原著論文

復習におけるヒントを提供する ロボットが与える効果†

ジメネス フェリックス*¹・加納 政芳*²・早瀬 光浩*³・田中 貴紘*⁴・金森 等*⁴

近年、ロボット関連の技術進展により、教育場面での使用を想定した教育支援ロボットの研究開発が行われている。従来研究では、未知の学習内容を学習する学習者に対して学習効果を検証している。本論文では、これまでに注目されてこなかった学習者と共に過去に一度学習した内容を再び学ぶ復習を行う教育支援ロボットについて検討する。本論文における復習とは、一度学んだ内容と全く同一の内容（問題）を学ぶものと定義する。教育学では、復習を学習内容の記憶定着の重要な要因の一つとして挙げている。既存の学習手法よりも学習効果の高い教育支援ロボットとの学びは、復習する学習者に対しても有効に働くと考えられる。特に、復習を行う学習者は学習内容を一度学習しているため、学習内容を教示するのではなく、ヒントを提供することが有効であると考えられる。そこで本論文では、学習者がロボットと共に一度学習した内容を復習した場合に、ロボットが学習者にヒントを提供することは、ロボットが介在しない学習システムが学習者にヒントを提供することに比べて有効であるかを検証する。具体的には、学習者とロボットの復習から時間が経過した後の記憶量を定量的に評価し、学習システムと比較することで、復習におけるロボットとの共同学習がもたらす効果を評価する。

キーワード：コミュニケーションロボット, Human-Robot-Interaction, 教育支援ロボット, 学習効果, 復習

1. はじめに

近年、ロボット関連の技術進展により、教育場面での使用を想定した教育支援ロボットの研究開発が行われている [1]。例えば、Han ら [2] は IROBOI という腹部にモニターを有するロボットを用いて、ロボットが子どもに英語を教示する学習実験を行っている。実験の結果、既存の e-learning や教科書を用いた学習手法に比べ、ロボットを用いた場合、子どもの英語学習に対する集中度や学習効果を高められると報告している。また、ロボットは画面上エージェントと比較し、アドバイスに優位性があること [3] や、心理的に難度の高いタスクを行う際にはユーザに与える影響力が高いこと [4]、与えられたタスクに対して子どもがより集中すること [5] が示されている。教育支援ロボットの研究事例においても、ジメネスら [6] は、ロボットとの学習は、画面上のエージェントよりも高い学習効果を有することを報告している。このような背景から、教育支援ロボットが数多く開発されてはいるものの、それらは、未知の学習内容を学習する学習者に対して学習効果を検証しているのみ

である [7]。具体的には、全く未知の分野を学習するもの（資格に関する学習など）、既知の学習分野ではあるが学習内容を深化させるもの（言語学習など）、既知の学習分野を拡張するもの（応用分野への学習など）が、従来研究における学習内容の対象である。本論文では、これまでに注目されてこなかった学習者と共に過去に一度学習した内容を再び学ぶ復習を行う教育支援ロボットについて検討する。本論文における復習とは、一度学んだ内容と全く同一の内容（問題）を学ぶものと定義する。既知の数学の公式を使って、未解の類題を解くような学習や、既知の英単語を別の英文で意味を推測するような学習は、本論文における復習には含まれない。

教育学では、一度学習した内容を再び学ぶ復習を、学習内容の記憶定着の重要な要因の一つとして挙げている。このことから、復習に関する様々な教育学的アプローチ [8, 9] が進められている。また、復習環境を工学的に実現する研究として、土肥 [10] らは、大学の講義を効率的に学習する学習システムを開発している。これにより、学習システムは新しい学習内容を学ぶときだけでなく、復習においても有効であることを示している。我々は、Han ら [2] の研究結果から、既存の学習手法よりも学習効果の高い教育支援ロボットとの学びは、一度学習した内容を復習する学習者に対しても有効に働くと考えられる。特に、復習を行う学習者は学習内容を一度学習しているため、学習内容を教示するのではなく、ヒントを提供することが有効であると考えられる。実際に、成績が良い学習者や学習内容に事前知識がある学習者には、ロボットが直接的な教示を行うことに比べて、ヒントを提供することは学習者の学習意欲や学習効果の向上につながることを報告されている [11, 12]。学習者が復習する場合においても、従来研究 [2] のようにヒントを提供するロボットとの共同学習は、ヒントを提供する学習システムによる単独学習に比べて、学習者にもたらす効果を向上できること考える。

