

インタラクティブロボット講義における 注意・理解リカバリの有効性評価

島崎俊介^{*1}, 柏原昭博^{*1}

^{*1} 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻

Evaluating Recovery of Learners' Attention and Understanding in Interactive Robot Lecture

Toshiyuki Shimazaki^{*1}, Akihiro Kashihara^{*1}

^{*1} Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

本研究では、人間講師の講義を再現・再構成するロボット講義をベースに、受講者の講義に対する注意及び理解を受講状況に応じてインタラクティブにリカバリするインタラクティブロボット講義システムを開発し、長時間の講義を対象とした評価実験を実施した。その結果、被験者の受講状態が良好で注意リカバリは起動しなかったが、被験者が難しいと感じた講義コンテンツの理解度テストにおいては、ロボットによるインタラクションやチャットボット機能による理解リカバリの有効性が確認された。

キーワード: インタラクティブロボット講義, 状態推定, 注意・理解リカバリ, チャットボット

1. はじめに

近年、先進的学習支援分野において学習支援ロボット研究が増えてきている。学習支援メディアとしての学習支援ロボットの優位性として、擬人化傾向と身体性が挙げられる¹⁾。これらは、既存の学習支援メディアには存在せず、学習者とのパートナー性によってエンゲージメントの促進が期待できる^{2,3)}。現在のロボットは、技術的制約も存在するが、AI技術の進歩や安価になることで、より学習者とのインタラクションの種類が豊富になり今後発展する分野であると確信する。

筆者らは、将来的な1人1台学習パートナーロボット時代の到来を目指した学習支援ロボット研究の1つとして、インタラクティブロボット講義研究を進めている^{3,4,5,6,7,8,9)}。講義に関する先進的学習支援研究の大半は、eラーニングやオンライン講義を題材とした講師から学習者への一方向的な学習であり、何時どこでも学べる利点もあるが、学習者が孤立し、講義の理解に追従できない可能性が存在する。そこで、学習支援ロボットが人間講師の講義を代行することで、人間講師が不在でも孤立せずに学習させることができる。更に、

センシングデータに基づく学習者状態推定や、受講状態に応じた適応的なインタラクションが期待できる。将来的には、人間講師による対面講義、オンライン講義に加え、インタラクティブロボット講義という新たな選択肢が増える点でもインパクトがある。

講義では、通常長時間に及ぶほど講義に対する学習者の注意を制御すること（以下、注意制御）や、理解状態を把握しながら、インタラクティブに進めることが重要となる。しかしながら、熟達した人間講師でもそれらを遂行することは容易ではない。筆者らは、これまで人間講師の講義に関わる非言語動作（以下、講義動作）をロボットが再現するとともにモデルベースに不十分な動作を再構成するロボット講義を提案した。そして、短時間の講義において講義動作を再構成したロボット講義が、再構成なしのロボット講義よりも注意や理解を促進することを実証した⁴⁾。

一方、この研究では、学習者の受講状態を考慮していないため、講義が長くなるほど学習者の注意が外れ、講義に追従できず理解できない可能性がある。そこで学習者の受講状態を推定し、講義動作やマルチメディ

アを用いたインタラクションを制御することで、注意維持支援を行うインタラクティブロボット講義システムを開発した^{5,6,7,8)}。このシステムでは、人間講師の講義の再現性を高めるため、SoftBank Robotics 社製のヒューマノイドロボットの NAO を用いており、学習者に近づくウォークが可能となっており、学習者の注意維持支援に効果的であることを確認している^{6,7,8)}。同時に、Kinect による学習者の受講状態を集中・非集中の 2 状態で推定しており、集中状態であっても学習者の理解がどの程度かを把握するのが困難であった。そこで、学習者の注意回復（以下、注意リカバリ）と理解回復（以下、理解リカバリ）を行うアルゴリズムと Kinect による状態推定に加え、講義内容の重要箇所や関係を問うチャットボット機能を具備した新たなインタラクティブロボット講義システムを開発した⁹⁾。

本稿では、本システムによる注意・理解リカバリの有効性を評価するために実施したケーススタディについて述べる。以下、2 章では、インタラクティブロボット講義システムに関する関連研究とモデル、本研究の新規性、システムの枠組みを述べ、3 章では注意・理解リカバリアルゴリズムと適応的テスト問題生成手法を示す。4 章では、システムを用いたケーススタディの結果と考察を示し、5 章では今後の課題を述べる。

