

ロボットを媒介とする長期的アクティブラーニング： 小学校の事例

Case Study of Long-Term Active Learning With Robot-Mediated Learning Supporty in Elementary School

堀野 航平^{1*} 大澤 博隆²
Kohei Horino¹ Hirotaka Osawa²

¹ 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 知能機能システム専攻

¹ Department of Intelligent Interaction Technologies, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

² 筑波大学 システム情報系 知能機能工学域

² Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

Abstract: Abstract (English) ユーザ自身がコンテンツを生成する学習支援ロボットエージェントは、ユーザ間で相互にコンテンツを作り合う環境を作り出すことで、飽きられて使われなくなる問題を解決できる。今回、小学校に当該エージェントを設置し、475日（実稼働278日）のフィールドテストを行った。結果、長期間でも飽きられずに使用し続けられることを確認したほか、自発的な宣伝活動や、上級生から下級生への指導、複数人で相談しながらの共作、技術に対する興味の向上といった、児童の行動変化がみられた。

1 序論

近年、教育にアクティブラーニングと呼ばれる学習手法を利用する事例が増加している。アクティブラーニングは従来の学習者が講義を視聴する知識獲得型の学習と比較して、学習者がより能動的に取り組む学習と言える。アクティブラーニングは特にSTEM分野（Science：科学，Technology：技術，Engineering：工学，Mathematics：数学）の教育に効果的であることが報告されている [1]。また、学習者が自発的に学習に取り組むことで認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力の育成が期待されている [2]。アクティブラーニングは生涯にわたって学び続ける力や、主体的に考える力を養うのに有用であると考えられ、急速に変化する社会に対応するために重要である。

アクティブラーニングを実施するための教材として、タブレット端末上で提示された問題に解答するドリル形式や、グラフィカルプログラミングによりミッションを遂行する形式のアプリケーションが提案されている。このようなアプリは教師がいなくてもユーザが一

人で学習を進めることができるメリットがある。一方で、学習範囲は前もって設計された範囲に限られる。

学習者が自ら学習範囲を広げていくことを動機づける方法として、Sato[6]らはUGAを提案した。UGAはアプリケーション上で図書紹介スピーチプログラムを作成し、ロボットに発話、身体動作、表情変化を制御するプログラミング教材である。学習者が創作したコンテンツを、他の学習者に提供することで多種多様なコンテンツが流動的に更新され、コンテンツを視聴した学習者が紹介の題材となった本を読む動機を得る。ユーザ同士が互いに相手の学習範囲を拡大するように作用することで、自発的な学習範囲の拡大を達成する。

しかし、UGAは学習者たちによるコンテンツの更新が継続している間は効果を発揮するが、コンテンツの更新が行われなくなると、飽きられて使われなくなってしまう。先行研究 [6]では、運用開始から80日（実働54日）経過した時点で新規コンテンツの作成が滞り、飽きられた結果、学習者による利用が急激に減少してしまった。そこで本研究では、新規コンテンツ作成が滞り、コンテンツが更新されなくなることによって飽きられてしまう問題を解決するため、問題点を分析し、コンテンツ更新が継続するようなシステムの改良と運用環境の構築を目指した。

*連絡先：筑波大学大学院 システム情報工学研究科 知能機能システム専攻
茨城県つくば市天王台 1-1-1
E-mail:s1920835@s.tsukuba.ac.jp

2 関連研究

2.1 ロボット自体が教材となる手法

このタイプの教育支援ロボットでは、学習者がロボットに触る、対話するといった直接的なインタラクションを行うことで学習効果を得る。

Kanda ら [3] は、2 台の Robovie を使用し、日本人の小学校 1 年生と 6 年生に対して 2 週間の英語学習の支援を行った。ロボットは英語学習のピアチューターとして振る舞い、学習者の名前を呼んだりした。学習者らは、最初の 1 週間はロボットと頻繁にインタラクションを行っていた。しかし、2 週間目になるとインタラクションを行う回数が急激に減少した。学習への効果が確認されたが、学習者が次第にロボットに飽きてしまい、インタラクションを行わなくなってしまうことも確認された。

Tanaka ら [4] は、他者に教えることによる学習 (Learning by Teaching) の手法を取り入れたロボットを使用し、日本人の 3~6 歳児に対して英語学習の支援を行った。ロボットは学習者より学習レベルが低く設定され、学習者から指導を受ける立場になる。学習者の介護意欲を刺激することで、ロボットへ教えるための自発的な学習を促すことができた。