† Effects of Robots Giving a Hint for Learners Review the Learning Contents

Felix JIMENEZ, Masayoshi KANO, Mitsuhiro HAYASE, Takahiro TANAKA, and Hitoshi KANAMORI

*1 愛知県立大学情報科学部

School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

*2 中京大学工学部

School of Engineering, Chukyo University

*3 豊橋創造大学経営学部

Faculty of Business Administration, Toyohashi Sozo University

*4 名古屋大学未来社会創造機構

Institute of Innovation for Future Society, Nagoya University

そこで本論文では、学習者がロボットと共に一度学習した内容を復習した場合に、ロボットが学習者にヒントを提供することは、ロボットを介在しない学習システム（以下、学習システム）が学習者にヒントを提供することに比べて有効であるかを検証する。具体的には、学習者とロボットの復習から時間が経過した後の記憶量を定量的に評価し、学習システムと比較することで、復習におけるロボットとの共同学習がもたらす効果を評価する。実験では、ロボットと共に復習する群として、(1) 常にヒントを提供するロボットと学習者が共に復習する群、(2) 要求時にヒントを提供するロボットと学習者が共に復習する群を用意し、ロボットを用いない群として、(3) 常にヒントを提供する学習システムを用いて復習する群、(4) 要求時にヒントを提供する学習システムを用いて復習する群、そして、(5) ヒントを一切提供しない学習システムを用いて復習する群の計5群による比較実験を実施する。これにより、復習における教育支援ロボットの活用の可能性、ならびにヒントの提供タイミングによる学習効果の差異を検証する。

本論文では、初めに第2章に実験で用いるロボットの概要について述べる。次に第3章において、被験者実験を通して、復習時にロボットが与える効果について評価する。そして、第4章で考察し、第5章でまとめる。

2. ロボットの概要

2.1 ロボットの外観

ロボットには、教育支援ロボットの研究分野 [13] にも使用され、多様な表情を表出できる会話型コミュニケーションロボット“Ifbot”（図1）を用いる。本論文では、学習者が学習システムで提示される問題を解きながら復習する実験を実施する。そこでIfbot 内部に学習システムを実装することで、学習システムと連動させることが可能となる。ロボットによるヒント提供が、学習者にどのような学習効果を与えるかを検証するため、ロボットには音声認識など、学習者の意図理解に直接的に関わるような機能は使わず、学習システムの画面に応じて動作するものとした。また、ロボットの動作は顔の表情のみであり、手や身体は作動しない。

2.2 ロボットの動作

本実験では、学習者が問題を解きながら復習する際に、問題が提示されたら常にヒントを提供するロボットと、学習者の要求時にヒントを提供するロボットを比較する。そこでロボットには下記の二つの動作を実装し、実験の群に応じて動作を実行するように設定する。また本実験では、運転免許学科試験における標識・標示問題 [14] を教材として使用する。そのため、ロボットが提供するヒント内容は、「この標識には、P という文字が書かれているね。どういう意味だと思う」などと、標識・標示に描かれている絵や字を説明する内容である。

(1) 常時ヒント提供動作

ロボットは、学習システムの学習画面（図4(b)）が提示された時、図2のような話す表情を表出しながら、「この標識には、〇〇が書かれているね。」などと発話し、学習者へヒントを提供する。

図1 Ifbotの外観

話しかける表情1

話しかける表情2

図2 ロボットの話しかける表情例

RHU 群および RHR 群

SHU 群、SHR 群および SHN 群

図3 実験環境

(2) 要求時ヒント提供動作

ロボットは、学習者が学習システムの学習画面にあるヒントボタンを押下した際に、図2のような話す表情を表出しながら、「この標識には、〇〇が書かれているね。」などと発話し、学習者へヒントを提供する。

