

家庭教育における近接操作型半自律ロボットを用いた 親子間対話の促進

Semi-Autonomous Para-Operated Robot in Home Education for Enhancing Parent-Child Interaction

呉 穎毅^{1*} † 窪田 智徳^{1†} 岩崎 雅矢² 佐藤 理史¹ 小川 浩平¹
Eiki Go¹ Tomonori Kubota¹ Masaya Iwasaki² Satoshi Sato¹ Kohei Ogawa¹

¹ 名古屋大学大学院工学研究科

² 大阪大学大学院基礎工学研究科

¹ Graduate School of Engineering, Nagoya University ² Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Abstract: 人間の操作とロボットの自律性が協調する半自律型対話ロボットは、操作者と対話者との関係性を強化できる可能性が示されている。一方、操作が不要な完全自律型の方がタスク遂行において効率的と考えられるが、操作者の関与が薄れてタスクへのモチベーションが低下する懸念もある。本研究では、親子間の家庭教育を支援するロボットにおいて、母親が一部操作する半自律型を用いる方が、完全自律型よりも親子の対話を促進できることを示した。

1 序論

人と対話できるソーシャルロボットの研究や社会での応用が行われるなかで [1], 子どもの学校教育や家庭学習に用いられる教育ロボットの有効性が示されている [2]. 例えば, 子どもがロボットと勉強することで, 単語の暗記など反復学習における集中力が向上することを示した研究や [3], 子どもは学校に設置されたロボットと友好的な関係を築き, 友人のように接することができる可能性を明らかにした研究がある [4].

一方で, 子どもの教育にロボットを導入することの懸念も指摘されている. ロボットへの依存は人同士の関係性に悪影響を及ぼす可能性があり [5], 教育へのロボットの導入により親や教師の関与が減少し, 子どもとの関係性が希薄になることが危惧されている [6, 7]. 親は子どもの知識習得や社会的スキルの向上に重要な役割を果たし, 親の教育への積極的な関与が子どもの成績向上といった効果を生むことが過去の研究で確認されている [8, 9, 10]. 特に, 親子間の対話を通じた学習は, 子どもの学習意欲や理解度の向上に寄与することが示されており [11], 教育タスク中の親子の対話の促進は重要な課題である. 教育を支援するロボットには, 学習効果を高めながらも, 人同士のコミュニケーションを阻害せず, むしろ促進するような設計が求められる.

このような状況のなか, 過去の教育ロボット研究では子どもとロボットの対一対一関係性を扱ったものが中心だったが, 近年では親子とロボットの三者関係性に焦点を当てた研究も行われている [12, 13]. 過去の調査研究では, ロボットには子どもの学習指導の支援だけでなく, 親子の関係を深める役割も期待されていることが明らかになっている [6, 7]. よって家庭教育においては, ロボットは読み聞かせや計算問題の出題といった教育タスクを親子と共に進めながら, その過程で生まれる親子の対話を促進する機能をもつことが望まれる. しかし, 親子の家庭教育をサポートするロボットの具体的な設計に関する研究は未だ少なく, どのような機能が有効かについての知見は限られている.

我々は, 家庭教育において親子の対話を促進できるロボットの実現に向けて, 近接操作型半自律ロボットに着目した. 半自律ロボットとは, 人による操作とロボットの自律機能を組み合わせることで, 操作者の負担を軽減しながらタスクを遂行できるものである [14]. 完全自律ロボットを用いると, 親の操作負担は軽減できるものの, 子どもとロボットの間で教育タスクが完結してしまい, 親が見守るだけの存在になってしまう恐れがある. これに対して半自律ロボットでは, 親がロボットを部分的に操作することで, タスクにより積極的に関与でき, その過程で親子の対話が促進されると考える.

