平均値が回数を重ねるごとに減少している。また Q9 (また話してみたいと感じた) の項目では、有条件は参加者の平均値が回数を重ねても高い値で維持されているが、無し条件では2回目、3回目と値が減少している。Q2, Q9 の双方とも統計的有意を示すものではないが、ロボットが参加者の楽しい対話相手としての関係性を構築・維持することに、本文を持つ有条件の手紙が貢献する可能性を補足する結果とみることができる。

7. 両ケーススタディを通じた考察

本論文では、非同期コミュニケーションとして手紙を渡すことが高齢者とロボットとの関係性に与える影響を調査するため、2つのケーススタディを行った。

ケーススタディ1ではロボットからの手紙であることが明記されているロボット手紙条件と、第三者視点の記載としてデザインされた第三者レポート条件で調査を行った。調査の結果、ロボットからの手紙によって、参加者は対話を重ねた後も、ロボットが知的な存在と感じる事例が確認された。また手紙を渡した参加者は、対話回数を重ねた後も、ロボットとの関係性を維持したいと感じるようになる事例が確認された。さらに統計的有意を示すものではないが、アンケートにおいても両事例を補足する結果が確認された。

一方、ケーススタディ2では両条件ともロボットの手紙であることが明示されているが、高齢者との対話の重要部分が手紙本文として記載されている有条件と、手紙本文のみを取り除いた無条件で調査を行った。ケーススタディ2では、手紙本文を読むことで、ロボットが知的な存在という印象を持ち、4回の対話後も印象が維持される事例がインタビューを通じて確認された。また手紙を通じて知的な印象を持つことで、参加者がロボットとの対話を楽しく感じ、ロボットとの関係を維持したいと感じる事例が得られた。ケーススタディ2についても、統計的有意を示すものではないが、アンケートにおいて両事例を補足する結果が確認された。

ケーススタディ1のロボット手紙条件と、ケーススタディ2の有条件では、どちらもロボットが作成したものとして参加者に手紙が渡されている。また両条件の手紙は「本文」が人手で作成されているか、提案アルゴリズムで作成されているかの違いであり、手紙の「本文」の内容は同様のものである。その両ケーススタディから同様の推察が得られたことから、対話内容が記載された手紙の「本文」をロボットが作成したものとして人に渡すことが、人とロボットとの関係性構築・維持にポジティブに働くのではないかと考えられる。ケーススタディ1のインタビューにおいても、ID5・ID6はロボットが「自分の話したことを聞いて手紙にまとめたこと」を評価しており、ロボット手紙条

件のなかでも、対話内容が記載された「本文」が、ロボットの知性を参加者に感じさせ、人とロボットとの関係性構築・維持に寄与していた可能性は高いと考えられる。

2つのケーススタディを通じて得た結果のまとめとして、我々は次の仮説形成を行った。

本調査を通じて形成された仮説

高齢者と対話をするロボットにおいて、対話内容を文章にまとめ、ロボットが作成したことを明示して、手紙などの非同期コミュニケーションとして提示することは、高齢者がロボットを知的な対象としてとらえ、対話を楽しく感じ、対話相手としてロボットを利用し続けたいというポジティブな関係性構築・維持に寄与する。

本仮説で重要な点は、高齢者に提示する非同期コミュニケーションが、高齢者にとってロボットが知的と感じる内容を含むことである。ケーススタディ2の無条件の事例で確認されたように、ロボットが対話内容を記載した部分が取り除かれた手紙では、手紙がロボットと良好な関係性を構築・維持する効果を失う可能性がある。本研究で示した発話重要度の計算アルゴリズムは、手紙を通じてロボットが知的と感じる内容を生成するうえで、有用な一手法となると考えられる。

8. リミテーション

本研究は多人数実験による統計的な結論を出すのではなく、少数の被験者を一定期間にわたって追うケーススタディにより効果の時間的変遷事例を取得し、傾向を確認することに焦点をあてている。そのため本研究を通じて形成された仮説の検証には、参加者を増やし統計的調査を行う、今後類似する研究結果との整合性を確認するなどが必要となる。

次に本研究では、2週間に1度の対話頻度において、1回あたり7分から8分の対話時間という条件で調査を行った。本条件は、病院やリハビリ施設といった利用者が定期的に通うような施設において、利用者がロボットと会話する場合は、現実的な想定と考えている。しかしながらロボットと高齢者が一緒に生活して日常的に会話する場合においては、対話頻度や対話時間が大きく変わるため、本調査を通じて得られた仮説があてはまらない可能性がある。また2週間ごとに1回の対話を計4回実施するという本調査の期間は、長期関係性を評価するうえで他の類似研究と比べても最小限 [28] であり、数カ月・数年といったより長期の場合においても、本調査と同様の傾向が確認されるかについては、さらなる調査が必要となる。

