

令和元年6月12日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02889

研究課題名(和文) 学習者に共感して協調学習を行う教育支援ロボット

研究課題名(英文) Educational-Support Robot Empathizing Learners for Collaborative Learning

研究代表者

古橋 武 (Furuhashi, Takeshi)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：60209187

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、学習者に飽きられることなく共に学び合う教育支援ロボットを開発した。多様な表情変化および身体動作が可能なタブレット型教育支援ロボットTabotを開発し、Tabotを用いて表情変化と身体動作を組み合わせる共感表出法を提案した。共感表出法は、ロボットが学習者に共感するような感情を表出する手法である。実験により、共感表出法を搭載したロボットが、学習者のロボットに対する飽きを軽減し、学習者に好印象を与えることを示した。また、交互に問題を解き合う協調学習を促すロボットの行動モデルを開発した。実験により、行動モデルを搭載したロボットは、学習者と協調学習を行えることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、高齢者、学習遅延児童、自閉症スペクトラム障害児などに対して、家庭学習における教育支援の重要性が指摘されている。本研究のTabotは、タブレットを用いているため低価格化が容易であり、普及を期待できる。本研究における共感表出法および行動モデルをロボットに搭載することで、家庭学習においてロボットと共に学び合う学習環境を実現でき、求められている教育支援のニーズに応えられる可能性を持つ。また、Tabotは、従来ロボットでは不可能であった多様な身体動作と表情変化の同時駆動が可能であり、人との相互作用の検証実験に活用できるため、ロボット工学や心理学の発展に大きく貢献できると期待される。

研究成果の概要(英文)：This study developed an educational support robot which enabled the collaborative learning with learners and prevented the learners from losing interest in the robot. First, we developed a tablet robot named Tabot whose head consisted of a tablet. Tabot was able to express a lot of facial expressions and many body motions. Next, we proposed a sympathy expression method and a behavioral model of the robot for the collaborative learning. The proposed method expressed sympathetic emotions by using robot's body movements and facial expressions. The results of experiment showed that the robot with the proposed method improved learners' impressions of robots. The behavioral model was designed to alternately perform a speaker and a listener. As a speaker, the robot solved problems, and as a listener, the robot observed the learner who was solving the problems. The result showed that the robot with the proposed model prompted learners to improve their learning effects.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：ソフトコンピューティング 感性ロボティクス ヒューマンロボットインタラクション

## 1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会を迎え、生涯学習に取り組む高齢者人口が増えている。高齢者にとっては、人との交流を通じた学習が重要であるばかりでなく、家庭学習も重要である。また、学習が遅れている児童/自閉症スペクトラム障害児などに対しては家庭学習における教育支援の重要性が指摘されている<sup>1)</sup>。教育支援ロボットはこのニーズに応えられる可能性を持っている。海外では Hung らが、教員のように学習内容を教えるタイプのロボットを提唱し<sup>2)</sup>、国内では松添らが、ロボットが学習者に教えられる立場となつてともに学ぶタイプのロボットを提唱していた<sup>3)</sup>。後者は学習者を支援し、学習者の自信、やる気を起こさせることができるため、前者より家庭学習に適している。しかし、単に教えられだけのロボットでは学習者からすぐに飽きられてしまう。

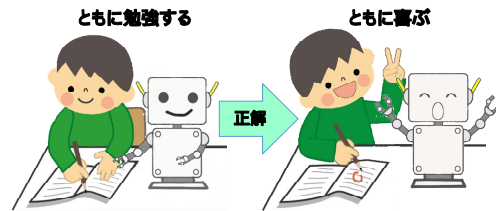


図1：共感するロボット

申請者らは、ロボットが学習の進展に応じて学習者に共感することで飽きを防げるのではという着想を得た(図1)。そして、学習状況に応じてロボットの表情を変化させることで、ロボットが学習者に共感する感情表出法を提案した。提案法は、人の感情を円環上に配した Russell の感情円環モデル<sup>4)</sup>空間における正解/不正解の二つの感情ベクトルを用いた共感表出法である。被験者実験により、Russell のオリジナルモデルに比べて、提案手法は学習者に高い親密度と共感度を与えることを示した。これにより、ロボットが学習者に共感していると学習者に感じさせることで、飽きを防ぐ効果があることを示した。しかし、十分に飽きを防げたとは言えない状況にあった。