2. インタラクティブロボット講義システム

2.1 関連研究と本研究の新規性

ロボット講義の関連研究の多くは、筆者らの研究アプローチである人間講師の代講とは異なるシステムを開発している。具体的には、講義ロボットが受講者に問題を回答させ^{10,11)}、学習者とのインタラクションを試みており、多肢選択問題出題が長時間の講義において受講者の集中力の向上に一定の成果が見られた研究¹¹⁾や、一定時間以上システムを利用した被験者が特定の単位において理解度を有意に向上させる効果を示した研究がある¹²⁾。これらの関連研究では、事前に用意された講義シナリオに基づいて学習支援ロボットが講義を実施するが、人間講師の講義動作を再現するために講義シナリオを構成することは意図されておらず、また学習者の受講状態の推定やそれに基づく講義動作制御や学習者の注意・理解リカバリは意図されてない。

本研究の新規性は、人間講師の個性を活かし、講義動作やスタイルを反映することを意図して、ロボットが講義を代行する点にある。そのために、講師の講義を収録して、ロボットが再現するとともに不十分・不適切な講義動作をモデルベースに再構成する。そして、ロボット講義に対する学習者の受講状態をリアルタイムで推定し、適応的に学習者の注意・理解リカバリを行う。これらは、関連研究にはない斬新な点である。

2.2 講義シナリオ

本研究における講義シナリオとは、講義における複数の切れ目(セグメント)を含む講義スライドの系列、人間講師による講義意図、講義スライド毎の非言語動作・パラ言語・スライド内問題、セグメント内のスライド内問題から構成されている。講義意図は、人間講師がどのように講義を行うかを意図したものであり、講義毎に 1 つ固定するものとする。スライド内問題とは、特定のスライドにおける重要箇所を問う問題であり、スライド間問題とは、複数のスライドの関係性を問う問題である。これらの問題は、講義シナリオ作成時に予め人間講師が作成すること前提とし、各講義スライドで重要なキーワードを問う問題を想定している。

2.3 講義動作モデル

講義動作は、講義意図に応じて実施される。講師は、講義準備する際、学習者の状態を仮定し、講義意図に基づいて講義スライド毎に学習者の注意・理解を促す際にどのような講義動作を用いるか、どうオーラルとして説明するのかを表す講義シナリオを組み立てる。なお、筆者らは講義意図から適切な非言語動作を導き出す講義動作モデル(図 1)をデザインし⁹⁾、モデルベースにロボット講義の講義シナリオを組み立てている。

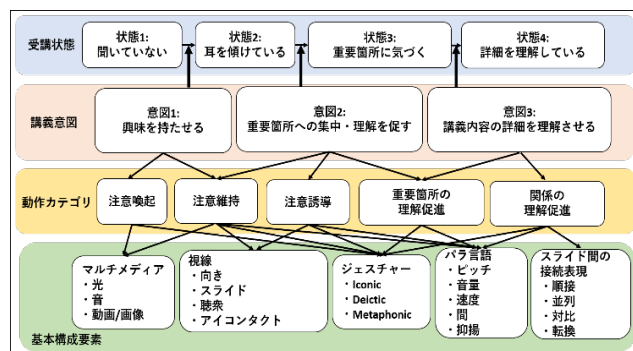


図 1 講義動作モデル

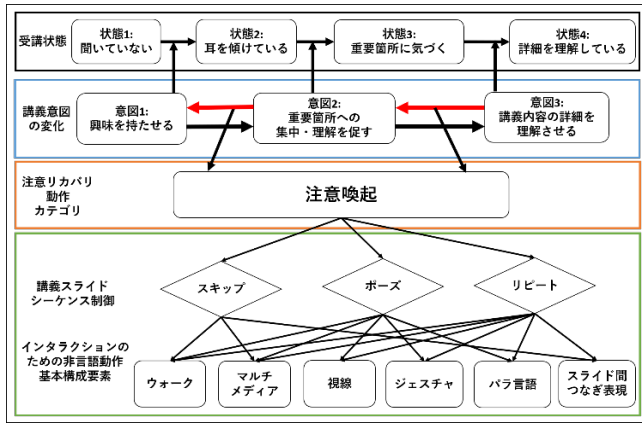


図2 シナリオ制御モデル

2.4 シナリオ制御モデル

ロボット講義では、ロボットが学習者の受講状態に応じて講義スライドの説明順序を変更し、学習者の注意や理解を回復するためのインタラクションを行う。特に、長時間の講義ほど、学習者に応じた講義シナリオの適応的な制御が必須である。そこで筆者らは、学習者の状態に応じた注意・理解リカバリを実現するためのシナリオ制御モデル(図2)をデザインした⁹⁾。

本モデルの目的は、講義スライドのシーケンスを制御することで、学習者のロボット講義受講に対する注意制御を行うことにある。そのために、学習者の受講状態、講師の講義意図の変化、講義スライドシーケンス制御、注意リカバリ動作カテゴリ、インタラクションのための非言語動作基本構成要素の5層からなっており、学習者の受講状態の推定をトリガーとして、講義シナリオの再構成を行う。受講状態は、講義動作モデルと同様に、状態1から4の4状態で構成される。