また近接操作とは, 操作者がロボットを傍で操作しながら対話相手と三者対話を行える形態である [15]. 例えば接客場面において, 店員がロボットを近接操作す

*連絡先: 名古屋大学大学院工学研究科
〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
E-mail: go.eiki.j1@s.mail.nagoya-u.ac.jp

†共同筆頭著者



図 1: 実験状況

ることで、客に直接伝えづらい内容をロボットに代弁させることや、ロボットが店員と客の関係構築に寄与できることが示されている [15]。さらに、ロボットの好意的な発話が操作者の印象を向上できることが明らかになっている [16]。これらの知見から、近接操作は教育タスク中の親子の対話の促進に有効な可能性が考えられる。

以上より、親子の家庭教育支援において、親が操作する近接操作型半自律ロボットが教育タスク中の親子の対話を促進できると考えた。本稿では以下の2つの仮説を設定し、実験室実験で検証した。

- H1 ロボットを用いない場合と比較して、近接操作型半自律ロボットを用いる方が、親の発話を促進できる
- H2 完全自律ロボットと比較して、半自律ロボットを用いる方が、親の発話を促進できる

2 実験方法

2.1 実験計画

上記の仮説を検証するため、実際の親子にロボットを使いながら教育タスクを行ってもらい実験室実験を実施した。実験では、「ロボットなし条件」「半自律ロボット条件」「完全自律ロボット条件」の3条件を設定して被験者内で比較した。仮説1については、半自律ロボット条件とロボットなし条件の比較により、まずロボットを用いることで操作者の発話を促せるかを検証する。仮説2については、完全自律ロボット条件と半自律ロボット条件の比較により、親があえて操作する価値を検証する。



図 2: カードの一例

2.2 状況

家庭で親が子どもの学習を手助けする状況を想定し、実験タスクとしてカード暗記ゲーム¹を用いた。このゲームは、25枚のイラストが描かれたカードの並び順を子どもが暗記し、一度カードを回収した後にもとの順番に再びカードを並べるものである。このとき、カードの順番を親が語るストーリーによって暗記する特徴がある。例えば図2のようにカードが並んでいた場合、「らくださんがお散歩をしていると鍋がありました、その鍋の中に入ってみると中にはかたつむりさんがいました」といったストーリーで暗記することができる。このゲームは実際に学習教室などで用いられており、事前知識も不要であることから採用した。本実験では、カードの並び順およびストーリーは事前に準備した。

ロボットなし条件では、親がゲームを進行して子にストーリーを語るが、ロボットを用いる2条件では、ロボットがゲームを進行してストーリーを語って親子をサポートするようにした。すなわち、各条件で下記のようにゲームを進行した。ロボットの操作方法は次節で説明する。なお、ゲーム中は親と子どもは自由に会話を行うことができ、親からヒントを与えることも可能とした。

ロボットなし条件 親がゲームを進行し、子どもにストーリーを語る。

半自律ロボット条件 親がロボットを操作しながらゲームを進行し、ロボットがストーリーを語る。

完全自律ロボット条件 ロボットが自律してゲームを進行し、子どもにストーリーを語る。ただし本実験では、別室から操作者がロボットを操作する Wizard of Oz 法を用いて、ロボットが完全自律で動作する条件を実現した。

2.3 ロボットシステム

本研究では、親が簡単な操作で子どもとの対話や学習を支援できる教育用会話ロボットを開発した。この

¹https://www.shichida.com/category/T_TYPE_05/104250.html

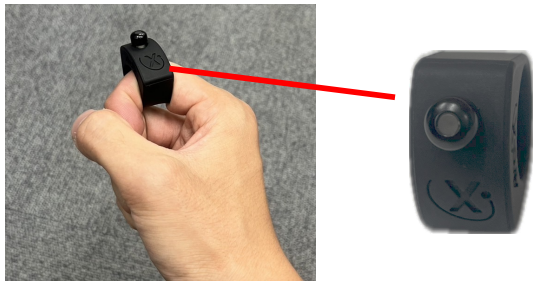


図 3: 指輪型操作デバイス

システムでは、親が指輪型デバイスを用いて「会話を進める」「ヒントを提示する」「正解時に褒める」の3つの操作を行う。また、ヒント提示では子どもがどのカードで迷っているかに対応するため、隣の部屋で操作者が子どもの進捗状況をリアルタイムで入力する仕組みを導入している。