また、申請者らはロボットによる効果的な学習支援法として、人間同士が交互に問題を解き合う協調学習に着目した。協調学習は、学習者の学習意欲と学習効果を向上させられ、小学生から高齢者まで幅広い教育支援に活用されている<sup>5)</sup>。申請者らは、人とロボットが交互に問題を解き合う協調学習の枠組みを提唱し、問題を解く動作と、学習者を観察する動作を組み込んだロボットによる協調学習の効果を示した。しかし、半数近い被験者がロボットとの協調学習を途中から放棄してしまう結果となった。

本申請研究では、以上の経緯を踏まえ、表情と身体動作を合わせた共感表出法を開発し、また、協調学習を持続させるロボットの行動モデルを開発することとした。そして、家庭学習において、学習者とともに学び、学習者に共感し、学習者に寄り添うパートナーロボットの構築を目指した。

## 参考文献

- 1) 文部科学省 HP: 特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する調査結果について,2012
- 2) I-C. Hung et al: Journal of Interactive Learning Environments, Vol.21, No.2, 2013
- 3) 松添, 他: 人工知能学会論文誌, Vol.28, No.2, pp.170-178, 2013
- 4) J. A. Russell: Journal of Personality and Social Psychology, pp. 1161-1178, 1980
- 5) C.E. Humelo-Silver et al: Educational psychology handbook, Routledge, 2013

## 2. 研究の目的

本申請研究では、家庭学習において、学習者に共感しながら協調学習を行う教育支援ロボットの開発を目的とした。そのために、以下の(1)~(4)について取り組んだ。

### (1) 身体動作による感情表出法の開発

上半身可動のロボットを用いて、感情表現動作を種々生成し、被験者実験を行い、感情の伝達度合いを調査する。感情表現動作はラバン理論<sup>6)</sup>を基にして、身体、頭部の傾き、腕の開き・挙げ、肘の曲げなどによる姿勢と、姿勢変化の時系列パターンを組み合わせ、感情円環モデルとの対応関係を明らかにする。

### (2) 表情と身体動作による共感表出法の開発

多様な表情変化および身体動作を行えるロボットを製作し、表情と身体動作を組み合わせ、学習者に共感するような感情を表出する共感表出法を開発する。感情円環モデルを基に、被験者実験により表情・身体動作との対応関係を明らかにする。また、学習者にロボットが共感していることをより実感させるために、ロボットの発話内容の自動生成法について基礎検討を行う。

### (3) 協調学習を促す行動モデルの開発

人とロボットの協調学習を持続させる行動モデルを開発する。ロボットは問題を解く動作と学習者を観察する動作を交互に実行する。問題を解く動作には、学習者の進捗状況に同調し、一貫性のある解答を行う学習能力、学習者が間違えた問題を解説して解答する学習支援能力などを備える。学習者を観察する動作には、ヒントを提供する学習支援能力、経過時間/正誤の状況に応じた共感表出能力などを備える。被験者実験により主に持続性の観点から各能力の効果を検証する。

#### (4) 学習者に共感しながら協調学習を行う教育支援ロボットの開発

(2)で製作した上半身可動で表情可変のロボットに(2)で開発した共感表出法と(3)で開発した行動モデルを搭載し、学習者に共感して協調学習を持続させるロボットを開発する。

#### 参考文献

6) 増田, 他: 日本感性工学会論文誌, Vol.10, No.2, pp.295-303, 2011

### 3. 研究の方法

#### (1) 身体動作による感情表出法の開発

従来のロボットの身体表現法に、ラバン理論に基づいて身体の傾きや腕の動きで感情を表す方法がある。しかし、従来の身体表現法における感情を表す動作は、大人の身体をモチーフとしているため、腕を大きく動かす必要がある。申請者らは、身体における最小の動作で感情を表すことができるロボットの感情表出法を開発した。そして、身体、頭部の傾き、腕の開き・挙げ、肘の曲げなどによる姿勢と、姿勢変化の時系列パターンを組み合わせ、感情円環モデルとの対応関係を明確にした。

#### (2) 表情と身体動作による共感表出法の開発

表情と身体動作を同時に変化させられるロボットを試作した。試作ロボットは、身体動作に特化したロボット RPC-S1 と表情変化に特化したロボット Ifbot, Badyloid をベースとした。また、ロボットのデザインは、幅広い年齢層の学習者に親近感を持たせられることを主眼として、デザイナーに外注した。

従来研究における表情変化による共感表出法に、(1)の身体動作における感情表出法を組み合わせ、相乗/相殺効果を調べた。その結果を基に、表情変化と身体動作による共感表出法を構築し、試作ロボットへ搭載し、検証した。