2.2 教育アプリケーションとロボットを組み合わせた手法

このタイプの教育ロボットでは、学習者はロボットと共に教材と向き合い、ロボットから応援などを受けながら学習を進める。

Jimenez ら [5] は学習者と同じように教材に取り組むロボットを使用し、大学生に対して英語学習の支援を行った。ロボットは学習初期は学習者と同じように学習を進め、正答率も学習者と同程度である。しかし、学習が進むにつれて学習の進め方は効率的になり、正答率を向上させていく。学習者はロボットが実施する効率的な学習方法を観察することで、同様の学習方法を身に着けることが期待される。結果として、学習者がロボットの学習方法を真似するようになり、ロボットと同様の効果的な学習方法を身に着けることができた。同時に、学習が進むにつれて無視するようになることも確認された。

Adici ら [8] は NAO とタブレット端末を組み合わせ、小学校 5 年生と 6 年生に対して算数学習の支援を行った。ロボットはタブレット端末上の学習アプリケーションに実装されているヒント機能に連動している。学習者がヒントを使用せずに連続で不正解すると勝手にヒントを与え、ヒントを連続で求めるとヒントの提供を拒否し、まず努力してみるように促す。結果として、学

習者は無暗にヒントを使用するのを控え、まず努力してみるような学習方法になり、学習による成果の向上も見られた。

2.3 学習者の相互学習を促す手法

このタイプのロボットでは、ロボットが学習者同士が互いに教えあう相互学習を促すことで、学習者達が間接的に学習効果を得る。

Sato ら [6] はロボットを媒介とすることでユーザ同士が相互に教えあう学習エコサイクルを作り出し、ユーザが自主的に学習する環境を作ることで学習支援を行う手法を提案した。ロボットを媒介とすることで、学年の違う児童の間での指導や、複数人での共同作業といったユーザ同士のコミュニケーションを発生させることで学習支援を行った。

3 User Generated Agent

3.1 User Generated Contents

User Generated Contents はユーザ作成コンテンツとも呼ばれ、ニュースや新聞のようにプロフェッショナルによって作成されたコンテンツではなく、一般人によって作成されたコンテンツである。例として電子掲示板、ブログ、SNS、動画投稿サイト、イラスト投稿サイトといったメディアに投稿されたコンテンツや、それらに対するレビューなどが挙げられる。

UGC には、ユーザならではの独特な視点での紹介や、コンテンツのクオリティが不安定といった性質がある。

You ら [7] は UGC と Non-UGC を比較し、UGC にはコンテンツの生産速度が著しく高い、誰でも簡単にコンテンツを作成できる、コメントやお気に入り機能によってユーザがフィードバックの形で参加できるといった特徴があると述べている。

3.2 User Generated Agent

User Generated Agent は、UGC とロボットプログラミングを組み合わせたものである。本研究では先行研究 [6] と同じく小学校のカリキュラムである図書紹介をコンテンツの題材とした。図書紹介には、書籍の印象的なシーンなどを紹介することで、紹介を受けた人間の読書意欲を増加させる効果がある。一方、UGC にはユーザによるユーザ目線での客観的評価などが親近感につながり、企業による広告より高い効果を上げるといった特徴があり、図書紹介と UGC には高い親和性があると考えられる。

図書紹介では、児童が面白いと思った・人に読んでもらいたいと思った本を題材として紹介文を作成し、スピーチを行う。UGA では同様に作成した紹介文の中にロボットの動作を制御するコマンドを挿入し、プログラムを作成する。スピーチは自分がデザインした Agent が代理して行う。

アクティブラーニングとしては、自主的にシステムの利用を決める、紹介したい本を自分で決める、紹介文とエージェントの作成における試行錯誤、フィードバックを得るといった要素を持つ。

