原著論文

認知的徒弟制理論に基づき教示を行うロボットと 中学生における共同学習†

宮内 建弥*¹・ジメネス フェリックス*²・吉川 大弘*¹・古橋 武*¹・加納 政芳*³

近年、学習を支援する場面で活躍する教育支援ロボットが注目されている。本研究では、教師のように学習者に教示を行う教育支援ロボット（教師型ロボット）に注目する。従来研究における教師型ロボットは、学習者に問題の解き方を教示することや、学習内容について説明することが主流の役割である。しかしながら、常にロボットが学習者に学習内容を教示するだけでは、学習者はロボットの学習支援に依存し、学習内容を学ばない可能性がある。この問題を防ぐために、本研究では認知的徒弟制理論に注目する。認知的徒弟制理論とは、学習者の成績や学習状況に合わせて、学習支援方法を変える教育理論である。教育学の従来研究では、通常の教示方法に比べて、認知的徒弟制理論に基づく学習支援方法は、学習者の学習効果を向上できると示されている。この理論に基づき、ロボットが学習者に問題の解き方を教示することで、学習者の学習効果を向上できると考える。そこで本論文では、認知的徒弟制理論に基づき、問題の解き方を教示するロボットと中学生が共に学ぶことで、ロボットが中学生に及ぼす学習効果について検討する。

キーワード：コミュニケーションロボット、認知的徒弟制理論、教育支援ロボット、中学生、学習効果

1. はじめに

近年、学校生活をサポートするロボット [1] や英語学習を支援するロボット [2] など、学習を支援する場面で活躍する教育支援ロボットが注目されている。これらの研究から、ロボットが持つ実空間での「存在感」が、人との相互作用の体験をよりリアルなものにすることで、学習に対する興味づけなどの学習支援にも有効であることが示された [3]。また、画面上のエージェントと比べてロボットのアドバイスの優位性があるという報告 [4] から、学習方法の指示や問題解決の手助けなどを扱うにあたり、画面上のエージェントに比べて、ロボットが有効であることが示唆されている。

教育支援ロボットの研究は、教師の役割を想定した教師型ロボットと、学習者と共に学び合うパートナー型ロボットの二つに分けられる。教師型ロボットの研究事例として、Han ら [5] は、ロボット IROBOI を用いて、子どもに英語を教示する学習実験を行った。その結果、既存の e-learning や教科書を用いた学習手法に比べ、ロボットを用いた手法では、子どもたちの英語学習に対する集中度や学習効果を高めることが示された。パートナー型ロボットの研究事例として、小泉ら [6] は、Lego ブロックによる車ロボットの組み立てや、その動きを制御する

プログラミングを、子どもたちが話し合いながら学ぶ状況に、ロボットを「見守り役」として導入した。ロボットは、単に子どもたちの行動を管理するのではなく、管理しつつ子どもたちの努力を誉めるなど、社会的にポジティブな関係を持つようとする見守り役である。その結果、子どもたちが積極的にロボットに関わるようになり、子どもたちの学び合いも活発化する傾向が見出され、学習意欲の向上が示唆された。

本研究では、教師型ロボットに注目して研究開発を進める。従来研究における教師型ロボットは、学習者に問題の解き方を教示することや、学習内容について授業を行うことが主流の役割である [7]。しかしながら、常にロボットが学習者に学習内容を教示するだけでは、学習者はロボットから提供される学習支援に依存し、学習内容を学ばないという問題が起きる可能性がある。この問題は、実際に学習支援機能がある学習システムにおいて起きている。例えば、例文を活用する英単語学習において、学習者が使用するか否かを主体的に決められる支援機能を有する英単語学習システムがある [8]。支援機能は、英単語の意味推測を支援するために、学習対象の英単語を除いた例文の翻訳を提示する機能である。従来研究 [8] では、英単語の知識量が低い学習者は、支援機能に依存し、英単語を学習することができなかったと報告している。支援が与えられる状況下では、学習者は支援に依存している状態でも学習できていると実感してしまい、そのまま学習を進めてしまうことがある。[9, 10]。その結果、学習者は学習内容を学ばない可能性があることが報告されている。前述した状況は、学習者と教師型ロボットとの共同学習においても起きると考える。そのため、教師型ロボットは常に学習者へ学習内容を教示するだけでなく、学習者がロボットから提供される学習支援に依存しないように、学習者の学習状況に応じて、ロボットは学習者に提供する学習支援を変化させていくことが重要であると考えられる。