ロボットは、株式会社ヴイストーン製のコミュ（図1）を使用した²。このロボットは、高さ約30cmの大型コミュニケーションロボットであり、頭部、首、腕に計9自由度の関節を備え、ジェスチャーや表情の変化を通じて、ユーザーとのインタラクションができる。操作にはArcX Technology Ltd.製の指に装着するウェアラブルデバイス ArcX Smart Ring（図3）を使用した³。このデバイスはBluetooth接続を介して入力操作が可能であり、実験では親が右・上・下の3方向のボタン入力を用いてロボットを操作する指輪型デバイスとして利用した。

発話ボタン（右入力）

ロボットが音声認識を基に会話を続ける

正解ボタン（上入力）

ロボットが子どもを褒める

ヒントボタン（下入力）

ロボットがカードに関連するヒントを教える

プログラムが開始すると、ロボットは常に音声認識を実行し、子どもや親の発話をリアルタイムで処理する仕組みになっている。親が指輪デバイスで入力を行った場合、直前の発話内容を基にChatGPTが応答を生成する。ロボットが発話する際には、お辞儀、手を振る、頷くといった動作を組み合わせる。

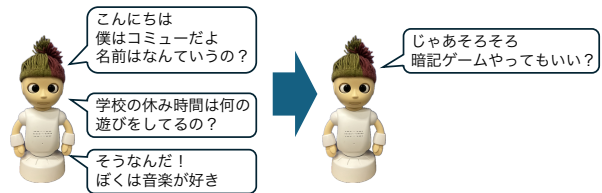
2.3.1 ゲームに誘導

実験が開始すると、ロボットは「こんにちは、僕はコミューだよ。お名前はなんていうの?」と挨拶し、子

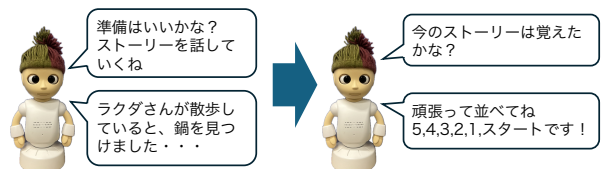
²<https://www.vstone.co.jp/products/commu/index.html>

³<https://arcx.fit/products/arcx-smart-ring>

◆ゲームに誘導



◆ストーリー



◆正解orヒント

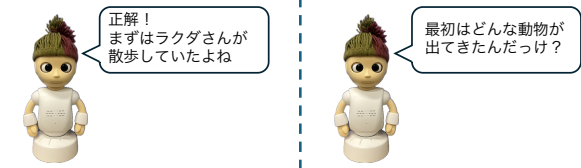


図 4: ロボットの動作

もとの会話を開始する。その後、移動手段や学校での遊び、誕生日プレゼントに関する話題を深掘りしながら、子どもとの対話を進めていく。また、ロボットは8回目の発話で親の方を向くジェスチャーを行い、「お母さんもどうですか」などと話題を振ることで、親も対話に参加できるようにした。

会話が10往復に達すると、ロボットは「じゃあそろそろ暗記ゲームやってもいい?」と提案し、ゲームへの移行を促す。その後、「準備はいいかな? ストーリーを話していくね」と確認し、親または子どもの応答を待った上で、次のステップに進むように設計した。

2.3.2 ストーリー読み上げ

子どもがカードを並べている間、ロボットは以下のような動作を行う。まず、ストーリーを読み上げる前に「お母さんはストーリーに合わせてカードを指差してね」と指示を出す。また、ロボットは「今のところもう一回言って」といった子どもからの要望に対応できるよう設計されており、一回のボタン操作でストーリーの1行分だけを読み上げることができる。

