2J1-03

WOZ型との同時比較による自律型ロボットの進歩的開発: 幼児教育支援への適用とその効果の検証

Progressive Development of an Autonomous Robot through Parallel Comparison with a WOZ Robot: Investigation the Effect of English Learning for Children

松添 静子*¹ 葛岡 英明*² 田中 文英*³ Shizuko Matsuzoe Hideaki Kuzuoka Fumihide Tanaka

*1筑波大学大学院 システム情報工学研究科 Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

*2筑波大学 システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

*3東京大学 大学院 情報理工学系研究科

Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

This paper proposed a progressive development through parallel comparison with two robots for an autonomous robot. We focused on a care-receiving robot (CRR) that purposely behaved answering questions incorrectly as a weak behavior. Our previous studies showed that the CRR promoted children's English words learning. The next goal was to explore important new behaviors for a more effective and practical autonomous CRR. However, there are two difficulties to realize the autonomous CRR. To do so, the method involving (1) the use of the WOZ method, (2) concurrent use of two robots, and (3) iterative exploration and verification was introduced in a real classroom. We conducted a long-term field trial at two kindergartens for a total of 32 sessions over a period of 3 months. We will report the field trial together with the analyses of several data showing a progressive improvement of the robot as was expected, and discuss the new behaviors of the autonomous CRR that was found effective in the trial.

1. はじめに

小学校などの教育現場において、タブレット PC 端末などの 日常的に手軽に扱える情報機器を導入することで教育の質を高 める試みが多くなされている。さらに、将来的な活用が期待さ れる情報機器のひとつして教育支援ロボットが注目されており、 様々な研究や開発がなされている [Kanda 07, Yun 11]. 教育支 援ロボットは大別して 2種類に分類可能であると考えている。ひ とつは教師の役割を代替するタイプのロボットである [Han 08, Saerbeck 10]. もうひとつが子どもと対等な立場のロボットで、 その代表例としてケア・レシーバー型ロボット (Care-Receiving Robot: CRR) が提案されている [Tanaka 09]. CRR は子ど もの自発的なケア行動を誘引するために意図的な失敗行動を行 うよう設計されている。子どもは CRR に対して様々な内容を 教示可能で、この行為を通して子ども自身の学習や知識を深め ることができると考えられている.

我々は幼児教育現場において、CRR に関する様々なフィールド実験を実施している。Tanaka らは子ども 1 名の環境に CRR を導入し、同ロボットが 3~6 歳児の未知英語動詞の学習促進に効果的であることを確認している [Tanaka 12]。また同様の環境にて、ロボットの賢さの違いが幼児英単語学習に与える影響を調査した結果、適度なロボットの賢さ(初めは誤答をしても教示によって正答を学習可能)が効果的であると示唆されている [松添 13b]。さらに、集団活動環境でも CRR が英単語学習の促進に効果的であることが明らかになっている [松添 13a]。これらの結果を受け、次の段階ではより効果的な教育支援 CRR を実現するために効果的な CRR の弱さ行動を具体的に明らかにする必要がある。しかし、ロボットにおいて

連絡先: 松添 静子, 筑波大学大学院 システム情報工学 研究科, 〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, shi25tty@gmail.com 実現され得る弱さの要因は無数に存在するため、実験室など統制環境における網羅的な検証は困難である. また、実験参加者の確保や協力して頂く幼稚園や小学校等における実験可能日の確保などフィールド実験特有の問題点が多く存在する.

そこで本研究では、これらの問題点に対処し CRR の行動 設計に必要な知見の探索や CRR 自体の開発を効率的に進め るための進歩的開発を提案する. 具体的には、Wizard of Oz (WOZ) 法を適用したロボットを幼児の集団活動に導入して, 幼児教育に効果的な弱さ行動に関する知見を探索し, 発見した 知見の有効性を検証した. このように探索と検証を繰り返し実 施し、ロボットの仕様が徐々に改良・拡張されていく進歩的な 枠組みを試みた. なお, 今回の実験では異なった特徴を持つ2 台のロボットを実環境内に同時に導入している. WOZ 法によ る探索型実験は,近年ではロボットやエージェントなどにおい て幅広く行われている [Tanaka 07]. しかし, 性質の異なるロ ボット2台を同時に用いた探索や検証を開発手法として行う 研究はこれまでにあまりない. この方法によって、WOZ型ロ ボットの遠隔操作者の主観だけでなく、2台のロボットに対す る子どもの行動の違いを客観的に観察することによってロボッ トの行動設計に関する知見を得ることが可能となる. また, 子 どもたちは「遊びたいロボットで遊ぶ」という単純な選択が 可能となり、より自然な行動データからの検証が期待される. 我々は幼稚園の教室環境にて,この実践方法を通して教育支援 効果のある CRR の行動設計に関する知見を効率的に見つけ、 ロボットの実装へ繋げることを目指す.