本研究では、認知的徒弟理論 [11, 12] に注目する。認知的徒

† Collaborative Learning Between Junior High School Students and Robots Teaching Based on Cognitive Apprenticeship
Kenya MIYAUCHI, Felix JIMENEZ, Tomohiro YOSHIKAWA,
Takeshi FURUHASHI, and Masayoshi KANO

*1 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

*2 愛知県立大学情報学部
School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

*3 中京大学工学部
School of Engineering, Chukyo University

徒弟制理論は、6段階の学習支援方法により構成され、学習者の学習状況に合わせて、学習支援方法を変える教育理論である。教育学の従来研究 [11, 12] では、学習内容を常に教示する学習支援方法に比べて、認知的徒弟理論に基づく学習支援方法は、学習者の学習効果を向上できると示唆されている。教師型ロボットにおいても、認知的徒弟理論に基づき、学習者に対して学習支援することで、従来の常に学習内容を教示するロボットに比べて、学習者に与える学習効果を向上できると考えた。

そこで本論文では、認知的徒弟理論に基づき、問題の解き方を教示するロボットと中学生が共に学ぶことで、ロボットが学習者に及ぼす学習効果について検討する。本論文における教師型ロボットは、問題を解きながら学習する状況下において、認知的徒弟理論に基づいて中学生に学習支援を提供する。実験では、認知的徒弟理論に基づいて学習支援を提供する教師型ロボットとの共同学習、従来のように問題の解き方を常に教示する教師型ロボットとの共同学習、学習システムによる単独学習における学習効果を比較することで、認知的徒弟理論に基づいて学習支援を提供する教師型ロボットを評価する。

本論文では、初めに第2章に認知的徒弟理論の概要について述べる。次に第3章において認知的徒弟理論に基づくロボットの学習支援モデルを説明する。第4章では被験者実験を通して、認知的徒弟理論に基づいて学習支援を提供する、教師型ロボットが与える学習効果について評価する。そして、第5章で考察し、第6章でまとめる。

2. 認知的徒弟制理論

認知的徒弟理論は、職人の知的行為の熟達化の過程を、弟子への教示という視点から叙述する枠組みである [11, 12]。認知的徒弟理論に基づく教育法は、学校内の授業などであまり使用されず、技術を教示する分野である医学教育 [13] や工学教育 [14, 15] に用いられることが多い。また、認知的徒弟理論に基づく教育法は、文章理解や作文、数学の問題解決などの学習状況で応用され、学習内容を常に教示する一般的な教育法に比べて、有効であると報告されている [11, 12]。認知的徒弟理論に基づく教育法 [11, 12] は、下記の6段階で構成されている。

- (1) **Modeling** : 指導者は、学習者に問題の解き方を教示する。
- (2) **Coaching** : 指導者は、教示した問題の解き方を学習者が実践できるようなヒントを提供する。
- (3) **Scaffolding and Fading** : 指導者は、学習者が自身の能力だけで問題を解くように促す。また、指導者は、学習者が困っている場合のみ、ヒントを提供する。しかしながらヒントの回数は学習が進むにつれて減らしていく。
- (4) **Articulation** : 指導者は、学習者に問題を解くまでの思考過程を説明するように促す。
- (5) **Reflection** : 指導者は、他の解き方を教示し、学習者に、自身の問題を解くまでの思考過程を検討するように促す。
- (6) **Exploration** : 指導者は、学習者に新たな学習内容へ挑戦することを促す。

これら6段階の学習支援方法を学習者の成績や学習状況に応

じて切り替えることで、学習者の学習効果を向上できると示唆されている。特に (1) から (3) 段階の学習支援方法は、学習者の学習効果を向上させるのに重要な段階と報告されている。