2.5 枠組み

図3にインタラクティブロボット講義システムの枠組みを示す。

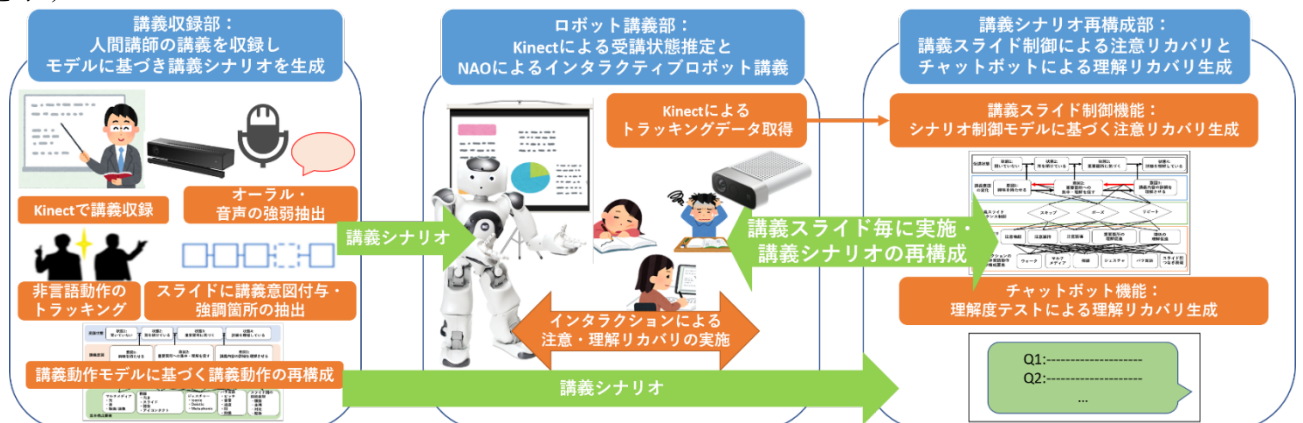


図3 インタラクティブロボット講義システムの枠組み

本システムは、講義シナリオを生成する講義収録部、講義スライド毎に生成された講義シナリオを用いて状態推定とNAOが講義・注意・理解リカバリを実施するロボット講義部、受講状態に応じて注意・理解リカバリのための講義動作やインタラクションを生成する講義シナリオ再構成部の3つから構成されている⁹⁾。

講義収録部は、人間講師が行う講義をMicrosoft社のKinect v2で収録、もしくは既に収録された講義動画と、講義スライドを用いて講義シナリオを生成する。

ロボット講義部では、Kinectで得られるトラッキングデータを用いて、学習者の姿勢や受講態度に基づく受講状態推定を行う。具体的には、顔(目・耳)、首、右腕、左腕のトラッキングデータを取得し、姿勢推定ライブラリであるOpenPoseの信頼度に基づき、講義スライド毎に状態推定を行っている。

講義シナリオ再構成部では、講義スライドシーケンス制御としてロボット講義部のKinectのトラッキングデータに基づき、学習者の受講状態が想定された状態と異なる場合、講義スライドシーケンス制御を行い、注意リカバリのためのインタラクションを生成する。チャットボット機能(図4)では、理解リカバリを行う。チャットボットが提示するテスト問題は、スライドごとに予め人間講師が用意する。注意リカバリ及びチャットボットが起動するタイミングは、次章で述べる。

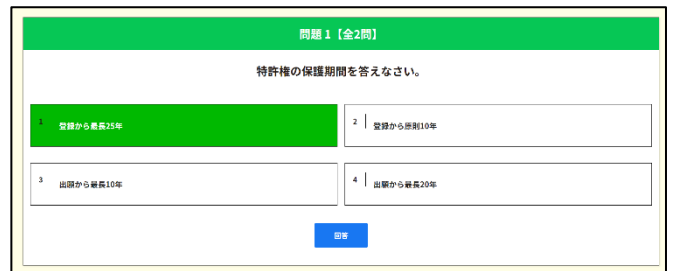


図4 チャットボット機能のスクリーンショット

3. 注意・理解リカバリアルゴリズム

3.1 注意・理解リカバリのフローチャート

インタラクティブロボット講義における注意・理解リカバリは、図5のフローチャートに基づき実施される。本研究では現在のところ、学習者の受講状態を状態2:(耳を傾けている)、講義意図を意図2:(重要箇所への理解・集中を促す)として状態3へ移行させる講義を想定している。

3.2 注意リカバリ

注意リカバリは、学習者の受講状態が状態1:(聞いていない)場合をトリガーとして起動される。図5の赤枠の通り、シナリオ制御モデルに基づき、講義スライドの説明を中断し、図6の通りウォークで学習者に近づくことで、講義への注意を向ける注意喚起を行う。その後、ロボットは学習者に講義スライドをもう一度説明するか問いかけ、学習者は説明要否を選択できる。学習者が説明を要するとした場合、ウォークとマルチメディアによる注意喚起実施後、ロボットは1回限定で、誇張して講義スライドの説明をリピートすることで、受講状態が初期状態の状態2に回復したとみなし、意図2での講義を再開して、注意リカバリが完了する。