3. 実験

3.1 方法

本実験では、学習者を5つの群（Robot-Hint-Usually (RHU) 群, Robot-Hint-Request (RHR) 群, System-Hint-Usually (SHU) 群, System-Hint-Request (SHR) 群, System-Hint-Nothing (SHN) 群）に振り分けて、学習効果を比較する実験を実施する。RHU 群では、学習者は常時ヒント提供動作のみ実行するロボットと共に学習する。RHR 群では、学習者は要求時ヒント提供動作のみ実行するロボットと共に学習する。SHU 群では、ロボットのように常時ヒント提供動作が設定された学習システムを用いて学習者が単独で学習する。SHR 群では、ロボットのように要求時ヒント提供動作が設定された学習システムを用いて学

図4 学習システム

習者が単独で学習する。SHN 群では、ヒントを一切提供しない学習システムを用いて、学習者が単独で学習する。

本論文における復習とは、一度学んだ内容と全く同一の内容（問題）を学ぶものと定義する。復習の題材として、最適なものの一つが「運転免許学科試験」であると考え、本実験では運転免許学科試験模擬問題集における標識・標示問題 [14] を題材として使用した。運転免許学科試験では、試験内容に関する暗記のみ行う。つまり、学習に関して、応用や推測などの必要がない。また、運転免許学科試験を合格した者は、一定レベル以上の知識を有していたことが担保される。そこで普通運転免許を所持する大学生・大学院生を実験における学習者として、過去に学科試験を合格する程度の知識を有していたことを保証させるとともに、復習によってその知識を呼び起こす学習環境を整えることができると考えた。

実験に参加する学習者は、普通運転免許証を所持してから、1 年～7 年経過した大学生・大学院生 50 名（男性 25 名、女性 25 名）である。これらにより、本実験では学習者に対して一度学習した内容を復習するという環境を整えた。実験時の環境を図 3 に示す。50 名の学習者を、各群に対して男子 5 名、女子 5 名の合計 10 名になるようにそれぞれ振り分けた。各群の学習者には、学習システムで提示される問題 25 問を 2 回解くように指示した。

3.2 学習システム

本実験において、学習者とロボットが共に学習する学習システムには、運転免許学科試験模擬問題集における標識・標示問題を用いた。問題は、「運転免許学科試験模擬問題集サイト」

[14] を基に問題を 25 問作成し、その問題を提示する学習システムを開発した（図 4）。

本システムの操作手順について説明する。まず、ログインすると、学習項目と問題数を選択する画面が現れる（図 4(a)）。今回の学習システムでは、学習項目は「標識・標示」のみで構成される。学習項目の下の問題数において、「25」を選択する。学習項目と問題数を選択して「START」をクリックすると、図 4(b) のような学習画面が現れ、学習を始めることができる。学習者は問題を解き、選択肢から解答を選択した後、「解答」をクリックする。また、「ヒント」を押下すると、問題の解き方のヒントを音声にて提供される。このヒントボタンは、ロボット共同群（ヒント要求時）と単独学習群（ヒント要求時）の学習システムのみに表示される。ロボット共同群（ヒント要求時）と単独学習群（ヒント要求時）の学習者には、ヒントが必要な場合はヒントボタンを押下するようにと指示した。解答後、図 4(c) のように、正解または不正解が表示される。このとき、表示された問題とその解説も併せて表示される。「次の問題へ」をクリックすると次の問題の画面に移移する。「結果」をクリックする、または全問題を解答し終わると、図 4(d) のように正解数が表示される。図 4(d) で「間違えた問題で勉強する」を選択すると、間違えた問題で学習を行うことができる。また、「もう一度勉強する」を選択すると、学習項目の選択ページ（図 4(a)）に戻る。

本実験では、学習者に学習システムの問題 25 問を全て解くように指示した。問題を全て解き終わり、図 4(d) が表示された場合、「もう一度勉強する」を選択するように指示した。そして、「START」をクリックして、もう一度問題 25 問を解くよ

うに指示した。各群の学習者は、上記のように学習システムで提示される問題 25 問を 2 回解く。

3.3 評価基準

本実験では、事前テストを 1 回、事後テストを 2 回実施する。事前テストは実験日の 1 週間前に、1 回目の事後テスト 1 は実験日の 1 週間後に、2 回目の事後テスト 2 は実験日の 2 週間後に、各群の学習者に対して実施する。事前、事後テスト 1、2 に出題される問題は学習システムと同様の問題であり、25 問で構成される。本実験では、学習者は学習システムで提示される問題 25 問を 2 回解くように指示したところ、各群の学習者全員が 2 回目において全て問題を正解することが観察された。そこで事後テストを実験の 1 週間後と 2 週間後に実施することで、実験から一定期間経過後において学習者がどれくらい学習内容を学習したかを評価した。