2つ目に提案アルゴリズムでは、回想法で高齢者が過去の会話をするとき表情や対話速度が変化することがモデルに反映されている。そのため回想法以外に使用する場合、改めて特徴量選定やパラメータ設定が必要と考えられる。

最後に本研究で扱う非同期コミュニケーションは、ロ

ボットから高齢者への1方向の情報伝達である。本研究の対話データを用いた手紙作成の考え方は、手紙に限らずメールやSNSなど他の非同期コミュニケーションにおいても、1方向の情報伝達であれば適応できると考える。しかしながら双方向の非同期コミュニケーションをする場合、コミュニケーションの機会が増えてよりポジティブな影響を関係性へ与える可能性があれば、対面対話と同様に破綻が生じやすくなることで関係性へ悪影響を与える可能性も考えられる。そのため本論文の議論内容を双方向の非同期コミュニケーションへ拡張するには、その設計・デザインについてさらなる研究・調査が必要である。

9. 結論

本論文は対話ロボットが、対話に基づく手紙による非同期コミュニケーションを行うことで、高齢者との関係性構築・維持に与える影響について、少数の被験者を一定期間にわたって追うケーススタディを通じて、人に与える効果の時間的変遷事例を取得した。1つ目のケーススタディでは、ロボットによる作成が明示され自己開示が含まれた手紙を渡すロボット手紙条件と、第三者の視点で類似の内容を整理した紙を渡す第三者レポート条件を比較した。また我々は次に、1つ目のケーススタディを学習データとして、対話行為タグ・エンティティ数・発話文字数・発話時間・表情をもとに発話重要度を計算するアルゴリズムを提案し、同アルゴリズムを用いた手紙生成システムについて述べた。最後に、提案アルゴリズムが人とロボットとの関係性に及ぼす影響を調査するため、提案アルゴリズムを用いて生成した手紙を渡す条件と、提案アルゴリズムで生成した本文のみ除いた手紙を渡す条件を用いた2つ目のケーススタディを実施した。本研究では両ケーススタディを通じて、ロボットの作成を明示し、対話内容を整理して記載した手紙を提示することは、高齢者がロボットのことを知的で、対話を楽しく、利用し続けたいというポジティブな関係性構築・維持に寄与することを仮説として導いた。また発話重要度の計算アルゴリズムは、手紙を通じてロボットに知的な印象を与えるための有用な一手法になりうることを、調査を通じて述べた。

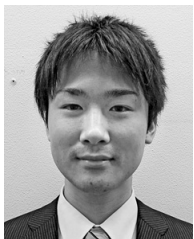
本研究の1つの貢献は、対話ロボットが利用者と良い関係性を構築・維持するために、手紙のような非同期コミュニケーションを利用することが有用な可能性を2つの一定期間を通じたケーススタディで示したことである。また、もう1つの貢献は高齢者との回想法における発話重要度の計算アルゴリズムを提案し、同アルゴリズムを用いた手紙の自動生成システムを提案したことである。我々は本研究成果が、多くの対話ロボットにとって、人と良い関係を長期にわたり維持し社会的存在となるための一助となると信じる。