なお注意リカバリから理解リカバリへ遷移する条件は、予め人間講師が講義シナリオ作成時に意図した、同一セグメント内での注意リカバリの回数 n をタイミングとし、 n 回目の注意リカバリが後述のチャットボット機能の起動するトリガーとなる。

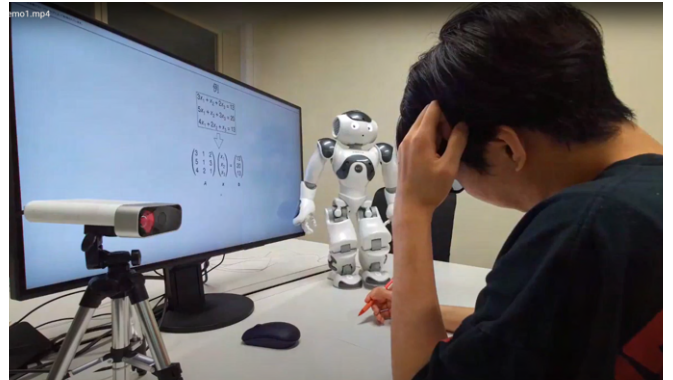


図6 NAOのウォークによる注意リカバリの例

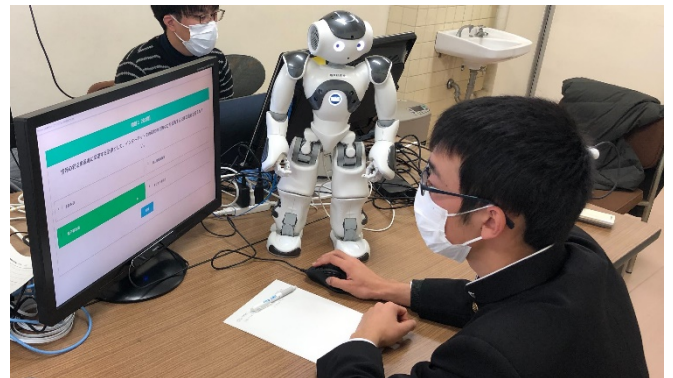


図7 チャットボット機能による理解リカバリの例

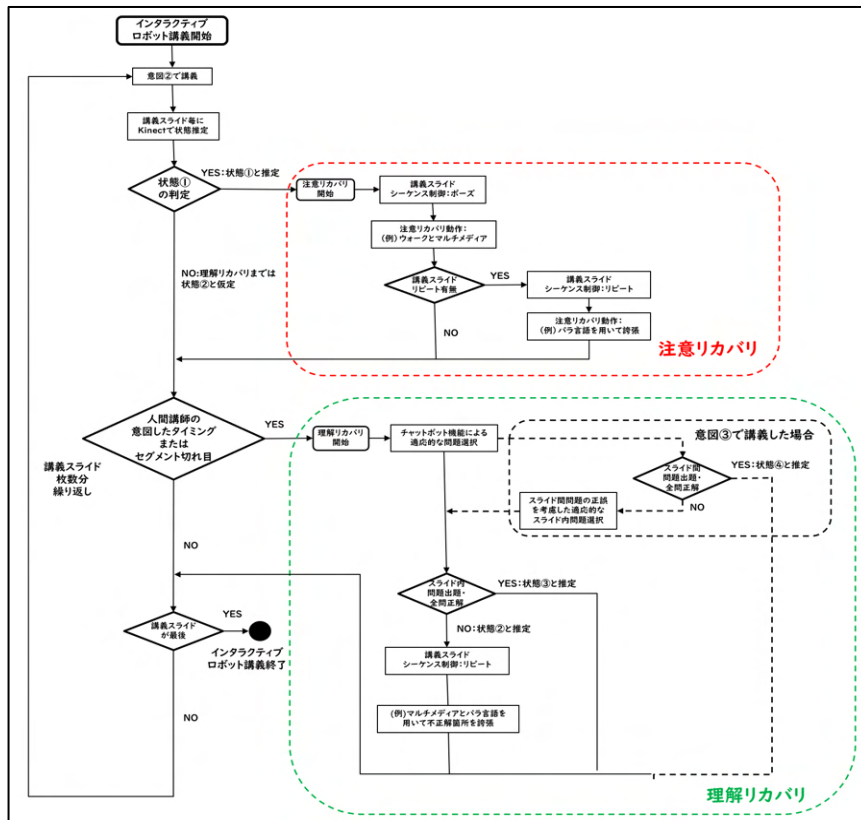


図5 注意・理解リカバリアルゴリズム

3.3 理解リカバリ

理解リカバリは、受講状態が状態 1 ではない、かつ、注意リカバリの回数 n 、または、講義スライドのセグメントをトリガーとして、図 5 の緑枠の通り、チャットボット機能が起動される(図 7)。チャットボット機能によるテスト問題は、4 択の選択式問題で与えられ、スライド内問題とスライド間問題の 2 種類を用意する。本研究では、スライド内問題を状態 3: (重要箇所気づく) の推定に用いており、全問正解すると状態 3 と推定する。またスライド間問題を状態 4: (詳細を理解する) の推定に用いており、全問正解すると状態 4 と推定する。詳細は文献 9) に譲る。