3. ロボットの学習支援モデル

3.1 従来研究における学習支援方法

教育支援ロボットには、学習内容を教示する教師型ロボットと、学習者と共に学び合うパートナー型ロボットの二つに分かれる。パートナー型ロボットには、学習者から学習内容を教わるロボット [16] と、学習者同士の学習を促進するロボット [17] など存在する。

教師型ロボットには、認知的徒弟理論の (1) から (3) 段階に基づく教育法と同等な学習支援を提供するロボットも存在する。例えば、Han ら [5] は子どもに英語の文法や英単語を教示するロボットを提唱している。Han らのロボットの行動は、Modeling による教育法と類似している。Alemi ら [18] は、中学生の英語学習において英単語などを覚えるための助言などを与えるロボットを提唱している。Alemi らのロボットは、Coaching と同等な学習支援を提供している。Gordon ら [19] は、子どもがゲームを行いながら英単語を学習する状況において、ゲームを進めるための助言や指示を学習者の状況に応じて提供するロボットを提唱している。Gordon らのロボットの行動設定は、Scaffolding and Fading と同じような行動が設定されている。

しかしながら、認知的徒弟理論における (1) から (3) 段階の教育法を切り替えながら、学習者に学習支援を提供するロボットは報告されていない。著者らは、一つの学習支援から構成させるロボットの学習支援モデルに比べ、複数から構成される学習支援を切り替えながら提供するロボットの学習支援モデルは、幅広い学習者に対応できると考える。そこで認知的徒弟理論における (1)~(3) 段階から構成されるロボットの学習支援モデルを構築する。

3.2 本モデルの概要

本実験では、中学生数学の一次方程式における文章問題を解きながら学ぶ学習システム (図5) を使用する。問題は「中学・学習サイト」[20] および「中一数学方程式の問題」[21] というWebサイトに掲載されている問題を基に作成した。そのため、学習支援モデルにおけるロボットの発話内容も前述したWebサイトにおける問題の解説を基に作成した。

- (1) **Modeling** : ロボットは問題が表示されると、「この問題の解き方について説明するよ。」と発話し、出題された問題の解き方を学習者に教示する。具体的には、「ある数の5倍から10を引くと20になる。ある数を求めよ。」という問題が出題された場合、ロボットは、「ある数を x として、 x を5倍するから $5x$ となるよね。そこから10を引くから $5x - 10$ となるね。これが20となればいいから、 $5x - 10 = 20$ の方程式ができるよね。これを計算すると解いてみよう。」と発話する。各問題における発話内容は、参考サイト [20, 21] に掲載されている問題の解説を基に作成

し、実験場所である KIP 進学教室 [22] の教員に Modeling として適切であると確認を受けた。

- (2) Coaching：ロボットは問題が表示されると、「この問題のポイントを言うね。」と発話し、表示された問題に対するヒントを学習者に提供する。ロボットは、Modeling における発話内容の 1 文目または 2 文目まで発話するように設定した。例えば、前述した問題が出題された場合、ロボットは、「ある数を x として、 x を 5 倍するから $5x$ となるよね。そこから 10 を引くから $5x - 10$ となるね。これを使うと問題が解けそうだね。」と発話する。発話内容は、KIP 進学教室の教員と相談しつつ、各問題における Modeling の発話内容からヒントとして提供するのに適切な箇所（1 文目または 2 文目）まで使用した。
- (3) Scaffolding and Fading：ロボットは問題が表示されても発話は行わず、学習者がヒントを要求した場合はヒントを学習者に提供する。このときのヒントの内容は (2) Coaching における内容と同じものである。

3.3 本モデルにおける学習支援方法の切り替え基準

本学習支援モデルにおける学習支援方法の切り替えの流れを、図 1 に示す。本学習支援モデルにおける学習支援方法は、学習者の学習日数 (N) と問題の正解率 (X) に基づいて切り替える。具体的には、学習者が初めて本学習支援モデルを搭載したロボットと共に学習する場合、ロボット内のデータベース (DB) には学習者に関する学習日数 (N) と問題の正解率 (X) は記録されていない。そのため、学習日数 (N) は 1 日目となり、学習時のロボットの行動 (R) は Modeling による学習支援方法を提供することが設定される。