本実験では、事前、事後テスト 1、2 から算出される、3 つの点数差を評価基準とし、復習におけるヒントを提供するロボットを評価する。1 つ目は、事前テストと事後テスト 1 の点数差（以下、向上点 1）である。向上点により、実験開始前から実験後において学習者の学習内容に対する学習効果を評価する。向上点が高いほど、学習者は学習内容を学習できたと評価できる。2 つ目は、事後テスト 1 と事後テスト 2 の点数差（以下、減少点 1）である。減少点により、実験後の 1 週間から 2 週間において、学習者の学習内容に対する記憶量を評価する。減少点が低いほど、学習者は実験から時間した後でも学習内容を記憶していると評価できる。

向上点、減少点の検定には分散分析を、下位検定にはヘイター・フィッシャーの改良法をそれぞれ適用し、検定を実施した [15]。有意水準が 5% のときに有意差を認めるものとし、検定を向上点、減少点に対して 1 回ずつ、合計 2 回行う。本論文では 2 回の多重比較検定を行うので、ボンフェローニの方法を用いて、実験計画全体の有意差の名義水準を $p < 0.025$ に調整した [16]。

3.4 結果

図 5 に各群における事前、事後テスト 1、2 の平均点を示す。図 5 から、各群の事前テストの平均には大きな点数の差はないことがわかる。そのため、学習前の各群における学習内容に関する知識は等質であったと考える。

図 6 に各群における向上点の平均を示す。図 6 から、RHU 群における向上点の平均が最も高いことがわかる。そして、RHR 群、SHN 群、SHR 群、SHU 群という順である。これより、ロボットと共に復習した学習者は、学習システムによって復習する学習者に比べて、向上点を向上できる可能性があると考えられる。しかしながら、各群の向上点に対して分散分析を実施したところ、有意差が認められなかった (F 値 = 0.621, 自由度 (4, 45), p 値 = 0.650 *n.s.*)。そのため、各群の学習者において、復習した内容をもう一度学ぶことに関する効果に差はないと考えられる。

図 7 に各群における減少点の平均を示す。図 7 から、減少点は RHU 群が最も低く、次いで RHR 群、SHU 群、SHR 群、

図 5 各群における事前、事後テスト 1、2 の平均点

図 6 各群における向上点の平均

図 7 各群における減少点の平均

SHN 群の順であることがわかる。各群間において実験後から学習内容をどれくらい記憶しているかを統計的に評価するため、各群の減少点に対して分散分析による検定を実施した。その結果、各群間において減少点に有意差が認められた (F 値 = 5.186, 自由度 (4, 45), p 値 = 0.0016 $*$)。そして、下位検定であるヘイター・フィッシャーの改良法を実施したところ、図 7 に示すように RHU 群は SHU 群、SHR 群、SHN 群間において有意差が認められた。また、RHR 群と SHN 群間においても有意差が認められた。これらのことから、RHU 群の学習者は、SHU 群、SHR 群、SHN 群の学習者に比べて、実験終了日の 2 週間後において復習した内容を記憶していることが示唆できる。

4. 考察

学習者が問題を解きながら復習するという学習環境において、常にヒントを提供するロボットとの共同学習は、三種類の学習システム（常にヒントを提供する場合、学習者の要求時にヒントを提供する場合、ヒントを一切提供しない場合）を個々に用いた単独学習に比べて、復習した内容を記憶していることが示唆できる。しかしながら、ロボットと共に復習する共同学習（RHU 群、RHR 群）と、学習システムを用いて単独で復習する学習（SHU 群、SHR 群、SHN 群）においては、学習者が復習した内容をもう一度学ぶことに関する効果に違いはなかった。