4. ケーススタディ

4.1 目的と仮説

インタラクティブロボット講義が、注意・理解リカバリ支援に有効かどうかを検証するために、以下の仮説を検証するケーススタディを実施した。

H1: 講義スライドシーケンス制御による注意喚起のインタラクションは、長時間の講義における注意リカバリに有効である。

H2: チャットボットによる理解度推定は、長時間の講義における理解リカバリに有効である。

H1 を検討する評価指標として、学習者とロボットとのインタラクション回数、受講後アンケート、全体アンケートによる主観的評価を行った。

H2 を検証する評価指標として、受講後の理解度テストを用いた客観的評価と、受講後アンケート、全体アンケートによる主観的評価を行った。

4.2 実験方法

実験は、表 1 の被験者内計画で行った。被験者は、公立高校 1 年生 8 名であり、講義は情報科を題材とし、高校教員による講義を予め収録した 30 分程度のコンテンツ(情報社会における法:以下、情報社会)と(ネットワークのしくみ:以下、ネットワーク)を用意した。実験では、被験者を二群に分け、受講順序を考慮し、インタラクティブに注意・理解リカバリを行うインタラクティブロボット講義条件(IL 条件)と、ロボット講義条件(NL 条件)の 2 条件で実施した。被験者には、任意で講義中に講義メモを記入することを許可した。

なお、IL 条件と NL 条件の両方とも、次節で述べる推定率算出のため Kinect による状態推定データを取得し、IL 条件のみ注意・理解リカバリに用いた。

受講後は講義メモを回収し、被験者は講義毎に、スライド内問題 10 問・スライド間問題 5 問、計 15 問の理解度テスト(選択式問題 8 問 1 点・記述式問題 7 問 2 点の計 22 点満点)、7 段階リッカー尺度による受講後アンケート(表 2)、に回答し、最後に二者択一による全体アンケート(表 3)に回答した。理解度テストは、チャットボット機能と異なる問題を用意した。アンケート項目は、HRI 分野における主観評価の心理尺度として提案されている GodSpeed Questionnaire を参考に作成した。今回のケーススタディでは、図 5 に基づき、学習者の受講状態を状態 2、講義意図を意図 2 でロボット講義を用意した。チャットボット機能のトリガーとして、注意リカバリの回数 $n=2$ とした。

表 1 グループとロボット講義の受講順序

グループ	ロボット講義の受講順序	
	情報社会における法	ネットワークのしくみ
A(4名)	IL 条件	NL 条件
B(4名)	NL 条件	IL 条件

表 2 受講後アンケート項目

1. 全体的に講義内容が分かりやすかった
2. スライドへ注意を向けるタイミングが分かりやすかった
3. スライド中の重要な箇所が分かりやすかった
4. 飽きずに集中して講義を聞くことができた
5. 興味深く講義を聞き続けることができると感じた
6. 講義へついていきやすいと感じた
7. 人間の講師による講義の進行に近いと感じた
8. ロボットと視線があっているように感じた
9. ロボットが家庭教師のように感じた
10. ロボットによる講義は私の学びに合うと感じた
11. ロボットによる講義は親しみやすいと感じた
12. ロボットによる講義は愉快だと感じた
13. もう一度このシステムで学習したいと思った
14. ロボットが講義をすることで好奇心をそそられた
15. 講義内容がやさしかった
16. 講義内容に対して事前知識があった
17. ロボットの声に抵抗感がなかった

表 3 全体アンケート項目

1. 全体的に講義内容が分かりやすいと感じた
2. 全体的に注意が維持あるいは高まったと感じた
3. スライドに注意を向けるタイミングが分かりやすいと感じた
4. スライド中の重要な箇所が分かりやすいと感じた
5. 集中して講義を聞きやすいと感じた
6. 講義を聞き続けることができると感じた
7. 講義へついていきやすいと感じた
8. ロボットとのインタラクションがしやすかった
9. 人間の講師による講義の進行に近いと感じた
10. ロボットと視線があっているように感じた
11. 自分自身に語りかけているように感じた
12. もう一度このシステムで学習したいと思った
13. 好奇心をそそられた
14. 講義内容が難しかった
15. 理解度テストが難しかった
16. ロボットによる講義に抵抗がなかった