2 日目以降では、前学習日における問題の正解率 (X) がデータベースに保存されているため、その正解率を基にロボットの行動 (R) を設定する。具体的には、前学習日における問題の正解率 (X) が 50% 以上 ($X \geq 50$) の場合は、ロボットの行動 (R) は前学習日で設定された学習支援方法における、次の段階による学習支援方法へ切り替わる。前学習日が Modeling であれば Coaching へ、Coaching であれば Scaffolding and Fading へ切り替わる。ただし、前学習日が Scaffolding and Fading であれば、その状態が維持される。

前学習日における問題の正解率 (X) が 50% 以下 ($X < 50$) の場合は、ロボットの行動 (R) は前学習日で設定された学習支援方法における、前の段階による学習支援方法へ切り替わる。前学習日が Scaffolding and Fading であれば Coaching へ、Coaching であれば Modeling へ切り替わる。ただし、前学習日が Modeling の場合、その状態が維持される。50% という閾値は、事前テストにおける学習者全員の平均点から決定している。本実験では、学習システムに合わせて、ロボットの発話や動作の切り替えなどを遠隔操作することで学習支援を提供する。

4. 実験

4.1 ロボット概要

実験には、ロボット Sota (図 2) を用いた。Sota は、発話や

図 1 本モデルにおける学習支援方法の切り替えの流れ

図 2 Sota

図 3 Sota 動作

身体動作が可能であり、首の自由度が 3、両腕の自由度が 4、胴体の自由度が 1 であり、合計 8 の自由度を持つ。これにより、多様な身体動作が可能でロボットである。本実験では、認知的徒弟制理論の効果検証を目的としているため、ロボットの動作による影響が大きく出てしまうことを避けるために、図 3 に示すように、両腕を曲げて伸ばすというシンプルな動作を行う。

4.2 方法

教育支援ロボットにおける従来研究では、学習者に学習内容を教示する教師型ロボットに関する研究報告が主流となっている [7]。そこで学習支援方法を切り替えながら学習を支援する

図 4 実験環境

図 5 学習システム

本学習支援モデルを搭載したロボットが、従来研究における教示型ロボットと比べて、学習者に与える学習効果が有効かどうかを調査するために、本実験では問題の解き方を教示する Modeling のみを実行するロボットと比較する学習実験を実施した。

本実験では、学習システムを用いて学習者が単独で学習する群「個人学習群」、Modeling のみを実行するロボットと共に学習する群「従来群」、本学習支援モデルを搭載したロボットと共に学習をする群「提案群」の比較実験を実施する。実験は KIP 進学教室 [22] で実施した。実験環境を、図 4 に示す。従来群のロボットは、学習システムにおいて問題画面（図 5(a)）が表示されるたびに、Modeling による学習支援方法を行う。従来群におけるロボットの発話内容は、提案群のロボットにおける Modeling と同じである。

学習者は、1 日 1 回の学習を 5 日間毎日行う。学習科目は、数学の一次方程式における文章問題であり、学習者は 1 回の学習において問題を 10 問解く。学習者は毎日異なる問題を 10 問ずつ解く。学習者は、学習期間において合計 50 問の問題を解くこととなる。また、学習者には、学習時間は最大 30 分間であり、10 問全て解くと学習を終了できること伝えた。さら

に従来群と提案群の学習者には、学習システムにおける「もう一度説明を聞く」（図 6）または「ヒントを聞く」（図 7）を押下すると、ロボットから学習支援を受けることが可能であることのみを伝え、何度でも押下することが可能であることは説明していない。中学生 15 名（1 年生または 2 年生）を被験者とし、個人学習群 5 名、従来群 5 名、提案群 5 名ずつに中学生を振り分けた。各群の学年平均は、個人学習群 1.4（ ± 0.5 ）年、従来群 1.2（ ± 0.4 ）年、提案群 1.6（ ± 0.5 ）年であるため、各群において学習者の学年による学習能力の差異は少ないと考える。