参考文献

- [1] 厚生労働省：認知症施策推進総合戦略 (2015).
- [2] Butler, R.N.: The life review: An interpretation of reminiscence in the aged, *Psychiatry*, Vol.26, No.1, pp.65-76 (1963).
- [3] 黒川由紀子：回想法—高齢者の心理療法, 誠信書房 (2005).
- [4] 志村ゆず, 鈴木正典, 伊波和恵, 下垣 光, 下山久之, 萩原裕子：写真でみせる回想法, 弘文堂 (2004).
- [5] 下岡和也, 徳久良子, 吉村貴克, 星野博之, 渡部生聖：音声対話ロボットのための傾聴システムの開発, *自然言語処理*, Vol.24, No.1, pp.3-47 (2017).
- [6] 入部百合絵, 北岡教英：音声認識にむけた超高齢者音声のコーパス構築, *日本音響学会誌*, Vol.73, No.5, pp.303-310 (2017).
- [7] Yamaguchi, K., Nergui, M. and Otake, M.: A Robot Presenting Reproduced Stories among Older Adults in Group Conversation, *Applied Mechanics and Materials*, Vol.541-542, pp.1120-1126 (2014).
- [8] 中村敏昭, 佐々木直美, 柿木昇治, 森川千鶴子：高齢者集団療法における回想法の試み, *集団精神療法*, Vol.14, No.2, pp.177-182 (1998).
- [9] Goldwasser, A.N., Auerbach, S.M. and Harkins, S.W.: Cognitive, affective, and behavioral effects of reminiscence group therapy on demented elderly, *The International Journal of Aging and Human Development*, Vol.25, No.3, pp.209-222 (1987).
- [10] Gockley, R., Bruce, A., Forlizzi, J., Michalowski, M., Mundell, A., Rosenthal, S., Sellner, B., Simmons, R., Snipes, K., Schultz, A.C., et al.: Designing robots for long-term social interaction, *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.1338-1343, IEEE (2005).
- [11] Kanda, T., Hirano, T., Eaton, D. and Ishiguro, H.: Interactive Robots as Social Partners and Peer Tutors for Children: A Field Trial, *Human Computer Interaction*, Vol.19, pp.61-84 (2004).
- [12] Salter, T., Dautenhahn, K. and Bockhorst, R.: Robots moving out of the laboratory—detecting interaction levels and human contact in noisy school environments, *International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, pp.563-568, IEEE (2004).
- [13] 宮下善太, 神田崇行, 塩見昌裕, 石黒 浩, 萩田紀博：来客と顔見知りになる案内ロボット, *インタラクティブ* (2008).
- [14] Sabelli, A.M., Kanda, T. and Hagita, N.: A conversational robot in an elderly care center: An ethnographic study, *International Conference on Human-Robot Interaction*, pp.37-44, ACM/IEEE (2011).
- [15] 下川原英理, 篠田遥子, 李 海妍, 高谷智哉, 和田一義, 山口 亨：高齢者と音声対話ロボットの雑談履歴の解析, *日本ロボット学会誌*, Vol.34, No.5, pp.309-315 (2016).
- [16] 小寺敦之：対人関係の親疎とコミュニケーションメディアの選択に関する研究, *情報通信学会誌*, Vol.29, No.3, pp.13-23 (2011).
- [17] John Short, E.W. and Christie, B.: *The Social Psychology of Telecommunications*, John Wiley & Sons (1976).
- [18] Rutter, D.R.: *Looking and seeing: The role of visual communication in social interaction*, John Wiley & Sons (1984).
- [19] Sproull, L. and Kiesler, S.: Reducing Social Context Cues: Electronic Mail in Organizational Communication, *Management Science*, Vol.32, No.11, pp.1492-1512 (1986).
- [20] Culnan, M. and Markus, M.: *Handbook of Organizational Communication: An Interdisciplinary Perspective* (1987).
- [21] McCormick, N.B. and McCormick, J.W.: Computer friends and foes: Content of undergraduates' electronic mail, *Computers in Human Behavior*, Vol.8, No.4, pp.379-405 (1992).
- [22] Feldman, M.S.: Electronic Mail and Weak Ties in Organizations, *Office Technology and People—Computer-Supported Cooperative Work*, Vol.3, No.2, pp.83-101 (1987).
- [23] Wilkins, H.: Computer Talk: Long-Distance Conversations by Computer, *Written Communication*, Vol.8, No.1, pp.56-78 (1991).
- [24] O'Sullivan, P.B.: What You Don't Know Won't Hurt Me: Impression Management Functions of Communication Channels in Relationships, *Human Communication Research*, Vol.26, No.3, pp.403-431 (2000).
- [25] Walther, J., Slovacek, C. and Tidwell, L.: Is a picture worth a thousand words? Photographic images in long-term and short-term computer-mediated communication, *Communication Research*, Vol.28, pp.105-134 (2001).
- [26] 杉谷陽子：メールはなぜ「話しやすい」のか？：CMC (Computer-Mediated Communication) における自己呈示効力感の上昇, *社会心理学研究*, Vol.22, No.3, pp.234-244 (2007).
- [27] Walter, J.B.: Computer-Mediated Communication: Impersonal, Interpersonal, and Hyperpersonal Interaction, *Communication Research*, Vol.23, No.1, pp.3-43 (1996).
- [28] Leite, I., Martinho, C. and Paiva, A.: Social robots for long-term interaction: A survey, *International Journal of Social Robotics*, Vol.5, No.2, pp.291-308 (2013).
- [29] 柴田崇徳：アザラシ型ロボット・パロと人との相互作用に関する研究, *日本ロボット学会誌*, Vol.29, No.1, pp.31-34 (2011).
- [30] Turkle, S., Taggart, W., Kidd, C.D. and Dasté, O.: Relational artifacts with children and elders: The complexities of cybercompanionship, *Connection Science*, Vol.18, No.4, pp.347-361 (2006).
- [31] Giusti, L. and Marti, P.: Interpretative dynamics in human robot interaction, *International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp.111-116, IEEE (2006).
- [32] de Graaf, M.M.A., Allouch, S.B. and Van Dijk, J.A.: Long-term evaluation of a social Robot in Real Homes, *Interaction Studies*, Vol.17, No.3, pp.461-490 (2016).
- [33] Kanda, T., Sato, R., Saiwaki, N. and Ishiguro, H.: A two-month field trial in an elementary school for long-term human-robot interaction, *IEEE Trans. Robotics*, Vol.23, No.5, pp.962-971 (2007).
- [34] Huang, C.-M., Iio, T., Satake, S. and Kanda, T.: Modeling and Controlling Friendliness for An Interactive Museum Robot., *Robotics: Science and Systems* (2014).
- [35] Koay, K.L., Syrdal, D.S., Walters, M.L. and Dautenhahn, K.: Living with robots: Investigating the habituation effect in participants' preferences during a longitudinal human-robot interaction study, *International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp.564-569, IEEE (2007).
- [36] 塩見昌裕, 中田 彩, 神原誠之, 萩田紀博：ロボットとの身体的接触は自己開示を促すか, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol.JSAI2017 (2017).
- [37] Moon, Y.: Intimate exchanges: Using computers to elicit self-disclosure from consumers, *Journal of Consumer Research*, Vol.26, No.4, pp.323-339 (2000).
- [38] Jimenez, F., Yoshikawa, T., Furuhashi, T. and Kanoh,