本ケーススタディでは、講義意図を意図 2 に固定しているため、チャットボット機能によるテスト問題ではスライド内問題に全問正解すると状態 3 と推定し、それ以外は 状態 2 と推定したが、受講後の理解度テストにはスライド間問題も含めている。理由は、意図 2 で講義を行った場合でも、状態 4 に遷移する学習者が存在するかどうかを確かめるためである。

4.3 結果

図 7・8 に各講義に対する 2 条件の理解度テスト平均値、図 9・10 に各講義受講後のアンケート平均値、図のグラフは平均点と、赤色は NL 条件、青色は IL 条件を示している。また図 11・12 に全体アンケートの平均値を示す。図のグラフの黄色は 1 回目に受講した講義、緑色は 2 回目に受講した講義を示している。更に、表 4 に下記の式で算出した受講状態の推定率を、講義別に人間講師である高校教員と、システムのそれぞれ算出し、被験者数で割った平均値を条件別に示す。

(高校教員/システム)が判定した受講状態と
被験者の受講状態が一致したスライド枚数
講義スライド枚数

表 4 推定率の平均値

	高校教員	システム
情報社会(NL)	0.985	0.956
情報社会(IL)	0.951	0.951
ネットワーク(NL)	1	0.970
ネットワーク(IL)	0.955	0.955

図 7・8 より、理解度テストにおいては、ネットワークのみ両側 t 検定の結果、理解度テストの合計点 ($t(4)=2.8748, p<.05$)とスライド内問題のそれぞれで有意差が確認できた($t(4)=3, p<.05$)。

図 9・10 より、受講後アンケートにおいては、ネットワークのみ、Q8 で両側 t 検定の結果、有意差が確認できた($p<.05$)。また、図 11・12 より、フィッシャーの直接確率計算による検定結果、Group A で Q2, Q13, Group B で Q5, Q6, Q8 で有意差を確認した($p<.10$)。

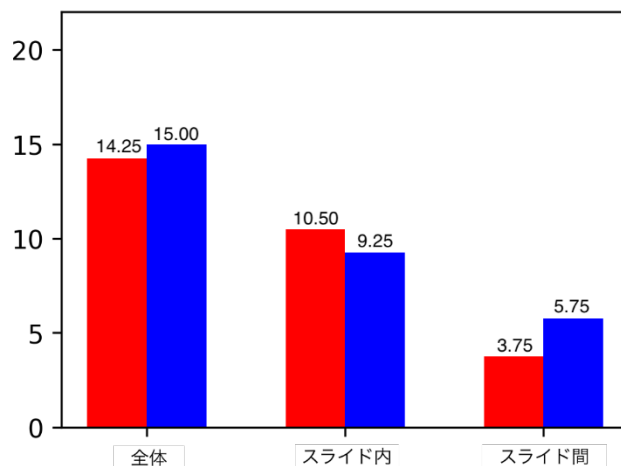


図 7 理解度テストの平均点 (情報社会)

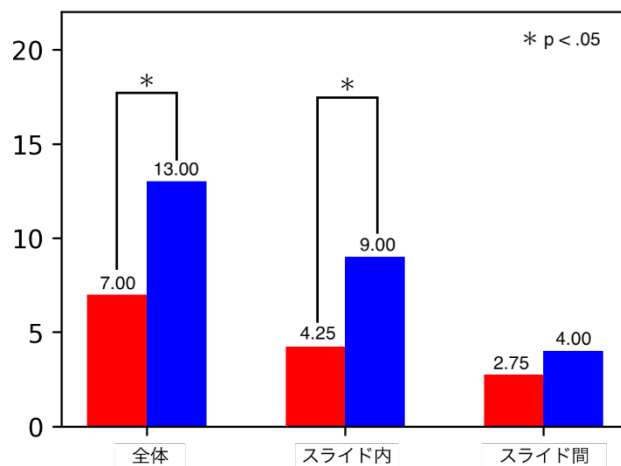


図 8 理解度テストの平均点 (ネットワーク)