学習者には、実験に用いる学習問題（50 問）で構成されている事前テストを実施した。事前テストの結果を基に、群ごとの学習能力が均一になるように学習者を各群に振り分けた。実験終了後の 1～4 日後に、学習者に対して事後テストを実施した。事後テストは事前テストと同じ問題である。各群における事後テストまでの日数の平均を算出したところ、個人学習群 2（ ± 1.2 ）日、従来群 1.6（ ± 0.9 ）日、提案群 1.8 日（ ± 0.8 ）日であった。各群の学習者において事後テストまでの日数に大きな差がないため、実験結果への影響は少ないと考える。本実験では、学習効果の向上として、事後テストの点数から事前テストの点数を引いた向上点を学習効果の評価基準とした。

図6 学習システム（従来群・提案群）の問題画面

図7 学習システム（Scaffolding and Fading 時）の問題画面

4.3 学習システム概要

本実験における学習システム（図5）は、中学生数学の一次方程式における文章問題を解きながら学ぶシステムである。問題は「中学・学習サイト」[20] および「中一数学方程式の問題」[21] サイトを用いて作成した。

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、図5(a)のような問題画面が表示され、学習を始めることができる。学習者は問題を解き、選択肢から回答を選択した後、「解答」をクリックする。解答後は、図5(b)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伏せて表示される。「次の問題へ」をクリックすると次の問題の画面に遷移する。全問題を解答し終わると、図5(c)のように正解数が表示される。

従来群のロボットとの共同学習および、提案群において Modeling と Coaching の行動が設定されたロボットとの共同学習では、学習システムの問題画面は図6のような画面が表示される。提案群において Scaffolding and Fading の行動が設定されたロボットとの共同学習では、学習システムの問題画面は図7のような画面が表示される。図6および図7のある「もう一度説明を聞く」または「ヒントを聞く」を押下すると、ロボットは設定された学習支援方法に関する内容を発話する。例えば、提案群のロボットにおいて、図6の「もう一度説明を聞く」を押下すると、ロボットは Modeling または Coaching の学習支援方法に関する内容を発話する。図7の「ヒントを聞く」を押下すると、ロボットは Scaffolding and Fading の学習支援方法に関する内容を発話する。これらのボタンは何度でも押下可能である。

図8 事前テスト・事後テストの平均点

図9 事前テスト・事後テストの向上点の平均

4.4 結果

図8に各群における事前、事後テストの平均点を示す。図8から、各群の事前テストの平均には大きな点数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能力は等質であったと考える。また、5日間における学習時間の平均を算出したところ、個人学習群 18 (±2.2) 分、従来群 18.8 (±2.7) 分、提案群 19.8 (±3.9) 分であった。これより、各群の学習時間は大きな差がないため、向上点に及ぼす影響は少ないと考える。図9に各群における向上点の平均点を示す。図9の結果から、向上点において、提案群が他群に比べて高いことがわかる。

図9の結果に対して分散分析 [23] を行った。分散分析の結果、各群の向上点において有意差が認められた (F 値 = 4.6, 自由度 (3, 12), p 値 = 0.03)。どの群間において有意差が認められたかを確認するために下位検定であるフィッシャーの PLSD 法を実施した。フィッシャーの PLSD 法の結果を、図9における検定統計量 T 値と p 値に示す。図9から、従来群と提案群間で有意差が認められた (T 値 = 2.94, p 値 = 0.01) ことが確認できる。しかしながら、提案群と個人学習群、従来群と個人学習群間では有意差は認められなかった。

表 1 学習期間において提案群の学習者が受けた学習支援方法

	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目
sub1	Modeling	Coaching	Scaffolding and Fading	Scaffolding and Fading	Scaffolding and Fading
sub2	Modeling	Coaching	Scaffolding and Fading	Scaffolding and Fading	Scaffolding and Fading
sub3	Modeling	Coaching	Modeling	Coaching	Scaffolding and Fading
sub4	Modeling	Coaching	Scaffolding and Fading	Scaffolding and Fading	Scaffolding and Fading
sub5	Modeling	Coaching	Scaffolding and Fading	Coaching	Modeling