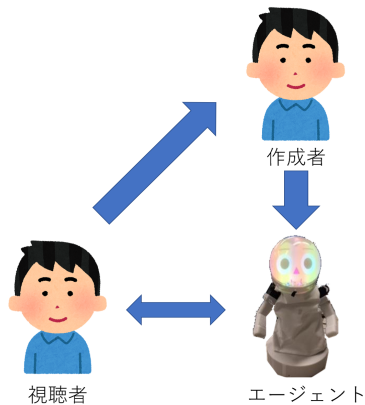


図 1: インタラクションモデル

図 1 に UGA のインタラクションモデルを示す。Agent が媒介として、ユーザ同士のインタラクションの間に介在するモデルである。

4 システムの構成

図 2 にシステムの全体図を示す。

4.1 ハードウェアの実装

ロボットは、

1. 身体動作による非言語表現を表出できる
2. 表情変化による非言語表現を表出できる

といった特徴を持つよう設計されている。

身体動作による非言語表現の表出を実現するため、ロボットには 2 本の腕部と腰関節が実装されている。また、腕部の上下動作のために 1 台ずつ、前傾動作のために 1 台、左右への旋回動作のために 1 台、合計 4 台のサーボモータを各部に組み込んでいる。サーボモータは KONDO KRS-3204 ICS を使用した。部品は 3D

プリンタで製造され、材質はポリカーボネートである。部品同士の結合はネジとナットで行われている。

表情変化による非言語表現の表出を実現するため、モバイルプロジェクタと球面ディスプレイを組み合わせて頭部を構成した。正面から見た時の顔面積を大きくするため、頭部は前傾している。モバイルプロジェクタには SK Telecom SmartBeam を使用した。

4.2 ソフトウェアの実装

ソフトウェアはエージェント作成画面、コンテンツ一覧画面、フィードバック画面、顔ビューワーで構成されている。各プログラムは TCP 通信で接続されている。作成されたコンテンツは.csv ファイルで保管されており、随時参照される。

ソフトウェア上から取得できるデータは作成されたコンテンツデータ、コンテンツの作成日時、コンテンツの再生回数、コンテンツの高評価回数である。それぞれ全コンテンツを通しての一覧と、タイムスタンプ付きの履歴を別個に記録しており、二つを照らし合わせることでデータの整合性を確保している。

5 実験

評価のため、つくば市立今鹿島小学校の協力のもとフィールド実験を実施した。実験期間は 2019 年 06 月 21 日～2020 年 10 月 08 日の 475 日（実稼働 278 日）である。

5.1 実験参加者

実験対象者は同校に在籍する児童のうち、図書室を訪れ、UGA の利用を希望するすべての児童である。実験対象者への謝金はない。対象者たちはスマートフォンを日常的に使用するなど情報端末の使用意欲が高い。また高学年に関しては授業で PC 関連の技術の指導を受けており、コンテンツ制作に必要なマウス・キーボードの操作に十分習熟している。