ストーリーの読み上げが終了すると、ロボットは「今のストーリーは覚えたかな?」と確認し、続けて「お母さんは、お子さんが正解の紙を見えないように横のテーブルに置いてね」と指示を出す。その後、「それでは頑張っって並べてね」と声をかけながらカウントダウンを行い、子どもがカードの並べ替えを開始する合図

を行う。

2.3.3 ヒント or 正解

正解ボタンを押すと、正解の効果音が再生され、「正解！まずはラクダさんが散歩していたよね」といったように、ストーリーの内容を簡潔に織り交ぜて正解を伝える。正解ボタンが4回押されると、「お母さんもしっばい褒めてあげてね！」など、親にも働きかける。子どもがカードを並べている時は、隣の部屋の操作者がリアルタイムで並べられたカード番号を入力している。ヒントボタンを押すと、現在子どもが迷っているカードに対応したヒントがChatGPTを用いて生成され、同じカードで再度ヒントを求められた場合でも新しい言い回しで提示されるよう設計した。

2.4 手順

実験は以下の手順で実施し、被験者内比較のため条件を変えながら3回繰り返した。3条件の順序はカウンターバランスし、ゲームで用いるカードは毎回異なるものを用いた。

1. 教示 親子にタスクの内容を説明した。タスク中は自由に会話を行って良いことを伝えた後、子どもには別室に移動してもらい、親にのみ条件に応じた説明を行った。半自律条件では、親にロボットの操作方法を説明して操作練習を行い、また操作していることに気づかれないよう教示した。完全自律条件では、ロボットは自律して動作すると説明した。ロボットなし条件では、親がタスクを進めるよう説明した。
2. 質問紙の準備 親に質問紙の内容を事前に確認してもらった。
3. タスク実施 各条件でカード暗記ゲームを行った。
4. 質問紙評価 親に質問紙に回答してもらった。

2.5 測定方法

操作者の発話を促せたかを調査するため、親の子どもに対する発話回数を実験の録画映像から数え上げ、条件間で比較することとした。発話回数には、親から子どもへの発話や、子どもの発話への返答を含め、親の独り言は除外した。またゲーム中にカードの順番のヒントを親が発話することがあったが、この回数は子どもがどれだけ暗記できていたかに依存するため、発話回数から除外した。数え上げは3名のアノテータが上記の基準で行い、2名以上が発話に含めると判断した

もののみを発話回数に含めることで、信頼性を担保できるようにした。

また、本稿では親があえて操作する半自律ロボットの有用性の提案しているが、操作が過度に負担になるならば、本手法の実用性が損なわれる。そこでロボットの操作が親にとって負担になっていないかを確認するため、各条件終了後に、親に下記2項目の質問紙(9段階リッカート尺度。1:全くそう思わない~9:とてもそう思う)に回答してもらった。

Q1 ロボットの操作は難しいと感じましたか？

Q2 今回の取り組みは大変だと思いましたか？

2.6 統計解析

発話回数については、まず各条件の発話回数に有意差があるかを確認するため、対応のある一元配置分散分析(ANOVA)を行った。ANOVAで有意差が認められた場合、どの条件間に差があるかを特定するための事後検定としてWilcoxon符号付順位検定を行った。このとき多重比較となるため、ボンフェローニ補正によりp値を3倍した。

親の負担を聞く質問紙評価の結果は、操作の難易度(Q1)およびタスクへの取り組みの大変さ(Q2)の評価値がチャンスレベル(5:どちらでもない)と有意に異なるかを確認するため、Mann-WhitneyのU検定を用いて分析を行った。この検定により、各評価値がチャンスレベルよりも有意に低いかどうかを評価した。

解析はPythonを用いて実施した。解析には、NumPy, pandas, SciPy.stats, およびStatsmodelsを使用した。有意水準は5%とした。