常にヒントを提供するロボットとの共同学習が、三種類の学習システムとの単独学習に比べて学習者の復習に対して効果的に働いたのは、ロボットの人を引き付ける存在感 [17] が要因であると考えられる。従来研究 [18] では、ロボット科学館における展示品の説明をロボットが行うと、子どもはロボットの説明を聞き、展示品に対して興味を持ち始める傾向があることを示している。教育支援ロボットにおいても、未知の学習内容を学習する状況において、学習者はロボットから提供される情報を聞き、学習効果を向上させる傾向があることも示唆されている [6]。本実験においても、学習者は学習システムに比べてロボットから常に提供されるヒントをしっかりと聞き、復習した内容を記憶したと考える。実際、常にヒントを提供する学習システムと比べて、常にヒントを提供するロボットとの共同学習における減少点は低く、学習者は復習した内容を記憶していることが推察できる（図 7）。

また、前述したロボットの存在感によって、学習者に学習に対して楽しいと実感させ、学習のモチベーションの維持を促せたことも、ロボットとの共同学習が有効に働いた要因の一つと考える。実験後に RHU 群の学習者に対して、実験の感想を聞いたところ、「ロボットがヒントをくれるのが楽しかった（2 名）」、「ロボットが可愛く、勉強が楽しかった（4 名）」、「ロボットが話しかけてくれるおかげで、勉強が続けられた（2 名）」という意見があった。これに対して、SHU 群と SHR 群の学習者からは、「学習システムがヒントをくれるから役にたった（7 名）」、「ヒントがありがたかった（4 名）」という意見があった。これより、学習システムを用いた学習方法に比べ、ロボットとの共同学習は、学習者に学習に対して楽しいと実感させ、学習に対するモチベーションの維持を促せることができたと考えられる。その結果、ロボットとの共同学習は、学習システムを用いた学習手法に比べ、学習内容を学習者の記憶により定着させることを促せたと考える。

一方、常にヒントを提供するロボットとの共同学習（RHU 群）と、学習者の要求に応じてヒントを提供するロボットとの共同学習（RHR 群）において、学習者が復習した内容を記憶していることに関する効果に違いはなかった。本実験では、各群の学習者に学習システムにある問題 25 問を 2 回解くように指示した。RHR 群と SHR 群におけるヒント使用回数を分析したところ、RHR 群の 1 回目は平均 3.5 (± 1.5) 回、2 回目は平均 2.3 (± 1.6) 回であった。SHU 群の 1 回目は平均 3.3 (± 1.3)

回、2 回目は平均 2.6 (± 1.2) 回であった。また、ヒント使用回数を基にヒント使用率を算出したところ、RHR 群の 1 回目は平均 14 (± 6) %、2 回目は平均 9 (± 6) % となった。SHU 群の 1 回目は平均 13 (± 5) %、2 回目は平均 10 (± 5) % となった。これらより、RHR 群と SHU 群のヒントを要求した回数は低いことが推察できる。しかしながら、実験後に RHR 群の学習者に対して、ヒントボタンをどのような時に使用したかを質問したところ、「わからない問題のときに使用した」、「悩んだ問題のときだけ使用した」という意見が多かった。また、RHU 群の学習者に対して、ロボットから提供されるヒントを聞いていたかを質問したところ、「常に聞いていたけど、わからない問題は特に真剣に聞いた」、「聞いていた。特に悩む問題は、真剣に聞いた気がする」という意見があった。これらより、RHR 群の学習者がヒントを使用した時の状況と、RHU 群の学習者がロボットからヒントを真剣に聞いていた状況は類似していると推察できる。そのため、RHR 群と RHU 群の学習者においてヒントの活用状況に差異がなく、学習者の復習に及ぼす学習効果にも違いがあらわれなかったと考える。

各群の学習者において、復習した内容をもう一度学ぶことに関する効果に違いはなかったのは、一度学習した内容を復習する学習環境が要因であると考えられる。教育支援ロボットの従来研究に限らず、学習効果を検証する従来研究の多くは、未知の学習内容を学習する学習者に対して実験を実施している。学習内容が未知の場合、学習者は学習内容に対して興味を持ち、真剣に学習する傾向がある。そのため、ロボットや学習システムからヒントを提供されると、学習者はロボットや学習システムが学習を支援してくれていると実感し、ロボットや学習システムに対して興味を抱く傾向があると考えられる。一方、本実験では、学習者は一度学習した内容を復習するため、ロボットや学習システムがヒントを提供しても、学習者はロボットや学習システムが学習を支援してくれていると実感することは難しいと考える。そのため、各群の学習環境に大きな違いはなく、復習した内容をもう一度学ぶことに関する効果に相違がみられなかったと考える。