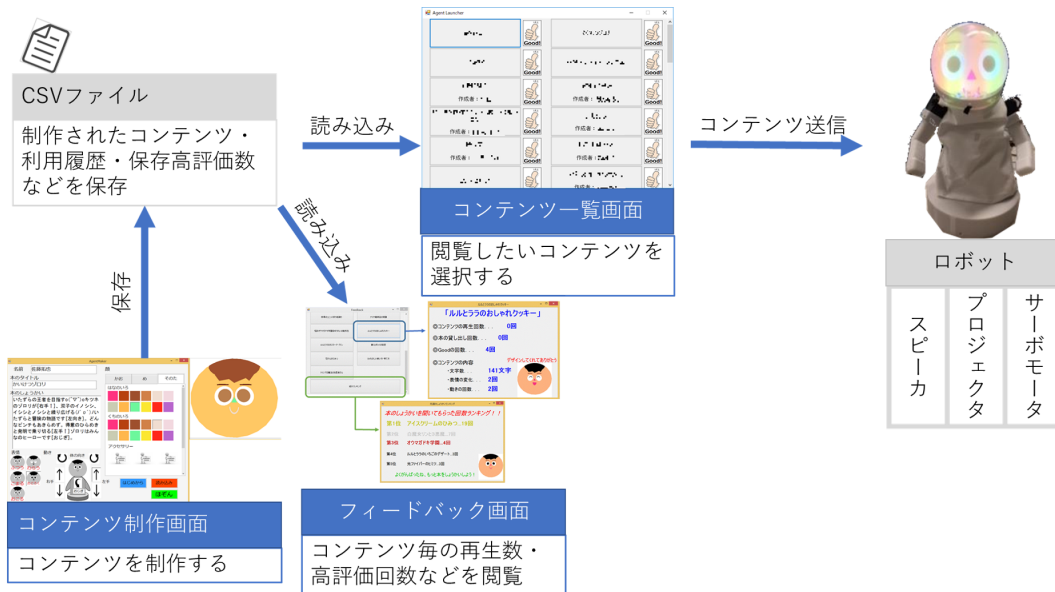


図 2: システムの構成

5.2 実験環境

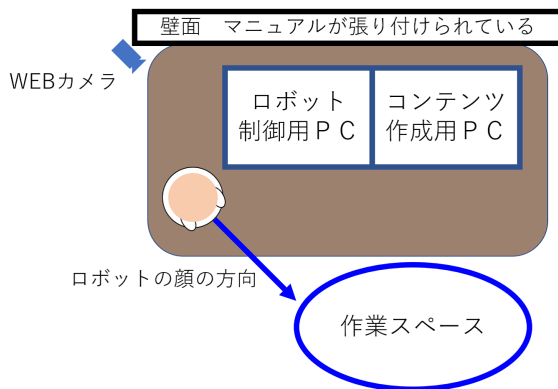


図 3: 設置の様子

図 3 に、実験装置の設置の様子を示す。設置場所は図書室の一角である。

コンテンツ作成用の PC、ロボット制御用 PC、エージェントロボット、観察用 WEB カメラがセットで置かれている。各 PC はモバイル Wifi を経由して接続されており、VPN を介して大学の PC から遠隔操作できるように設定されている。エージェントロボットはテーブルに固定されており、コンテンツを再生していない間は図 3 に示した方向を向いている。

5.3 ワークショップの実施

実験開始から実働 233 日目に、ワークショップを実施した。新型コロナウイルスに関する問題から、「ロボットのこともっとよく知りたい」と希望した児童 8 人に対して著者が説明を行った。また、以前 [6] に行われたワークショップと異なり、今回は詳細なマニュアルを作成した。

実施目的は、一人で装置の使用を試み、短時間使用してみたがすぐに諦めてしまう様子が確認されたこと、及び、実験用 PC を動画視聴やゲームに使用するために、動作中のアプリケーションを閉じてしまうことで運用上の大きな負担になっていたためである

問題の発生原因として、図書室の司書より、

1. 年度を跨いだことで実験参加者の代替わりがあった
2. 児童がここにロボットがいる理由がよくわかっていない
3. 遊びに使える PC だと勘違いされている
4. 何をすればいいのかわかっていない子が増えた

といったことが考えられると報告を受けた。このことから、詳細なマニュアルを作成し貼り付けることを計画した。

6 結果

6.1 飽きられる問題の解決能力に関する結果

図4に、2020/07/07～2020/10/23の期間におけるコンテンツの総数の推移と、日毎の使用回数を示す。線グラフがコンテンツ総数の推移、棒グラフが日毎の使用回数である。08月01日～08月24日は夏休み期間であるためコンテンツ総数の変化はなく、システムの使用回数も0である。09月03日に問題のあるコンテンツの検閲削除を実施したためコンテンツの総数が減少している。コンテンツ追加がない期間は使用回数が0に落ち込む場合もあるが、コンテンツが追加されると再び使用されることがわかる。

6.2 ワークショップに関する結果

ワークショップにおいて、マニュアルの貼り付け作業を実施しようとしたところ、ワークショップに参加した児童から、

1. マニュアルを持って各クラスを訪問し、UGAについて説明を行いたい
2. ロボットの（技術的なことを）もっと知りたい。止まったら自分達で直せるようになりたい
3. ロボットに名前をつけたい

という申し出があった。



図 5: Pasted manual

図5に貼り付けられたマニュアルを示す。貼り付け場所は実験装置正面の壁である。

6.3 学習エコシステムの創出に関する結果

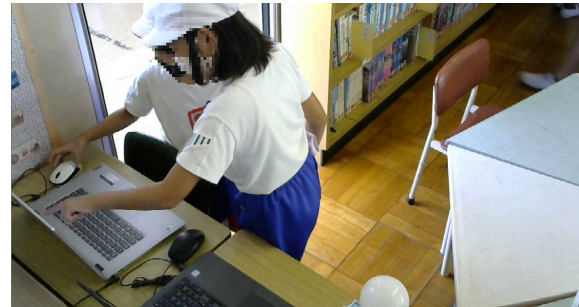


図 6: 指導んの様子

図6に、ある児童が別の児童に使用している様子を示す。慣れている上級生が初めて触る下級生に対して、コンテンツ作成の補助をしている場面である。この時、画面を指さして具体的に指示する様子を確認できた。