#### (3) 協調学習を促す行動モデルの開発

二人の学習者による協調学習の成立方法として、交互に問題を解くことで起こる建設的相互作用<sup>9)</sup>が挙げられる。本研究では、ロボットが問題を解く動作のために、ロボットの正解率を学習者と同じように変動させる学習能力、および、モデリングと呼ばれる学習支援能力を加えた。モデリングとは、二人の学習者が共に学習する際に一人の学習者が解けなかった問題をもう一方の学習者が解説しながら解く学習支援法<sup>10)</sup>である。これらの能力により、学習者はロボットが適切に支援してくれると実感して親密度が高まり、学習効果が向上すると期待される。学習者がロボットと交互に問題を解く実験を通して、学習効果を検証した。

#### (4) 学習者に共感しながら協調学習を行う教育支援ロボットの開発

表情と身体動作を付加したロボットに行動モデルを搭載して被験者実験を実施し、同じ行動モデルでも、表情と身体動作の付加が、学習者により好印象を与えるどうかを検証した。

#### 参考文献

- 7) 東山, 他: ボディートーク 世界の身ぶり辞典, 三省堂, 2016
- 8) 東山, 他: 日米ボディートーク, 三省堂, 2016
- 9) H. Shirouzu et al: Cognitive Science, Vol.26, pp.469-501, 2002
- 10) A. Collins et al: Cognitive apprenticeship, American Educator, 1991

### 4. 研究成果

#### (1) 身体動作による感情表出法の開発

H28年度では、心理学の知見<sup>7)8)</sup>を基に、上半身における最小の動作で感情円環モデル上の感情を表出できる感情表出法を構築した。感情表出法は、ロボットの身体動作を用いて18種類の感情を表出できる。感情表出法を(2)で開発したタブレット型教育支援ロボット Tabot に搭載し、被験者実験を実施したところ、感情表出法を用いた Tabot はユーザに対して的確に感情円環モデル上の感情を伝達できることを示唆する結果を得た[業績 11]。



図 2: Tabot

#### (2) 表情と身体動作による共感表出法の開発

H28年度では、多様な表情と身体動作による感情表現が可能なロボットとして、タブレット上のエージェントと身体が可動するスタンドを組み合わせたタブレット型教育支援ロボット Tabot を開発した(図 2)。タブレットには 24 種類の表情を表出するエージェントを実装した。スタンドは、胴体部分(自由度 1)、腕部分(自由度 3)、首部分(自由度 3)が可動できる。これにより、Tabot は多様な表情変化と身体動作による感情表現が可能である。

H29年度では、身体動作による感情表出法と、従来の表情変化による共感表出法を組み合わせ、相乗/相殺効果を調査し、表情変化と身体動作による共感表出法(図 3)を構築した。短期実験を通して、本共感表出法を搭載した Tabot は、従来の表情変化による共感表出法のみを搭載

した Tabot と比べて、学習者の Tabot に対する印象を向上させられる結果を得た[業績 3,8]。また、学習者にロボットが共感していることをより実感させるには、ロボットの発話内容が重要である。そこで適切な発話内容の生成法の基礎検討として、twitter から収集したデータを基に、学習者の興味に応じた発話を生成する手法を検討した。被験者実験を通して、趣味に関する適切な発話内容が生成できることを示した[業績 12]。

H30 年度では、大学生を対象に長期実験を実施し、本共感表出法を搭載した Tabot が、学習者に与える印象を向上させ、ロボットへの飽きを軽減する結果を得た[業績 1,9]。しかしながら、共感表出法を搭載したロボットにおいて、学習者の連続正解時に感情表出が画一化する課題が見えた。そこで連続正解時でも同一感情の表出を防ぎ、多種多様な感情を表出できる感情ベクトル更新法の開発を行った。シミュレーション実験および短期被験者実験を実施し、新しい感情ベクトル更新法を搭載したロボットが、連続正解時においても多様な感情を表出でき、学習者に与える印象を向上させた。また、H29 年度に作成した共感発話生成法を対話システムに搭載し、ユーザの趣味に対応した発話生成内容を検証した。その結果、共感発話生成法によって生成された発話内容は、従来の発話生成手法に比べて、ユーザに有意に好まれる結果を得た[業績 2]。