M.: Effects of a Novel Sympathy-Expression Method on Collaborative Learning Among Junior High School Students and Robots, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.30, No.2, pp.282-291 (2018).

- [39] Schroder, M., Bevacqua, E., Cowie, R., Eyben, F., Gunes, H., Heylen, D., Ter Maat, M., McKeown, G., Pammi, S., Pantic, M., et al.: Building autonomous sensitive artificial listeners, *IEEE Trans. Affective Computing*, Vol.3, No.2, pp.165-183 (2012).
- [40] 松元崇裕, 後藤充裕, 石井 亮, 渡部智樹, 山田智広, 今井倫太: 複数ロボットとの位置関係がユーザの対話負荷に与える影響, 情報処理学会論文誌, Vol.60, No.2, pp.340-353 (2019).
- [41] Bartneck, C., Croft, E. and Kulic, D.: Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots, *International Journal of Social Robotics*, Vol.1, No.1, pp.71-81 (2009).
- [42] Sloetjes, H. and Wittenburg, P.: Annotation by category-ELAN and ISO DCR, *6th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2008)* (2008).
- [43] Core, M.G. and Allen, J.F.: Coding Dialogs with the DAMSL Annotation Scheme, *AAAI Fall Symposium on Communicative Action in Humans and Machines*, pp.28-35 (1997).
- [44] Meguro, T., Higashinaka, R., Minami, Y. and Dohsaka, K.: Controlling Listening-oriented Dialogue using Partially Observable Markov Decision Processes, *Proc. 23rd International Conference on Computational Linguistics, COLING*, pp.761-769 (2010).
- [45] アレックス, サンディ, ペントランド, 柴田裕之, 安西祐一郎: 正直シグナル: 非言語コミュニケーションの科学, みすず書房 (2013).
- [46] 小野哲雄, 今井倫太, 江谷為之, 中津良平: ヒューマンロボットインタラクションにおける関係性の創出, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.1, pp.158-166 (2000).



松元 崇裕

2012年慶應義塾大学大学院情報工学専攻修士課程修了, 同年日本電信電話株式会社入社, 2016年慶應義塾大学大学院後期博士課程入学, ヒューマンロボットインタラクション技術の研究開発に従事。現在, 同大学院後期博士

課程学生。



松村 成宗

2004年九州工業大学大学院情報工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。主に, デバイス連携技術, ヒューマンロボットインタラクション技術の研究開発に従事。現在, NTT サービスエボリューション研究

所主任研究員。



渡部 智樹 (正会員)

1992年横浜国立大学工学部卒業。同年日本電信電話株式会社入社。主に, 家電制御技術, 生体状態計測・推定技術の研究開発に従事。現在, NTT サービスエボリューション研究所主任研究員。博士(工学)。電子情報通信学会

会員。



今井 倫太 (正会員)

1992年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1994年同大学大学院計算機科学専攻修士課程修了。同年NTTヒューマンインタフェース研究所入社。1997年ATR 知能映像通信研究所へ出向。2002年慶應大学大学院理工

学研究科後期博士課程修了。博士(工学)。2009~2010年シカゴ大学客員研究員。現在, 慶應大学理工学部情報工学科教授およびATR 知能ロボティクス研究所研客員研究員。2017年ドコモモバイルサイエンス賞社会科学部門優秀賞受賞。人型ロボットや自律エージェントと人とのインタラクションの研究に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会, 日本認知科学会, 日本ロボット学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM, IEEE 各会員。