従来研究 [19] では、ロボットの存在が学習に対して必ずしも効果的な影響を与えるとは限らないことを報告している。本実験においてロボットの存在が有効に働いた要因として、学習者が復習する学習環境においてロボットがヒントを提供する存在だったからだと考える。復習する学習環境であったため、学習者はロボットからヒントを提供されることが復習を進めるのに適切であると感じ、ロボットの存在に対して好印象を持つことができたと推察する。実際に RHU 群の学習者から、「ロボットがヒントをくれるのが楽しかった（2 名）」、「ロボットが話しかけてくれるおかげで、勉強が続けられた（2 名）」、RHR 群の学習者から「ロボットがヒントをくれるから、勉強が楽しかった（2 名）」、「ヒントのおかげで、問題の解答を思い出せた（3 名）」という意見があった。しかしながら、学習者が未知の学習内容を学習する学習環境であった場合、ロボットから提供されるヒント内容に応じては、学習者は学習を進めるのに不適切であると感じ、従来研究 [19] のようにロボットの存在が効果的な影響を与えない可能性が起こると考える。そのため、学

習者が未知の学習内容を学習する学習環境であった場合は、ロボットが提供するヒントが学習者に対して適切に働くかどうか調査する必要があると考える。

5. おわりに

本論文では、学習者がロボットと共に一度学習した内容を復習した場合に、ロボットが学習者にヒントを提供することは、ロボットを介在しない学習システムが学習者にヒントを提供することに比べて有効であるかを検証した。具体的には、学習者とロボットの復習から時間が経過した後の記憶量を定量的に評価し、学習システムと比較することで、復習におけるロボットとの共同学習がもたらす効果を評価した。実験では、ロボットと共に復習する群として、(1) 常にヒントを提供するロボットと学習者が共に復習する群 (RHU 群)、(2) 要求時にヒントを提供するロボットと学習者が共に復習する群 (RHR 群) を用意し、ロボットを用いない群として、(3) 常にヒントを提供する学習システムを用いて復習する群 (SHU 群)、(4) 要求時にヒントを提供する学習システムを用いて復習する群 (SHR 群)、そして、(5) ヒントを一切提供しない学習システムを用いて復習する群 (SHN 群) の計 5 群による比較実験を実施する。これにより、復習における教育支援ロボットの活用の可能性、ならびにヒントの提供タイミングによる学習効果の差異を検証した。

実験結果から、学習者が問題を解きながら復習するという学習環境において、常にヒントを提供するロボットとの共同学習は、三種類の学習システム (常にヒントを提供する場合、学習者の要求時にヒントを提供する場合、ヒントを一切提供しない場合) を個々に用いた単独学習に比べて、復習した内容を記憶していることが示唆できた。しかしながら、ロボットと共に復習する共同学習 (RHU 群、RHR 群) と、学習システムを用いて単独で復習する学習 (SHU 群、SHR 群、SHN 群) においては、学習者が復習した内容をもう一度学ぶことに関する効果に違いはなかった。本研究における実験では、運転免許学科試験模擬問題集における標識・標識問題 [14] を題材として使用した。運転免許学科試験の学習では、試験内容に関する暗記のみ行う。つまり、学習に関して応用や推測などの必要がない。そのため、学習内容に関する暗記のみで、応用や推測などが必要なく、学習内容に関する問題を解答するような題材であれば、本実験と同様な結果が得られる可能性があると考えられる。

第 1 章で述べたようにロボットと画面上のエージェントを比較した従来研究において、心理的に難度が高いタスクを行う際には、画面上のエージェントに比べてロボットがユーザに与える影響力が高い [4] という報告がある。また、従来研究 [5] では、画面上のエージェントに比べて、子どもがロボットと共に与えられたタスクを行うことで、タスクに対してより集中することも示唆されている。これらより、問題解決の手助けなどを扱うあたり、画面上のエージェントに比べて、ロボットは学習を支援する際に有効であると考え、本論文では画面上のエージェントとの比較実験を実施しなかった。しかしながら、本研究成果の重要性を定量的に示すためにも、画面上のエージェントとの比較実験は実施すべき課題である。本実験では、ヒントを提供しないロボットとの共同学習と比較していないため、