2. WOZ型との同時比較による自律ケア・レシーバー型ロボットの進歩的開発

本研究で用いる自律型ロボットの進歩的開発において重要なポイントは以下の通りである.

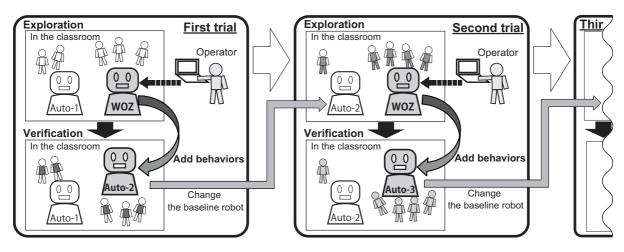


図 1: 2 台ロボットの同時比較による自律型ロボットの進歩的開発

- 1. WOZ 法を用いたロボットの設計に関する知見の探索
- 2. 異なる特徴を持つ2台のロボットの同時比較
- 3. 知見の探索・検証を反復しながらロボット仕様の改良・拡 張を促進

本来 WOZ 法は仮説検証型の実験に用いられることが多いが、ここではロボットの行動空間を効率的に探索するための手法として導入する. オペレータは、WOZ 型ロボットに幼児が最も集まり、かつ積極的に学習ゲームへ参加するように遠隔操作する. 人間の状況判断能力やコミュニケーション戦略を有効活用することで効率的な弱さ行動の探索が期待される.

ロボットの2台同時比較によって、オペレータの主観に加え、2つのロボットに対する子どもたちの行動の違いを客観的に比較することが可能となる。オペレータ自身も明確な目標設定(同じ教室内の自律型 CRR よりも幼児を引き付ける)ができるため、WOZ型ロボット1台のみの探索に比べて効率的であると考えられる。実験参加者側でも普段の自由遊びと同様に「遊びたいロボットで遊ぶ」という単純な選択が可能となり、より自然な行動データからの検証が可能となる。また、2台のロボットを比較するため、ロボットの新奇性と追加行動による効果を切り離した検証ができると思われる。

本手法では探索・検証フェーズを明確に分けており、これらの反復での段階的な知見発見とそれに基づくロボット仕様の改良・拡張を、ここでの『進歩』と位置付けている。また一度の探索で多くの知見を発見するのではなく、1週間前後の短期間における少数知見の探索を反復することで、限られた実験スケジュールにおける知見探索の効率化を目指す。実際の環境では、不特定多数の要因(個人差や室内環境など)が複雑に影響しているため、子どもたちのロボットへの行動は大きく変容すると予測される。この手法によって、その時々にしか得られない重要な知見を多く顕在化できると考えており、このような知見の発見過程も重要な進歩のひとつと位置づけている。

図1に提案する進歩的開発の流れを示す。1回目探索フェーズでは必要最低限の機能を搭載した自律型ロボット Auto-1とオペレータによって遠隔操作される WOZ 型ロボットを集団活動へ同時に導入し、子どもたちには自由に遊んでもらう。この1回目検証フェーズにて得られた知見をもとに弱さ行動を追加した自律型ロボット Auto-2を実装し、検証フェーズでは Auto-1と同時に教室内へ導入し実験を行う。なお、ロボットへの慣れや飽きなどが結果に影響することを防ぐため、探索フェーズとは異なる実験参加者に対して実施する。ここで Auto-2 に追加

実装した弱さ行動の有効性が確認された場合, Auto-2 を基準として 2 回目探索フェーズを実施する. そして 1 回目と同様に発見された知見を新たな行動として追加した自律型ロボット Auto-3 を実装し, Auto-2 との検証を行う. 以降も同様の手順を WOZ との性能差が無くなるまで反復すると, 理論的には現場使用に耐えうる CRR の開発が実現される.