2.7 参加者

本実験には、小学4年生の子ども12名(男女各6名)とその親が参加した。子どもの平均年齢は9.5歳(標準偏差は0.52)だった。親の平均年齢は44.42歳(標準偏差は3.85)だった。本実験は倫理審査の承認を取得しており、親に書面で同意を得て実施した。

3 結果

まず親の子どもに対する発話回数の結果を図5に示す。発話回数の平均値は、半自律ロボット条件が最も多く、次いでロボットなし条件、完全自律ロボット条件の順となった。各条件の中央値と四分位範囲は、ロボットなし条件が $Mdn = 15.5, IQR = [10.0, 21.5]$, 半自律ロボット条件が $Mdn = 23.5, IQR = [19.75, 30.75]$, 完全

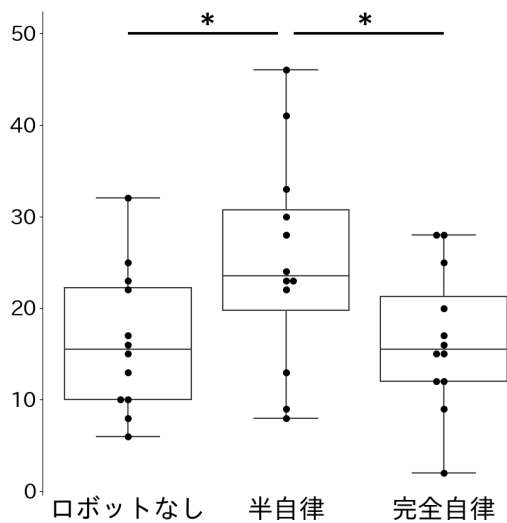


図 5: 親の子どもに対する発話回数. 図中の黒点は参加者の回答を示す. (*: $p < 0.05$)

自律ロボット条件が $Mdn = 15.5, IQR = [12.0, 21.25]$ だった.

ANOVA 検定の結果, 条件間で発話回数に有意差が認められた ($F(2, 22) = 3.42, p = 0.0448$). 各条件間を比較する事後検定として Wilcoxon 符号付順位検定 (ボンフェローニ補正) を行った結果, 次のような結果が得られた. 半自律ロボット条件での発話回数は完全自律ロボット条件よりも有意に多く ($W = 4.0, adjusted\ p = 0.0293$), またロボットなし条件よりも有意に多かった ($W = 5.5, adjusted\ p = 0.0430$). 完全自律ロボット条件とロボットなし条件の間には有意差は認められなかった ($W = 32.5, adjusted\ p = 1.0$). よって半自律ロボット条件では, 他の条件よりも親の子どもに対する発話回数が有意に多かったことが示された.

次に, 半自律ロボット条件における親の操作の難易度とタスクへの取り組みの大変さの結果を図 6 に示す. 操作の難易度 (Q1) の評価値は $Mdn = 2.0, IQR = [1.75, 5.0]$, 取り組みの大変さ (Q2) の評価値は $Mdn = 2.5, IQR = [1.0, 4.75]$ であった.

チャンスレベル (5: どちらでもない) との Mann-Whitney U 検定を行った結果, 操作の難易度 (Q1) においては $U = 36.0, p = 0.021$, 取り組みの大変さ (Q2) においては $U = 36.0, p = 0.028$ で, いずれもチャンスレベルより有意に低く評価されたことが示された. これにより, 親は半自律ロボット条件下でロボットの操作に難しさを感じておらず, またタスクへの取り組みに大きな負担も感じていなかったことがわかった.