ロボットの存在もしくは、ロボットによるヒント提供のどの要因が最も学習に効果的な影響を与えたかどうかを明確にできていない。今後は、ヒントを提供しないロボットと比較しつつ、ロボットのどのような要因が学習に効果的な影響を与えるかを明らかにしていく。

謝辞

本研究は名古屋大学未来社会創造機構 HMI・人間特性研究部門の「エージェントを介した運転支援研究プロジェクト」の支援を受けている。

参考文献

- [1] ジメネスフェリックス, 加納政芳: “教育現場で活用されるロボットの研究動向,” 知能と情報, Vol.26, No.1, pp. 2-8, 2014.
- [2] J. Han, M. Jo, V. Jones, and J. H. Jo: “Comparative study on the educational use of home robots for children,” *J. of Information Processing Systems*, Vol.4, No.4, pp. 159-168, 2008.
- [3] K. Shinozawa, F. Naya, J. Yamato, and K. Kogure: “Differences in effect of robot and screen agent recommendations on human decision-making,” *Int. J. of Human-Computer Studies*, Vol.62, No.2, pp. 267-279, 2005.
- [4] W. A. Bainbridge, J. Hart, E. S. Kim, and B. Scassellati: “The effect of presence on human-robot interaction,” *IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 701-706, 2008.
- [5] M. Fridin and M. Belokopytov: “Embodied robot versus virtual agent: Involvement of preschool children in motor task performance,” *Int. J. of Human-Computer Interaction*, Vol.30, No.6, pp. 459-469, 2014.
- [6] ジメネスフェリックス, 加納政芳, 吉川大弘, 古橋武: “建設的相互作用を基に行動するロボットとの協調学習の実現可能性,” 人工知能学会論文誌, Vol.31, No.3, p. A-F93-1-10, 2016.
- [7] T. Belpaeme, J. Kennedy, A. Ramachandran, B. Scassellati, and F. Tanaka: “Social robots for education: A review,” *Science Robotics*, Vol.3, No.21, eaat5954, 2018.
- [8] 篠ヶ谷圭太: “学習方略研究の展開と展望: —学習フェイズの関連づけの視点から—,” 教育心理研究, Vol.60, No.1, pp. 92-105, 2012.
- [9] 竹内龍人: 実験心理学が見つけた超効率的勉強法: —復習はすぐやるな! 思い込みで点数アップ! —, 誠文堂新光社, 2014.
- [10] 土肥紳一, 大井尚一: “個別復習システムを備えたコンピュータ入門教育,” 工学教育, Vol.48, No.4, pp. 2-8, 2000.
- [11] A. Deublein, A. Pfeifer, K. Merbach, K. Bruckner, C. Mengelkamp, and B. Lugin: “Scaffolding of motivation in learning using a social robot,” *Computers & Education*, Vol.125, pp. 182-190, 2018.
- [12] J. J. P. Rodriguez and E. G. Guerrero: “Human-robot scaffolding: A novel perspective to use robots such as learning tools,” *18th Int. Conf. on Advanced Robotics (ICAR)*, pp. 426-431, 2017.
- [13] ジメネスフェリックス, 吉川大弘, 古橋武, 加納政芳: “感情表出モデルを用いたロボットとの共同学習がもたらす影響,” 知能と情報, Vol.28, No.4, pp. 700-704, 2016.
- [14] 運転免許学科試験模擬問題集. <http://menkyo-web.com/> [Accessed Oct. 1, 2018]
- [15] 金田行雄, 笠井理生, 古橋武: 統計・多変量解析とソフトコンピューティング 超多自由度系解析を目指して—改訂版—, 共立出版, 2014.
- [16] N. Salkind: “Bonferroni test,” *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, N. J. Salkind (Ed.), SAGE Publications Inc., pp. 103-107, 2007.
- [17] 石黒浩: アンドロイドサイエンス —人間を知るためのロボット研究—, 毎日コミュニケーションズ, 2007.
- [18] M. Shiomio, T. Kanda, H. Ishiguro, and N. Hagita: “Interactive hu-

manoid robots for a science museum,” *IEEE Intelligent Systems*, Vol.22, No.2, pp. 25-32, 2007.

- [19] J. S. Herberg, S. Feller, I. Yengin, and M. Saerbeck: “Robot watchfulness hinders learning performance,” *Proc. of the 24th IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 153-160, 2015.