また、昼休みには多くの児童が図書室に集まり、

1. 「最後に（笑う）だといいいじゃん」といった、アイデアの出し合いなど複数人での相談
2. 「次の人どうぞ。やるっしょ?」といった、他ユーザを思いやるような発言
3. 「〇〇（本のタイトル）か～。おもしろいよね。うちもやろうかな」とシステム未使用の児童の使用意欲が高まったことを感じさせる発言
4. 慣れている上級生が初めての下級生に付き添うような、学年を跨いだコミュニケーションの発生

が確認できた。

7 考察

7.1 飽きられる問題の解決能力に関する考察

先行研究 [6] において、UGA システムは 80 日でコンテンツの更新が停止し、飽きられてしまった。今回、結果から、UGA は 1 年以上の継続的な運用でも完全に飽きられることなく、継続的に使用されていることがわかった。

ワークショップを切っ掛けとして、積極的な児童によってロボットへの命名、ロボットのメンテナンス活動、クラスルームを訪問してUGAの宣伝といった、まだユーザコミュニティに参加していない児童への勧誘が行われたことで、コミュニティが拡大したと考える。コミュニティの拡大による利用者の増加は、コンテンツ更新速度の増加・コンテンツの多様性の拡大によって、UGAの持つコンテンツ更新が停止すると飽きられ

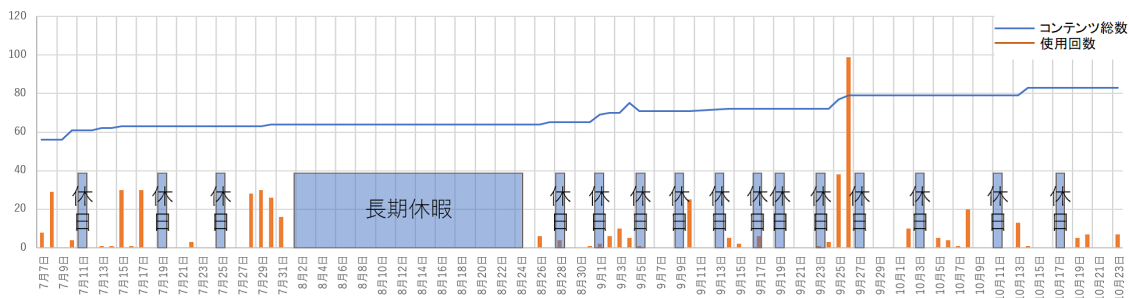


図 4: コンテンツ総数と使用回数

る問題の解決に効果的であると考えられる。また、参加人数が増加することで、より多人数での共作活動などが行われるようになれば、社会性の獲得などに有益な効果があると考えられる。

長期利用による飽きの問題に対し、UGA は有効であると考えられる。

7.2 ワークショップに関する考察

先行研究 [6] において、UGA システムは児童同士で教えあう学習エコシステムを創出することが確認されている。その中で上級生が下級生に指導するといった、学年を跨いだ、UGA 特有のコミュニケーションの発生というものがある。今回行われた、各クラスを訪問しての宣伝活動も、この特有のコミュニケーションに類するものであると考えられる。

今回、コロナウィルス禍の影響もあり、ワークショップへの参加者は、参加を強く希望したユーザのみであった。彼らに対してマニュアルという切っ掛けを与えることで、自分達ではクリアできなかった何らかの障害が取り除かれ、自発的な環境改善が始まったと考える。

ロボットに名前を付けるために、学校全体でアンケートを取って決定するような、立案と実行能力。メンテナンスの為に仕組みやハードウェア技術に関して積極的に質問や操作を行う自発的学習。クラスルームを訪問して UGA の存在と出来ることを宣伝するという情報の発信。システムに関心を持つ人物に働きかけることで、これらの行為を誘発できるのであれば、アクティブラーニングに期待されている、学習者が自発的に学習に取り組むことで認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力の育成 [2] の達成に貢献すると考えられる。