また、学習期間において提案群の学習者がロボットから受けた学習支援方法を表 1 に示す。表 1 から 4 名の学習者が 1 日目に Modeling、2 日目に Coaching、3 日目に Scaffolding and Fading と認知的徒弟制理論に基づいてロボットから学習支援を受けていることが確認できた。表 1 と図 9 から、従来群のロボットのような Modeling による学習支援方法を常に提供することに比べて、本学習支援モデルのように学習支援方法を切り替えながら提供することで、学習者の学習効果を向上できることが示唆された。

5. 考察

実験結果から、認知的徒弟制理論の (1) から (3) 段階目に基づいた学習支援モデルを実装したロボットは、常に問題の解き方を教えるロボットに比べ、中学生に対して学習効果の向上を促せることを示唆した。しかしながら、学習支援モデルを実装したロボットとの共同学習と学習システムを用いた単独学習間では、中学生に与える学習効果に違いはなかった。

提案群のロボットが従来群のロボットに比べて、中学生に与える学習効果を向上することができた要因として、提案群の学習者はロボットから提供される支援に依存しなかったことが考えられる。図 10 に従来群と提案群における学習者のボタン押し回数の平均値を示す。ボタン押し回数とは、学習者が学習システム（図 5）の問題画面において、「解答」以外のボタンを押下した回数である。従来群では「もう一度説明を聞く」ボタン（図 6）を押下した回数、提案群では「もう一度説明を聞く」ボタン（図 6）または「ヒントを聞く」ボタン（図 7）を押下した回数である。この回数が高いことで、学習者がロボットによる学習支援を要求した回数が多いことが推察できる。図 10 から提案群の学習者は従来群に比べて、ボタン押し回数が各学習日数において少ないことがわかった。従来群のボタン押し回数は提案群に比べて、学習が進むにつれて回数が増加していく傾向があることも確認できた。また、従来群のロボットは、問題が出題されるたびに、その問題の解き方を学習者に教示する。これらより、従来群の学習者はロボットによる解き方の教示を何度も要求し、ロボットによる支援に依存したため、問題の解き方を覚えずに学習を進めていた可能性が高いと考える。そして、ロボットによる教示に依存したため、実験前に解答可能だった問題の解き方に関する知識も忘れてしまい、事後テストにおいて点数が減少した可能性がある（図 8）。

しかしながら、提案群と個人学習群間では向上点において有意差が認められなかった。この要因として、学習支援モデルにおける支援方法の切り替えタイミングに問題があったと考え

図 10 ボタン押し回数の平均

る。本学習支援モデルでは、1 日目にロボットは (1) Modeling による学習支援を行う。そして、1 日目における学習者の問題の正答率が 50% を超えた場合、2 日目では、ロボットは (2) Coaching による学習支援を行う。しかしながら、1 日目の正答率が 50% 以下の場合、ロボットは (1) Modeling による学習支援を行う。そのため、学習者によっては、ロボットから提供される支援に依存する可能性もある。実際に、提案群における 2 日目と 3 日目のボタン押し回数（図 10）は従来群と大きな差はなく、学習者は何度も学習支援を要求したことが推察できる。一方、個人学習群では、学習システムから学習支援は提供されないため、学習者は自身の力のみ問題を解く環境であった。認知的徒弟理論 [11, 12] の従来研究では、学習者の成績だけでなく、学習者の学習意欲なども考慮しつつ、学習支援方法を切り替えることが重要であると報告されている。本学習支援モデルでは学習者の正答率のみに注目し、学習支援方法を切り替えていたため、学習者が学習システムを用いて単独で学習する場合に比べて、学習者は自身の力で問題を解くことを促すことができず、学習者に与える学習効果に違いがなかったと考える。

6. おわりに

本論文では、認知的徒弟制理論に基づき、問題の解き方を教示するロボットと中学生が共に学ぶことで、ロボットが学習者に及ぼす学習効果について検討した。本論文における教師型ロボットは、問題を解きながら学習する状況下において、認知的徒弟制理論の (1) から (3) 段階目における学習支援方法に基づいて中学生に学習支援を提供した。実験では、認知的徒弟制理論に基づいて学習支援を提供する教師型ロボットとの共同学習、従来のように問題の解き方を常に教示する教師型ロボットとの共同学習、学習システムによる単独学習における学習効果を比較することで、認知的徒弟制理論に基づいて学習支援を提