とてもそう思う

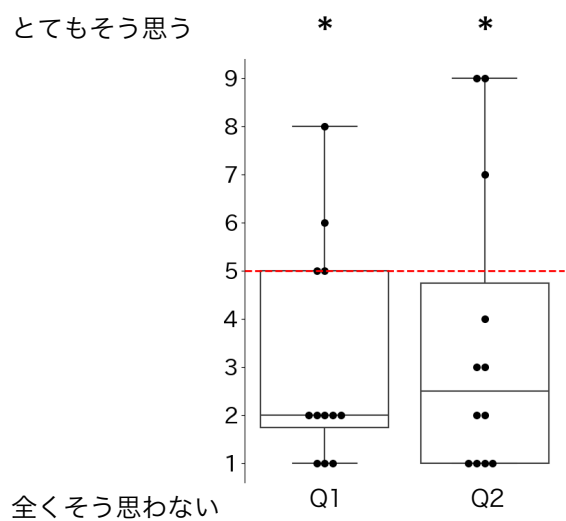


図 6: Q1「ロボットの操作は難しいと感じましたか?」と Q2「今回の取り組みは大変だと思いましたか?」の結果. (*: $p < 0.05$)

4 考察

まず仮説 1 (ロボットを用いない場合と比較して, 近接操作型半自律ロボットを用いる方が, 親の発話を促進できる) について, 親の子どもに対する発話回数の分析結果から, ロボットなし条件より半自律ロボット条件の方が, 親の発話回数が有意に多いことが確認された. よって, 近接操作型半自律ロボットを用いることで親 (操作者) の発話を促すことができたと考えられ, 仮説 1 は支持された. 仮説 2 (完全自律ロボットと比較して, 半自律ロボットを用いる方が, 親の発話を促進できる) については, 同様に発話回数の結果から, 完全自律ロボット条件より半自律ロボット条件の方が, 親の発話回数が有意に多かった. よって, 親が部分的に操作する半自律ロボットを用いる方が, 親の発話を促せたと考えられ, 仮説 2 は支持された. なお実験後に行ったインタビューから, 半自律条件で親がロボットを操作していたことに気づいた子どもはいなかった.

以上より, 親子の家庭教育にロボットを導入する際, 親がロボットの操作に関与する近接操作型半自律ロボットを用いることで, 親の発話を促進できることが明らかになった. 加えて, 親が感じた操作難易度やタスクの大変さの評価から, 半自律ロボットを用いる操作が必要な場合であっても, 操作が過度な負担にはならないこともわかった. したがって, 完全自律ロボットよりも, 一部操作の必要がある半自律ロボットを用いる方が親子間の対話を促進し, 教育として効果的な可能性がある. ロボット研究においては, 人を支援するた

めにロボットの自律化を目指す方向性があるが、本稿の結果は、あえて人が操作する方が有用である事例を示した点で興味深いと考える。

半自律ロボット条件で親の発話が増加した理由としては、操作に伴ってタスクへの関与が促されたり、責任感が高まったことが考えられる。完全自律ロボットを用いる場合に比べて、半自律ロボットを適切に操作するにはタスクに能動的に参加する必要があり、操作ミスやタイミングの遅れを防ぐため、親はより責任感を持ってタスクに関わった可能性がある。しかしこの点は本稿の実験では明らかではなく、操作によって親の発話が促進された理由は今後の検討課題である。

本稿の目的とは異なるが、ロボットを用いることで、親が子どもに関する新たな発見を得られる可能性があることも実験のなかで示唆された。例えば、ロボットが子どもに「欲しい誕生日プレゼント」や「学校で流行っている遊び」などを尋ねることで、親が自ら尋ねようと思わなかったことや聞きづらいことを知ることができた例が観察された。将来の研究では、家庭での親子教育にロボットを導入する効果として、こういった観点での有用性も確かめていきたい。