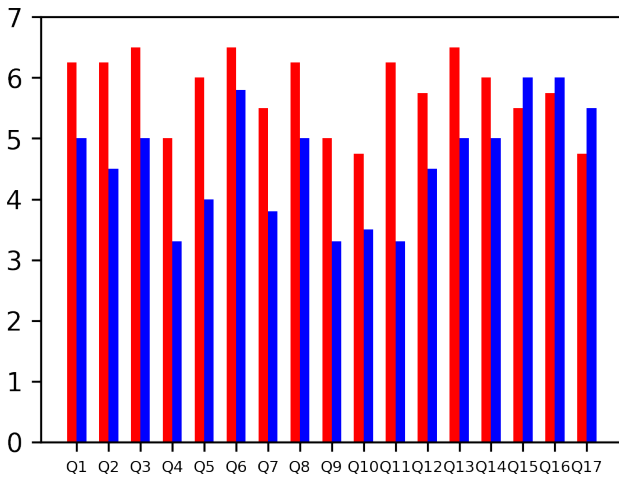


図9 受講後アンケート結果（情報社会）

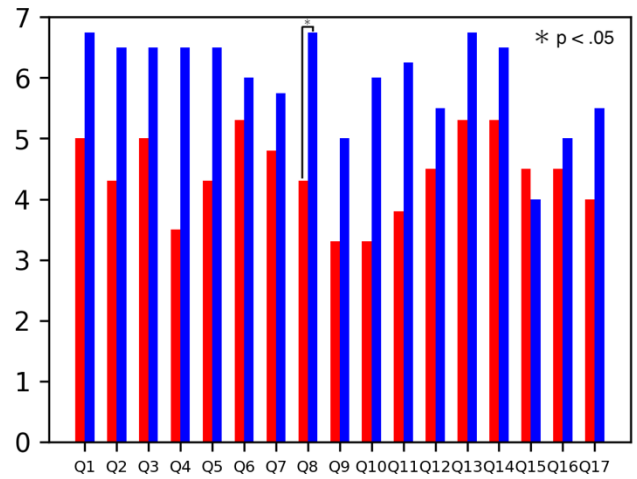


図10 受講後アンケート結果（ネットワーク）

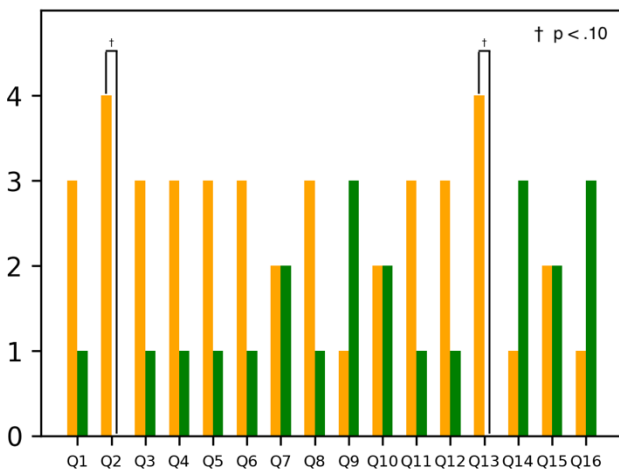


図11 全体アンケート結果(Group A)

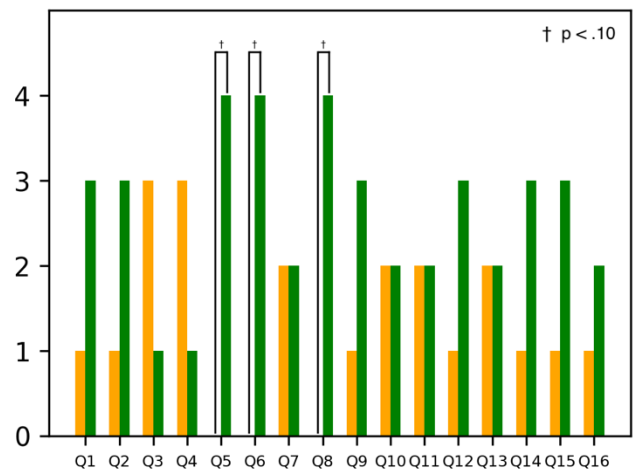


図12 全体アンケート結果(Group B)

4.4 注意リカバリに関する考察

今回のケーススタディでは、被験者の受講状態が良好で、高校教員及びシステムは、全ての被験者の受講状態が状態2と判定したため、注意リカバリと適応的テスト問題生成が起動されなかった。だが表4より、推定率は9割程度となっている。この理由として、高校教員とシステムから見た被験者の姿勢や受講態度は、状態2と判定して適切であるが、被験者の自己評価としては、注意が外れていたと回答したため、一致しないと算出した。この場合は、高校教員とシステムともに判定できないため、受講状態判定の限界と考える。

また、両条件で受講後・全体アンケートにほとんど有意差が見られなかったのは、両条件のロボット講義による注意制御の効果が考えられる。非言語動作やパラ言語は統一しているため、被験者にとって注意維持に効果的であったことも要因として考えられる。

よって H1 は、受講状態の推定率とアンケートの分析結果に限定されるが、支持されるのではないかと考える。今後、被験者を増やして継続的に評価を行う。

4.5 理解リカバリに関する考察

情報社会の講義において、図7より、両条件における理解度テストの平均値はわずかに IL 条件が高く有意差は認められなかった。だが、スライド内問題とスライド間問題を比較すると、スライド間問題では IL 条件の方が NL 条件より平均点が高いことが確認できた。理由として、図9の Q15、Q16 及び図11・12の Q14、Q15 より、事前知識があり講義内容も容易であったため、スライド間問題においては、両条件に差はなかったと考えられるが、IL 条件では、チャットボット機能が起動したため、スライド間の理解を促したと考えられる。