(2018 年 11 月 14 日 受付)

(2019 年 3 月 1 日 採録)

かなもり ひとし
金森 等 [非会員]

1981 年慶應義塾大学大学院工学研究科修了。トヨタ自動車車両技術開発部主査 (部長級) を経て、2014 年より名古屋大学未来社会創造機構特任教授、現在に至る。人に優しい将来モビリティの実現を目指す。専門領域：人間工学、自動車工学ほか、自動車技術会、ヒューマンインタフェース学会会員。

[問い合わせ先]

〒480-1198 愛知県長久手市茨ヶ廻間 1522 番 3

愛知県立大学 情報科学部

ジメネス フェリックス

E-mail: jimenez@ist.aichi-pu.ac.jp

—— 著 者 紹 介 ——

ジメネス フェリックス [正会員]

2016 年名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程計算理工学専攻修了。2014-2016 年 3 月日本学術振興会特別研究員 (DC1)。同年 4 月名古屋大学大学院工学研究科助教。2018 年愛知県立大学情報科学部助教、現在に至る。博士 (工学)。知能ロボティクス、Human-Robot-Interaction の研究に従事。日本ロボット学会、人工知能学会、日本認知科学会、IEEE などの各会員。

かのう まさひろ
加納 政芳 [正会員]

2004 年名古屋工業大学大学院工学研究科博士課程後期課程電気情報工学専攻修了。同年中京大学講師。2010 年准教授。2015 年教授。現在に至る。博士 (工学)。感性・知能ロボティクス、インタラクションの研究に従事。2006 年日本感性工学会技術賞。2010 年日本知能情報ファジィ学会論文賞。IEEE シニア会員、日本ロボット学会、人工知能学会、情報処理学会、電子情報通信学会などの会員。

はやせ みつひろ
早瀬 光浩 [正会員]

2013 年中京大学大学院情報科学研究科博士後期課程情報認知科学専攻修了。2014 年豊橋創造大学特命講師。2015 年同大学助教。2018 年同大学専任講師。現在に至る。博士 (情報科学)。コンピュータビジョンの研究に従事。情報処理学会、人工知能学会、日本ロボット学会などの会員。

たなか たかひろ
田中 貴紘 [非会員]

2006 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。2006 年日本学術振興会特別研究員。2007 年東京農工大学大学院共生科学技術研究院助教。2012 年フローニンゲン大学訪問研究員兼任。2014 年名古屋大学未来社会創造機構特任講師。2016 年より同大学特任准教授、現在に至る。知的エージェント、ヒューマンエージェントインタラクションなど、人とエージェント間のコミュニケーション支援に興味を持つ。人工知能学会、電子情報通信学会、ヒューマンインタフェース学会、各会員。

Effects of Robots Giving a Hint for Learners Review the Learning Contents

by

Felix JIMENEZ, Masayoshi KANO, Mitsuhiro HAYASE, Takahiro TANAKA, and Hitoshi KANAMORI

Abstract:

Recently, educational-support robots, which support learning, have been researched and developed. Most previous study focused on the learning effect of the robots for learners who learn unknown learning contents. Thus, we did not know the learning effect of the robots for learners who review the learning content that learners learned once. This paper researches the learning effect of the robots in the collaborative learning with learners who review the learning content. The review of this study was defined as the learner learns exactly the same contents once learned once. The previous study of education reported that learner, who reviews the learning contents, can effectively memorize the leaning contents. The learning effect of collaborative learning with robots was higher than the existing learning method. We think that the collaborative learning with robots is effective for learners who review the learning contents. Moreover, we think that he robots which provide hints can prompt learners who review the learning contents to improve the learning effect than robots which teach the learning contents because the learners learned the learning contents once. Thus, this paper investigates the learning effect of the robots which provide hints in the collaborative learning with learners who review the learning content. Specifically, the experiment quantitatively evaluates the learner's memory of the learning contents after a certain period of time was passed since collaborative learning with robots.

Keywords: communication robots, Human-Robot-Interaction, educational-support robots, learning effect, review

Contact Address: **Felix JIMENEZ**

School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

1522-3 Ibaragabasama, Nagakute-shi, Aichi 480-1198, Japan

E-mail: jimenez@ist.aichi-pu.ac.jp