3. 幼稚園の集団活動を対象とした実証実験

3.1 実験目的

ここでは学習ゲーム(動物の英語名称を学習題材)に特化した自律型 CRR を幼稚園の集団活動に導入し、2 台ロボットの同時使用による進歩的開発によって幼児教育効果の高い CRR を開発することを目的とする.まず、探索フェーズにて効果的な弱さ行動を探索し、検証フェーズにおいて、その発見した行動の有効性について調査する.また、本稿にて提案する進歩的開発において、CRR が進歩的に開発できたかについても検証する.

3.2 実験環境

本実験はつくば市内の 2γ 所の幼稚園にて実施した。実験の様子は2台のカムコーダを用いて録画し、分析に用いた。実験参加者は、各幼稚園の園児54名($4\sim6$ 歳)に協力して頂き、実験参加者全体を $7\sim8$ 名の6グループに分けることとした。なお、この実験は筑波大学研究倫理委員会にて承認を得ており、保護者の方々への事前説明後、書面で同意を頂けた方のみを対象に実施した。実験者については、2名の大学院生および大学生が参加し、ロボットの自律プログラムの実行や安全監督・ゲーム進行の役割を分担した。

3.3 実験準備

実験タスクには動物英語名称の学習を目的とした動物ジェスチャーゲームを採用した。実験参加者は動物イラストカードをロボットに見せることで、任意の動物ジェスチャーの実演を依頼することができる。実演依頼した動物と異なるジェスチャーをロボットが行った場合は、ロボットの両腕を直接手で動かすことで正しいジェスチャーを教示可能である(直接教示)、ゲームの対象となる動物は、rabbit、alligator、sea gull、elephant、giraffe、stag beetle の 6 種類とした。

ロボットは Aldebaran Robotics 社の NAO を用いた(図 2 (左)). 仕様の異なるロボットを 1 台ずつ(合計 2 台)用意し, 1 回の実施につき 2 台のロボットを同時に導入した. 今回は動



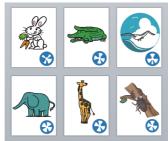


図 2: (左) 実験で用いたロボット,(右) 動物イラストカード.

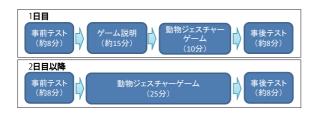


図 3: 実験の流れ:括弧内には各段階での所要時間の目安

物のジェスチャーゲームの自律化のために、回転・スケール不変なマーカ(Aldebaran Robotics 社提供)を伴った動物イラストカード(図 2 (右))の認識機能を実装した。また、各動物ジェスチャー動作の特徴的な関節角度変化を基に、動物ジェスチャー直接教示の成否判別機能も実装した。

3.4 実験手順

進歩的開発の大きな流れとしては、図1に示した通りであ る. 各フェーズには実験参加者として7~8名の子どもたちが 割り当てられ、図3に示す手順で4日間実験を行った.事前 **テスト**では、実験参加者1名ずつに対して、リスニング形式の 動物かるたゲーム(動物英語名称のネイティブ発音を2回聞 き,該当すると思う動物カードを選択)を実施した.実験参加 者の目前には常に8枚のカードを並べ、前述した6種類の動物 を無作為の順番で出題した. 図4(左)に事前テストの様子を 示す. ゲーム説明では、ゲームで使用する動物のジェスチャー を日本語で確認し,動物カードの見せ方やロボットへのジェス チャー直接教示方法について説明した. 動物ジェスチャーゲー ムでは、実験参加者主導で動物ジェスチャーゲームをして遊ぶ よう声をかけ、実験者は2名とも安全監督者となる。安全監 督者は、子どもたちがロボットへのカード提示に難航ていた場 合,一時的に介入して補助可能ととした。また,1日目のみ, 適切な直接教示が出来ていない場合の一時的な補助を許容し た. 図4(右)に動物ジェスチャーゲームの様子を示す. 事後 テストでは、事前テストと同様の方法でどれくらい動物名称の 英単語を覚えたか確認した.