ネットワークの講義において、図8より、両条件に

参 考 文 献

おける理解度テストの平均値は、IL 条件の方が NL 条件よりも有意傾向が確認できた。特に、スライド内問題とスライド間問題を比較すると、スライド内問題で有意差が確認できた。理由として、図 10 の Q15, Q16 と図 11・12 の Q14, Q15 より、講義内容が難しいと回答があり、IL 条件で実施したチャットボット機能によるスライド内問題に関する理解リカバリが起動し、講義スライド間の理解を促したからだと考えられる。

更に、理解度テストに含んだスライド間問題 5 問に 4 問以上回答できた割合は、情報社会では IL 条件 3 名、NL 条件では 1 名であり、ネットワークでは IL 条件 1 名、NL 条件では 1 名であった。この結果は、本研究では、意図 2 で講義した場合は、状態 3 の遷移を目指していたが、理解リカバリが状態 4 に遷移するのを促す可能性を示唆している。講義メモを記入した被験者は 8 名中 6 名であり、記入しなかった被験者は、記入した被験者よりもチャットボット機能による問題正答率が低かったが、理解度テストでは、講義メモの記入有無で点数の差はなかった。この結果も、チャットボット機能によるスライド内問題の提示が、講義スライドの理解を促進したと考えられる。

よって H2 は、理解度テスト、アンケート分析結果より支持されたと考えられ、長時間の講義における理解リカバリに有効であることが示唆された。

5. おわりに

本研究では、講義における学習者の状態を推定し、注意・理解リカバリを行うインタラクティブロボット講義システムを用いたケーススタディを行った。その結果、注意リカバリと適応的テストの自動生成は起動しなかったため、評価は限定的であったが、理解リカバリにおいては、被験者が難しいと感じた講義コンテンツの理解度テストにおいて IL 条件で有意傾向が確認できた。今後も引き続き、ケーススタディを実施し、インタラクティブロボット講義の有用性を評価する。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 18K19836 と 20H04294 の助成を受けた。また埼玉県立川越高等学校村口将美教諭には、講義収録とケーススタディの協力を頂いた。

- (1) 柏原昭博: “ソーシャルロボットを用いた学びの研究”, 教育システム情報学会誌, Vol.37, No.2, pp.73-82 (2020)
- (2) 柏原昭博: “エンゲージメントを引き出す学習支援ロボット”, コンピュータ&エデュケーションVol.46, pp.30-37 (2019)
- (3) 柏原昭博, 島崎俊介: “ロボット講義におけるインタラクティブデザイン”, 教育システム情報学会2022年度第2回研究会, pp.16-20, (2022)
- (4) Tatsuya Ishino, Mitsuhiko Goto, and Akihiro Kashihara: “Robot Lecture for Enhancing Presentation in Lecture” *Journal of Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, pp.1-22, (2022)
- (5) 柏原昭博, 菅原歩夢: “ロボット講義における講義シナリオの適応的制御”, 教育システム情報学会 2020 年度第 6 回研究会, pp.19-26 (2021)
- (6) Shimazaki, T., Sugawara, A., Goto, M., and Kashihara, A.: “An Interactive Robot Lecture System Embedding Lecture Behavior Model”, *HCI 2022. Lecture Notes in Computer Science*, vol 13329. Springer, Cham, (2022)
- (7) 島崎俊介, 菅原歩夢, 後藤充裕, 柏原昭博: “ヒューマノイドロボットを用いたインタラクティブロボット講義システム”, 電子情報通信学会教育工学研究会, pp.97-102 (2022)
- (8) 島崎俊介, 菅原歩夢, 後藤充裕, 柏原昭博: “インタラクティブロボット講義における学習者状態推定と注意維持支援”, 教育システム情報学会 第47回全国大会, pp.155-156, (2022)
- (9) 島崎俊介, 柏原昭博: “インタラクティブロボット講義における注意・理解リカバリとその評価”, 教育システム情報学会2022年度第4回研究会, pp.70-77, (2022)
- (10) 芳尾哲, 荒木健治: “ヒューマノイドロボットを用いた講義代行システムのためのWikipediaを用いた多肢選択問題生成手法の性能評価”, 情報処理学会研究報告, pp.1-6, (2020)
- (11) 前出晃佑, 増田寛之, 本吉達郎, 澤井圭, 高木昇: “オンライン講義で参加者とインタラクティブロボットシステムを開発”, 第 37 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集 (FSS2021), pp.451-455, (2021)
- (12) 小松原剛志, 塩見昌裕, 神田崇行, 石黒浩, 萩田紀博: “理科室で授業の理解を支援するロボットシステム”, 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.10, pp.789-799, (2005)