7.3 学習エコシステムの創出についての考察

結果から、UGA は児童同士で相互に教えあう学習エコシステムを創出することができたと考える。また、エ

コシステムを維持・活性化させるようなコミュニケーションが発生した。

7.3.1 コンテンツの内容に関する分析

作成されたコンテンツ 76 個についてクラスタリングによる分析を行った。用いた項目は、

1. 文字数
2. 表情変化の総数
3. 各表情変化の回数 (笑顔, 怒り, 困惑, 驚き, 普通)
4. 身体動作の総数
5. 各身体動作の回数 (右腕, 左腕, おじぎ, 旋回)

である。

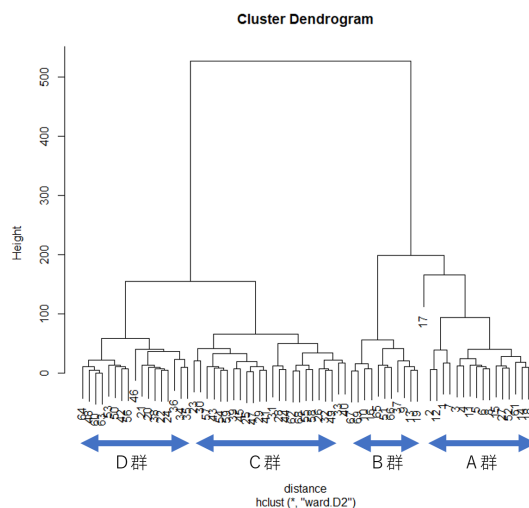


図 7: 階層クラスタリングの結果

図 7 に Ward 法による階層クラスタリングの結果を示す。今回は A,B,C,D の 4 群にわけた。

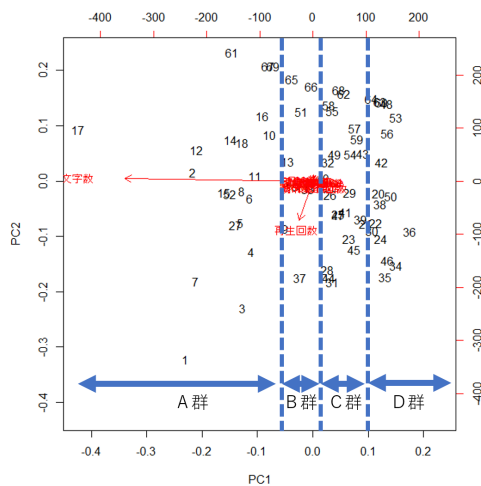


図 8: 主成分分析の結果

図 8 に主成分分析の結果を示す。図中の A,B,C,D はそれぞれ Ward 法で分けた群に対応する。ここで PC1 は文字数であり、寄与率は 0.9412 である。PC2 は再生回数であり、寄与率は 0.04324 である。コンテンツの文字数によって群が分かれていることがわかった。

表 1: 群ごとの Good 率

群	Good 率
A	0.190
B	0.141
C	0.0743
D	0.0650

表 1 に各群の Good 率の平均値を示す。文字数が多いコンテンツほど Good 率が高くなる傾向が見取れる。

次にコンテンツの内容についてより深く分析する。A 群に含まれるコンテンツの特徴として、

1. 「この本は〇〇な本です」といった、本のあらすじから始まる
2. 「〇〇のシーンが好き」など、自分が面白いと思ったアピールポイントを含む
3. 文章の区切りに (笑顔), (旋回) を多用する
4. コンテンツの始まり・終わりに (前に倒れる) を行う

といったものが挙げられる。

以下に A 群に含まれるコンテンツの例を挙げる。『この本は、とても面白く、たくさんのお話が詰まっています。お化けの本ですが (笑顔) とても面白い本です。オウマガドキという題名ですが、お馬がドキッと

という意味では、ありません。(驚愕) お化けや魔物に会う時間、夕ぐれどきのことだそうです。おもしろそうですね (笑顔) ぜひ読んでみてください。(旋回) (旋回) (前に倒れる)』

8 貢献と制限

今回、UGA を用いて 475 日間の実際の小学校におけるフィールド実験を行った。

実験参加者が小学生であるため、平均して一日 12 回のシステム停止を伴うトラブルが発生した。これにより、システムの利用を希望したが利用できなかったことによるモチベーションの減退があった可能性がある。

実験中、ロボットの動作中に手をつかんで止めてしまうといった事態が多発した。設計段階において、接触による危険性の対策はされているが、積極的に止めてしまうことについては考慮されていない。また、興味があるのでつい触ってしまう、考えた上であえて止めてみる、といった小学校内部にある年齢層毎の行動変化は考慮されておらず、影響がある可能性がある。