4. 実験結果

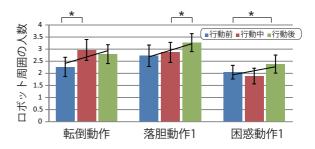
4.1 探索された CRR の効果的な弱さ行動

1回目探索フェーズでは、実際にオペレータが意図して行った困惑動作や落胆動作のほかにも、歩行動作中に意図せず転倒したことによりロボットへの関心が低下していた子どもたちが周囲に集まってくるという事例が観察されたため、転倒動作も含めた3つの行動を[追加行動1]として加えることとした.2回目探索フェーズでは、子どもたちの興味を引くために多くの歩行動作を試したが、前進や旋回動作は場の雰囲気は盛り上が

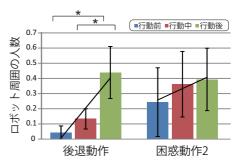




図 4: (左) 事前テストの様子,(右) 動物ジェスチャーゲーム



(a) 追加行動 (Auto-CRR-v2): 1 回目



(b) 追加行動 (Auto-CRR-v3): 2 回目 図 5: 追加行動によるロボット周囲の子ども人数の比較

るが学習ゲームへの興味は散漫になってしまうため逆効果であることがわかった(この点を踏まえて行動選択の戦略を追加した). 後退動作については,子どもたちが集まりカードゲームを再開する傾向が見られたため,[追加行動2]として実装した.

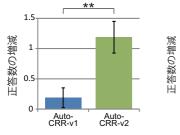
4.1.1 追加行動による学習ゲームへの興味・関心の誘引

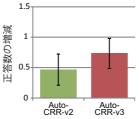
追加行動の効果に関して、図5にロボットの行動種類ごとにロボットと遊んでいた子どもの人数(ロボット周囲の子どもの人数)変化の平均を示す。ロボット周囲の子どもの人数は、第三者の学生3名によるビデオコーディングから算出し、この3名におけるコーディング信頼性の一致度は0.96であった。

各検証フェーズともに、追加行動時にロボット周囲の子どもの人数の変化が大きい傾向にあることが確認された。Wilcoxonの符号付き順位検定を行ったところ、転倒動作($Z(16)=-2.499,\ p<0.05$)、困惑動作 1 ($Z(12)=-2.551,\ p<0.05$)、落胆動作 1 ($Z(16)=-2.401,\ p<0.05$) において有意差が確認された(1 回目)。2 回目では、後退動作の行動前後と($Z(15)=-2.521,\ p<0.05$)と行動中-後($Z(12)=-2.100,\ p<0.05$)に有意差が確認された。

4.1.2 追加行動による英単語学習効果

英単語の学習効果については、日数が経過するにつれて双方ロボットの単語群ともに飽和する傾向にあったが、図6に示すように2回目の結果に注目すると、追加行動を実装したロボットにおいて平均正答数の上昇が大きい傾向にあることが確認された。Wilcoxon の符号付き順位検定を行ったところ、1回目検証フェーズでは有意差が見られた(Z(16)=-2.721, p<0.01).





(a) 1 回目検証フェーズ

(b) 2 回目検証フェーズ

図 6: 事後テストにおける正答率増減の平均(それぞれ2日目のみの結果を抜粋)

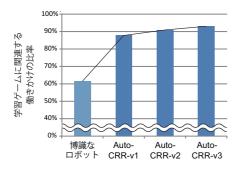


図 7: 各ロボットが誘発した自発的な働きかけ比率の遷移

4.2 CRR を進歩的に開発できたのか

ここでは本手法の有効性について述べる。まず、各検証フェーズのビデオ映像に対してビデオコーディングを行い、子どもがロボットに対して行った働きかけを、学習ゲームに関連する働きかけとそれ以外の2種類に分類した。分析結果を集計した結果、図7に示すように、各ロボットが参加者より受けたゲームに関連する働きかけの比率が右肩上がりに推移していることがわかった。なお、博識なロボットとは常に正答し続けるロボットで、先行研究[松添 13a] の結果から集計したものである。