供する教師型ロボットを評価した。

実験結果から、認知的徒弟制理論の(1)から(3)段階目に基づいた学習支援モデルを実装したロボットは、常に問題の解き方を教えるロボットに比べ、中学生に対して学習効果の向上を促せることを示唆した。しかしながら、学習支援モデルを実装したロボットとの共同学習と学習システムを用いた単独学習間では、中学生に与える学習効果に違いはなかった。

今後は、認知的徒弟制理論における学習支援方法の切り替えタイミングを検討しつつ、学習者の学習効果をさらに向上させる教師型ロボットの学習支援モデルを構築する。また、5日間による短期実験ではなく、画面上のエージェントと比較しながら1カ月間による長期実験を実施することで、認知的徒弟制理論に基づき、問題の解き方を教示する教師型ロボットが学習者に与える学習効果を検証する。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費(若手研究(B), No.17K12766)の補助を得て遂行された。

参考文献

- [1] T. Kanda, T. Hirano, D. Eaton, and H. Ishiguro: "Interactive robots as social partners and peer tutors for children: A field trial," *Hum-Comout. Interact.*, Vol.10, No.1, pp. 61-84, 2004.
- [2] O.-H. Kwon, S.-Y. Koo, Y.-G. Kim, and D.-S. Kwon: "Telepresence robot system for english tutoring," *IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts*, pp. 152-155, 2010.
- [3] 神田崇行: "コミュニケーションロボットによる学習支援," 人工知能学会誌, Vol.23, No.2, pp. 229-236, 2008.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 小泉智史, 神田崇行, 宮下敬宏: "ソーシャルロボットを用いた協調学習実験," 日本ロボット学会誌, Vol.29, No.10, pp. 902-906, 2011.
- [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] ジメネスフェリックス, 加納政芳: "英単語学習システムにおける足場かけ使用による学習能力の変化," 知能と情報, Vol.25, No.5, pp. 880-888, 2013.
- [9] D. Berret: "Cheating and the Generational Divide," *Inside Higher Education*, 2010. <https://www.insidehighered.com/news/2010/11/17/cheating-and-generational-divide> [accessed Apr. 5, 2016]
- [10] E. Dante: "The shadow scholar: The man who writes your students' papers tells his story," *The Chronicle of Higher Education*, 2010. <http://chronicle.com/article/The-Shadow-Scholar/125329/> [accessed Apr. 5, 2016]
- [11] A. Collins, J. S. Brown, and S. Newman: "Cognitive apprenticeship :teaching the craft of reading, writing and mathematics," *Knowing, Learning, and instruction: Essays in Honor of Robert Glaser*, Routledge, 1989.
- [12] S. Lajoie and A. Lesgod: "Apprenticeship training in the workplace: Computer coached practice environment as a new from oh apprenticeship," *Machine Mediated Learning*, No.3, pp. 7-28, 1989.
- [13] 長井辰哉: "熟練術者の Trifecta を可及的に損なわないための教育システムの構築 —開放手術, ミニマム創手術を次世代に伝

えることは可能なのか?—," 日本泌尿器内視鏡学会誌, Vol.31, No.1, pp. 27-31, 2018.