本研究は実施の小学校におけるフィールド実験のみを行った。実験室実験のような厳密に制御された条件下での実験が行っていないため、設計段階で考慮されていない要素により成果が得られる可能性がある。

コロナウィルス禍による影響で小学校の状態も平時と異なるため、影響がある可能性がある。

9 まとめと今後の展望

本研究では、提案するシステムを用いて 475 日間の実地検証を行うことで、児童の行動を観察した。運用方法の改善と児童による学習エコシステムを維持できる環境構築を行った。先行研究では運用開始から実働 54 日で飽きられて使用されなくなってしまったが、実働時間で 272 日間と長期的に利用し続けてもらうことができた。

児童から著者に対し「〇〇をしたい」「〇〇ができるようにしてほしい」といった要望が自発的に行われるといったことも確認された。先行研究で確認された上級生と下級生の学年を跨いだコミュニケーションが、学外・世代を跨いだコミュニケーションに発展したと考える。

ロボットに名前を付けるために学校全体でアンケートを取る、メンテナンスの為に仕組みやハードウェア技術に関して積極的に質問や操作を行う、クラスルームを訪問して UGA の存在と出来ることを宣伝する、といった大規模かつ児童間だけでなく大人も含めて世代を超えたコミュニケーションが発生した。システムに関心を持つ人物に働きかけることで、これらの行為を

誘発できるのであれば、アクティブラーニングに期待されている、学習者が自発的に学習に取り組むことで認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力の育成 [2] の達成できるシステムの実現に貢献すると考えられる。

現在、UGA はシステムの側からユーザに呼びかけなどを行う機能が無い。しかし、一部の積極的な児童への働きかけや、新規コンテンツ追加の告知といったインタラククションを行うことで、良い効果が得られると考える。例えば、ロボットがユーザに対して名前を呼びかけることは効果的なインタラククションであり [8][9]、コンテンツが追加された際に礼を言う、といった機能を盛り込むことで一層受け入れられ、エコシステムに対し良い影響があると期待できる。

単純な学習支援に留まらない利用が期待されると共に、実現に尽力したい。

謝辞

本研究は著者が筑波大学大学院システム情報工学研究科知能機能システム専攻博士前期課程に在籍中に行ったものである。本研究を進めるにあたり、ご教導ご鞭撻をいただきました大澤博隆助教に深謝する。そして、本研究の趣旨を理解し、快くご協力いただいたつくば市立今鹿島小学校の先生方をはじめとした関係者の皆様、および児童の皆様に深謝する。また、日常の議論を通じて知識や示唆を提示し、惜しまず技術・人的資源的な協力を頂いた HAI 研究室の皆様に深謝する。

参考文献

- [1] S. Freeman, S. L. Eddy, M. McDonough, M. K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt, and M. P. Wenderoth, "Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 111, No. 23, pp. 8410–8415 (2014)
- [2] 経済産業省, "用語集," 2012. [Online]. Available: https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2012/10/04/1325048_3.pdf. (cited 2021-12-25)
- [3] T. Kanda, T. Hirano, D. Eaton, and H. Ishiguro, "Interactive robots as social partners and peer tutors for children : A field trial," *Human-Computer Interaction*, Vol. 19, No. 1-2, pp. 61-84 (2004)
- [4] F. Tanaka and S. Matsuzoe, "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)
- [5] F. Jimenez and M. Kanoh, "Robot That Can Promote Learning by Observing in Collaborative Learning," in *Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 2304–2309 (2013)
- [6] T. Sato, Y. Kudo, and H. Osawa, "Book introduction robot designed by children for promoting interest in reading," in *Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction*, pp. 17–25 (2017)
- [7] M. Cha, H. Kwak, P. Rodriguez, Y. Y. Ahnt, and S. Moon, "I tube, you tube, everybody tubes: Analyzing the world's largest user generated content video system," in *Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM Internet Measurement Conference*, pp. 1–14 (2007)
- [8] A. Ramachandran, C. M. Huang, and B. Scassellati, "Toward effective robot-child tutoring: Internal motivation, behavioral intervention, and learning outcomes," *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, Vol. 9, No. 1, pp. 1–23 (2019)
- [9] K. Liles, D. Bryant, and J. Beer, "How Can Social Robots Motivate Students to Practice Math?," in *Proceedings of the 12th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 353–354 (2017)