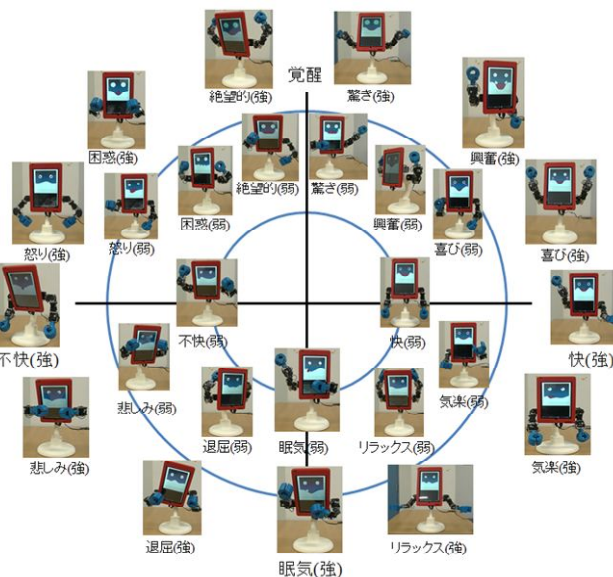


図 3：表情変化と身体動作による共感表出法

### (3) 協調学習を促す行動モデルの開発

従来の協調学習を促すロボットの行動モデルは、ロボットが問題を解く動作と学習者を観察する動作を交互に実行する行動モデルである。H28 年度では、ロボットが問題を解く動作に、ロボットの正解率を学習者と同じように変動させる学習能力、モデリングと呼ばれる学習支援能力を新たに搭載し、被験者実験を通して各能力の効果を検証した。実験の結果、ロボットの正解率を学習者と独立して変動させることが協調学習の持続性の向上に有効であること[業績 5,13]、そして、モデリングによる学習支援が協調学習による学習効果を向上させられることを示した[業績 7]。発達障害児は、自尊心が低い傾向にあるため、学習に対するモチベーションや集中力が低いという問題がある。H29 年度では、学習者にヒントを提供する学習支援能力の基礎検討として、Learning by Teaching をロボットに搭載した。本行動モデルを図 4 に示す。この行動モデルを搭載したロボットと共に学習した発達障害児は、単独で学習する場合と比べて、児童の学習時間が向上することを示した[業績 6,10]。

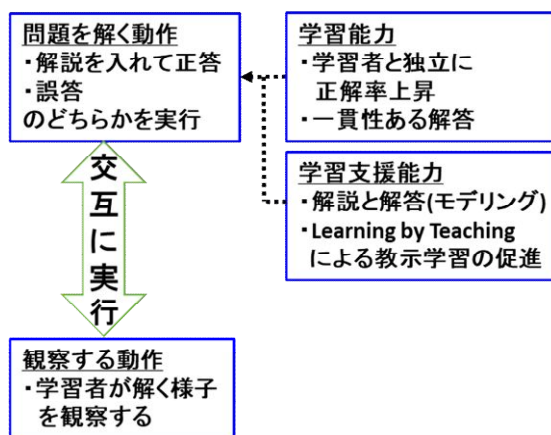


図 4：構築した行動モデルの概要

### (4) 学習者に共感しながら協調学習を行う教育支援ロボットの開発

H30 年度では、表情による共感表出法と H28 年度に開発した協調学習の行動モデルを Ifbot (表情可変ロボット) に搭載して被験者実験を実施し、共感表出法の無い場合と比べて学習者に与える印象を向上させる結果を得た[業績 4]。また、表情と身体動作を付加した Tabot に行動モデルを搭載して被験者実験を実施し、同じ行動モデルでも、表情と身体動作の付加が、学習者により好印象を与える結果を得た。

H30 年度において、(2)の表情変化と身体動作による共感表出法と、(3)の協調学習を促す行動モデル(図 5)をタブレット型教育支援ロボットへ搭載することで、学習者に共感しながら協調学習を行う教育支援ロボットを構築した。協調学習における Tabot の動作例を図 5 に示す。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7 件)

Y. Tanizaki, F. Jimenez, T. Yoshikawa, T. Furuhashi and M. Kanoh: Effects of Educational Support

Robots using Sympathy Expression Method with Body Movement and Facial Expression on the Learners in Short- and Long-term Experiments, Special Issue on Advancement in Engineering and Computer Science, Advances in Science Technology and Engineering Systems Journal(ASTESJ), vol.4, no.2, pp.183-189, 2019. (査読有り)

宅和晃志, 吉川大弘, ジメネスフェリックス, 古橋武: 非タスク指向型対話システムにおけるあるあるツイートからの共感誘発型発話生成手法に関する検討, 知能と情報, vol.30, no.5, pp.744-752, 2018. (査読有り)

谷寄悠平, ジメネスフェリックス, 吉川大弘, 古橋武: 教育支援ロボットにおける身体動作と表情変化による共感表出法の印象, 知能と情報, vol.30, no.5, pp.700-708, 2018. (査読有り)