謝辞

本研究の一部は、トヨタ自動車株式会社（基盤研究）およびJST ムーンショット型研究開発事業JPMJMS2011（システム開発）の支援を受けた。

参考文献

- [1] Jeong, K., Sung, J., Lee, H.-S., Kim, A., Kim, H., Park, C., Jeong, Y., Lee, J., and Kim, J.: Fribo: A social networking robot for increasing social connectedness through sharing daily home activities from living noise data, *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, Vol. 2018, pp. 114–122 (2018).
- [2] Michaelis, J. E. and Mutlu, B.: Supporting interest in science learning with a social robot, *ACM International Conference on Interaction Design and Children*, Vol. 2019, pp. 71–82 (2019).
- [3] Konijn, E. A., Smakman, M., and Berghe, R.: Use of robots in education, *The International Encyclopedia of Media Psychology*, pp. 1–8 (2020).
- [4] Komatsubara, T., Shiomi, M., Kanda, T., Ishiguro, H., and Hagita, N.: Can a social robot help children’s understanding of science in classrooms?, *International Conference on Human-Agent Interaction*, Vol. 2014, pp. 83–90 (2014).
- [5] Turkle, S.: Why these friendly robots can’t be good friends to our kids, *The Washington Post*, Vol. 7, (2017).
- [6] Ho, H.-R., Hubbard, E. M., and Mutlu, B.: “It’s Not a Replacement:” Enabling Parent-Robot Collaboration to Support In-Home Learning Experiences of Young Children, *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Vol. 2024, pp. 1–18 (2024).
- [7] Cagiltay, B., Ho, H.-R., Michaelis, J. E., and Mutlu, B.: Investigating family perceptions and design preferences for an in-home robot, *Interaction Design and Children Conference*, Vol. 2020, pp. 229–242 (2020).
- [8] Peck, C. A., Carlson, P., and Helmstetter, E.: Parent and teacher perceptions of outcomes for typically developing children enrolled in integrated early childhood programs: A statewide survey, *Journal of early intervention*, Vol. 16, No. 1, pp. 53–63 (1992).
- [9] Hill, N. E., Castellino, D. R., Lansford, J. E., Nowlin, P., Dodge, K. A., Bates, J. E., and Pettit, G. S.: Parent academic involvement as related to school behavior, achievement, and aspirations: Demographic variations across adolescence, *Child development*, Vol. 75, No. 5, pp. 1491–1509 (2004).
- [10] Fehrmann, P. G., Keith, T. Z., and Reimers, T. M.: Home influence on school learning: Direct and indirect effects of parental involvement on high school grades, *The Journal of Educational Research*, Vol. 80, No. 6, pp. 330–337 (1987).
- [11] Greenberg, M. T., Weissberg, R. P., O’Brien, M. U., Zins, J. E., Fredericks, L., Resnik, H., and Elias, M. J.: Enhancing school-based prevention and youth development through coordinated social, emotional, and academic learning., *American psychologist*, Vol. 58, No. 6-7, p. 466 (2003).
- [12] Ho, H.-R., White, N. T., Hubbard, E. M., and Mutlu, B.: Designing Parent-child-robot Interactions to Facilitate In-Home Parental Math Talk with Young Children, *ACM Interaction Design and Children Conference*, Vol. 22, pp. 355–366 (2023).
- [13] Chen, H., Ostrowski, A. K., Jang, S. J., Breazeal, C., and Park, H. W.: Designing long-term parent-child-robot triadic interaction at home through lived technology experiences and interviews, *31st IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, Vol. 2022, pp. 401–408 (2022).
- [14] Shiomi, M., Sakamoto, D., Kanda, T., Ishi, C. T., Ishiguro, H., and Hagita, N.: A semi-autonomous communication robot: a field trial at a train station, *ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction*, Vol. 3, pp. 303–310 (2008).
- [15] 窪田智徳, 磯和隆道, 小川浩平, 石黒浩: 人と共働する近接操作型アンドロイドロボットの開発と実店舗での検証, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 22, No. 3, pp. 275–290 (2020).
- [16] 窪田智徳, 小川浩平: 近接操作型対話ロボットの振る舞いが操作者の対人印象に与える影響のオンライン調査, *知能と情報*, Vol. 36, No. 4, pp. 695–702 (2024).