5. 考察

提案した2台ロボットの同時比較を用いた進歩的開発によっ て 4 つの弱さ行動が発見され、各々の追加行動による教育効 果が確認された.この結果から,進歩的開発法によって探索・ 実装した追加行動がロボットとの英単語学習ゲームへの積極参 加を促進することができたと考えられる. また, 追加行動を実 装した CRR において英単語の定着を示唆するデータが得られ たことから, 追加行動による効果的な英単語学習の可能性を示 すことができたと思われる. 本手法による CRR 開発の進歩性 については、学習効果に関して統計的に強い結果は得られな かったが、幼児の自発的な行動や学習ゲームへの興味・関心の 誘引については確認することができた. また, 本実験の成果は 合計 32 日間の実施によって得られた. 実際に幼稚園でロボッ トを稼働させたのは1時間程度である. そのため, 実質的に は約32時間という比較的短期間で多くの行動やルールの発見 と実装・検証を行えており、提案手法の効率性を示す事例の-つとして意義深いものであると考えられる.

本実験には様々な制約が存在する. 幼児の実験時の行動を制限しないよう,参加者のロボットと遊ぶ回数などは統制していない. そのため結果の厳密性について脆弱であることは否定できないが,より自然な環境での多くの効果的な弱さ行動の解明と効率的な CRR 開発を重視している点については有用な成果

が得られたと考えている.しかし今回は他手法との比較はしていないため,提案手法が最適であるという主張はできない. 手法の有効性や妥当性を論じるためには重要な課題である.

6. おわりに

本稿では、2台ロボットの同時比較による進歩的開発を用いて幼児教育支援のための CRR 行動設計が可能かどうかを検証するフィールド実験を行った. 提案手法によって、困惑動作、転倒動作、落胆動作、後退動作といった4つの効果的なロボット行動を発見することができ、これらがロボットや学習ゲームに対して興味を引きつけることが示唆された. さらに、この手法による CRR の進歩性についても確認できた. これらの結果から、提案する進歩的開発によって教育効果の高い自律型 CRR の行動設計の実現可能性を示唆できたと考えられる.

謝辞

本研究は、科研費(23680020), および JST 戦略的創造研究推進事業さきがけの支援を受けて行われた。また、実験に御協力頂いたつくば市立東幼稚園、桜幼稚園、大穂幼稚園の皆様、実験に参加して頂いた園児の皆様および保護者の皆様、サポートスタッフの方々に深く感謝する。

参考文献

[Han 08] Han, J., Jo, M., Jones, V., and Jo, J. H.: Comparative Study on the Educational Use of Home Robots for Children, Journal of Information Processing Systems, Vol. 4, No. 4, pp. 159–168 (2008)

[Kanda 07] 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 Transactions on Robotics*, Vol. 23, No. 5, pp. 962–971 (2007)

[Saerbeck 10] Saerbeck, M., Schut, T., Bartneck, C., and Janse, M. D.: Expressive Robots in Education: Varying the Degree of Social Supportive Behavior of a Robotic Tutor, in Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems(CHI 2010), pp. 1613–1622 (2010)

[Tanaka 07] Tanaka, F., Cicourel, A., and Movellan, J. R.: Socialization between toddlers and robots at an early childhood education center, Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A. (PNAS), Vol. 104, No. 46, pp. 17954–17958 (2007)

[Tanaka 09] Tanaka, F. and Kimura, T.: The Use of Robots in Early Education: a Scenario Based on Ethical Consideration, in Proceedings of the 18th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2009), pp. 558–560 (2009)

[Tanaka 12] Tanaka, F. and Matsuzoe, S.: Children Teach a Care-Receiving Robot to Promote Their Learning: Field Experiments in a Classroom for Vocabulary Learning, *Journal of Human-Robot Interaction*, Vol. 1, No. 1, pp. 78–95 (2012)

[Yun 11] Yun, S., Shin, J., Kim, D., Kim, C. G., Kim, M., and Choi, M.-T.: Engkey: Tele-education Robot, in Proceedings of the Third International Conference on Social Robotics, ICSR'11, pp. 142–152 (2011)

[松添 13a] 松添 静子, 田中 文英: ケア・レシーバー型ロボットによる集団の子どもたちを対象とした英単語学習支援, 2013 年度人工知能学会全国大会 (2013), 1G5-05

[松添 13b] 松添 静子, 田中 文英: 教育支援ロボットの賢さの違いが 子どもの英単語学習に及ぼす影響, 人工知能学会論文誌, Vol. 28, No. 2, pp. 170-178 (2013)