F. Jimenez, T. Yoshikawa, T. Furuhashi and M. Kanoh: 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. (査読有り)

ジメネスフェリックス, 吉川大弘, 古橋武, 加納政芳: ロボットの正解率の変動が人との協調学習に及ぼす親密性への効果, 人工知能学会論文誌, vol.32, no.5, pp.C-H13\_1-10, 2017. (査読有り)

ジメネスフェリックス, 吉川大弘, 古橋武, 加納政芳, 中村剛士: Learning by Teaching を促すロボットと発達障害の可能性を持つ児童との共同学習による学習時間増加の可能性, 人工知能学会論文誌, vol.32, no.5, pp.A-H11\_1-11, 2017. (査読有り)

ジメネスフェリックス, 加納政芳, 吉川大弘, 古橋武: 学び方が変化するロボットとの共同学習がもたらす Learning by Observing の実現可能性, 人工知能学会論文誌, vol.32, No.2, pp.D-G51\_1-12, 2017. (査読有り)

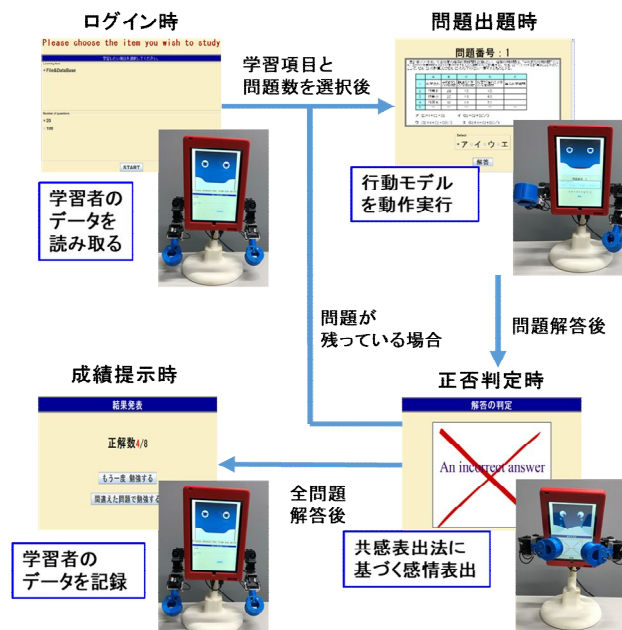


図5：協調学習時における Tabot の動作例

〔学会発表〕(計6件)

- Y. Tanizaki, F. Jimenez, T. Yoshikawa and T. Furuhashi: Impression Investigation of Educational Support Robots using Sympathy Expression Method by Body Movement and Facial Expression, Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS 2018), 2018.
- Y. Tanizaki, F. Jimenez, T. Yoshikawa and T. Furuhashi: Effect of Sympathy Expression Methods by Educational-Support Robot using Facial Expression and Body Motion in Long Term Experiment, IEEE World Congress on Computational Intelligence (IEEE WCCI 2018), 2018.
- F. Jimenez, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, M. Kanoh and T. Nakamura: Collaborative Learning between Robots and Children with Potential Symptoms of a Developmental Disability, 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (IEEE SSCI 2017), 2017.
- Y. Tanizaki, F. Jimenez, T. Yoshikawa and T. Furuhashi: Examination of Expressing Emotion by Body Motion for an Educational-Support Robot, The 18th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2017), 2017.
- K. Takuwa, T. Yoshikawa, F. Jimenez and T. Furuhashi: A Study on Document Classification using Multiple Distributed Representations, Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS 2017), 2017.
- F. Jimenez, T. Yoshikawa, T. Furuhashi and M. Kanoh: Effects of Varying Accuracy Rate of a Robot in Collaborative Learning with Humans, Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS 2017), 2017.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況（計0件）

〔その他〕特になし。

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：吉川 大弘

ローマ字氏名：Tomohiro YOSHIKAWA

所属研究機関名：名古屋大学大学院

部局名：工学研究科

職名：准教授

研究者番号（8桁）：20303753

研究分担者氏名：中村 剛士

ローマ字氏名：Tsuyoshi NAKAMURA

所属研究機関名：名古屋工業大学大学院

部局名：工学研究科

職名：准教授

研究者番号（8桁）：90303693

研究分担者氏名：加納 政芳

ローマ字氏名：Masayoshi KANO

所属研究機関名：中京大学

部局名：工学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：90387621

研究分担者氏名：ジメネス フェリックス

ローマ字氏名：Felix JIMENEZ

所属研究機関名：愛知県立大学

部局名：情報科学部

職名：助教

研究者番号（8桁）：60781507

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：橋本学

ローマ字氏名：Manabu HASHIMOTO