- [14] 張龍明, 檀山淳雄: "認知的徒弟制に基づくソフトウェア工学教育のための協調学習支援システムとその適用結果の分析," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.282, pp. 43-48, 2011.
- [15] 宮田仁: "状況論的アプローチによるプログラミングの指導と分析: 認知的徒弟制理論を取り入れたアプローチ," 教育情報研究, Vol.15, No.1, pp. 21-31, 1999.
- [16] F. Tanaka and S. Matsuzoe: "Children teach a care-receiving robot to promote their learning: Field experiments in a classroom for vocabulary learning," *J. of Human-Robot Interaction*, Vol.1, No.1, pp. 78-95, 2012.
- [17] T. Sato, Y. Kudo, and H. Osawa: "Book introduction robot designed by children for promoting interest in reading," *Proc. of the 5th Int. Conf. on Human Agent Interaction*, pp. 17-25, 2017.
- [18] M. Alemi, A. Meghdari, and M. Ghazisaedy: "Employing humanoid robots for teaching English language in Iranian junior high-schools," *Int. J. of Humanoid Robotics*, Vol.11, No.3, 1450022, 2014.
- [19] G. Gordon, S. Spaulding, J. K. Westlund, J. J. Lee, L. Plummer, M. Martinez, M. Das, and C. Breazeal: "Affective personalization of a social robot tutor for children's second language skills," *Proc. of the 30th AAAI Conf. on Artificial Intelligence*, pp. 3951-3957, 2016.
- [20] 中学・学習サイト: <https://study.005net.com/> [accessed Jun 1, 2016]
- [21] 中一数学方程式の問題: <http://sukinakazu.net/tyuugaku-suugaku-houteisiki> [accessed Jun 1, 2016]
- [22] KIP 進学教室: <http://www.kip-juku.com/> [accessed Sep. 1, 2016]
- [23] 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.

(2018 年 12 月 25 日 受付)

(2019 年 5 月 1 日 採録)

[問い合わせ先]

〒480-1198 愛知県長久手市英ヶ廻間 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

みやうち けんや
宮内 建弥 [非会員]

2017 年豊田工業大学工学部先端工学基礎学科卒業, 2019 年名古屋大学大学院工学研究科修了, 同年トヨタ自動車株式会社入社。在学中は主に Human-Robot-Interaction の研究に従事。

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 年-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。IEEE, 日本ロボット学会, 人工知能学会, 日本認知科学会等の会員。

よしかわ ともひろ
吉川 大弘 [正会員]

1997 年名古屋大学大学院博士課程修了。同年カリフォルニア大学バークレー校ソフトコンピューティング研究所客員研究員。1998 年三重大学工学部助手。2005 年名古屋大学大学院工学研究科 COE 特任准教授。2006 年 10 月同研究科准教授。現在に至る。主としてソフトコンピューティングとその応用に関する研究に従事。博士（工学）。IEEE, 日本知能情報ファジィ学会, 情報処理学会, 人工知能学会, 進化計算学会各会員。

ふるはし たけし
古橋 武 [正会員]

1985 年名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程電気系専攻修了。工学博士。2004 年名古屋大学大学院工学研究科計算理工学専攻教授。現在に至る。ソフトコンピューティング, 感性工学に関する研究に従事。1996 年日本ファジィ学会論文賞受賞。IEEE, 日本知能情報ファジィ学会, 電気学会等の会員。

かのう まさよし
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, 電子情報通信学会等の会員。

Collaborative Learning Between Junior High School Students and Robots Teaching Based on Cognitive Apprenticeship

by

Kenya MIYAUCHI, Felix JIMENEZ, Tomohiro YOSHIKAWA, Takeshi FURUHASHI, and Masayoshi KANO

Abstract:

Recently, educational support robots, which support learning attract many people's attentions. In this study, we focus on the educational support robots (teacher-type robots) that teaches learners as a teacher. In conventional researches of teacher-type robots, the main role of the robots is to teach only how to solve questions and to explain the contents of the learning. Using such robots, the learner may not learn the contents of the learning because the learner depend on the support of the robot. Thus, in this research, we focus on the cognitive apprenticeship theory in order to prevent this problem. The cognitive apprenticeship theory changed the support according to the learning situation of the learners. Previous studies have reported that the pedagogy based on cognitive apprenticeship theory can improve the learning skills of the learner. Therefore, we think the learner can improve him/her learning skills when the robot teaches how to solve questions based on the cognitive apprenticeship theory. In this paper, we investigate the effects of educational support robots based on the cognitive apprenticeship theory in collaborative learning with junior high-school students.

Keywords: communication robots, cognitive apprenticeship theory, educational-support robot, junior high-school students, learning effect

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*