

他グループの議論から新たな観点を提示する 議論支援エージェントシステム

村岡 泰成^{1,a)} 居原田 梨佐¹ 西村 龍之介² 横田 真斗³ 石井 裕³ 望月 俊男⁴ 江木 啓訓^{1,b)}

概要：本研究はグループによる議論を対象として、議論状況に応じて他のグループの議論から新たな観点を提示する議論支援エージェントシステムを提案する。非言語情報を用いて議論の停滞判定を行ない、議論が停滞していると判定された場合に、支援の対象となるグループで言及されていない観点を含ま発言を他のグループの議論内容から抽出し提示する。本システムを用いることにより、議論が活性化するかを検証した。その結果、エージェントの話し合いに参加しているように感じ、提案システムからの提示をきっかけに発言したと感じた議論参加者が多かったことが分かった。

Discussion Support Agent System that Presents New Perspectives from Other Groups' Discussions

TAISEI MURAOKA^{1,a)} RISA IHARADA¹ RYUNOSUKE NISHIMURA² MASATO YOKOTA³ HIROSHI ISHII³
TOSHIO MOCHIZUKI⁴ HIRONORI EGI^{1,b)}

1. はじめに

近年、教育現場において学習者の能動的な活動を促すアクティブラーニングの転換が必要とされている。アクティブラーニングを構成する要素の一つとして、グループ活動がある。学習者がグループの中でお互いに教え合い、協力しながら学習を進めることで、知識理解を深め合う相互作用による学習を実現することができる [1]。我々は、グループで議論を行うことで、このような学習に取り組む協調的議論を研究の対象とする。

協調的議論とは、「複数の人々がお互いの意見を述べ合

う中で、議論している内容について深く考えること」である。議論において、奥本らは、「多様な意見を受け入れること」が議論の活性化に必要と述べている [2]。他者の意見を聞くことで、聞き手の連想記憶の中に同じ概念が誘発され、その人がまだ探索していない記憶のサブセットで活性化の拡散プロセスが開始される [3]。その結果、参加者が批判的に思考し、議論が展開されることが期待される。

しかし、このような過程において、議論のテーマに関する意見が議論参加者の類似した経験に基づいているという状況が考えられる [4]。その場合、全員が共通に持つ固定概念の制約を受けて、ある枠の範囲内の情報しか得られず、議論の活性化が難しい可能性がある。

このような問題を解決するために、議論状況に応じて他グループの発言を提示する議論支援エージェントシステムを提案する。これにより、多様な観点から議論を活性化することが期待できる。

2. 関連研究

2.1 リアルタイムに資料の提示を行う議論支援

会議の場をリフレクションするリアルタイム会議支援シ

¹ 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻
Department of Informatics, Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications
² 電気通信大学情報理工学域
School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications
³ 岡山県立大学 大学院情報系工学研究科
Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Okayama Prefectural University
⁴ 専修大学 ネットワーク情報学部
School of Network and Information, Senshu University

a) m2030110@edu.cc.ucc.ac.jp

b) hiro.egi@uec.ac.jp

システムの研究 [5] がある。この研究は、リアルタイムに発言内容（またはユーザ手動入力）からキーワードを取得し、関連した過去の会議資料を検索し提示を行う。また、関連情報を提示することで Twitter における議論を活性化させる研究がある [6]。この研究は、議論に現れた特徴的なキーワードを用いて論文掲載サイトを検索し、関連性の高い記事を提示する。しかし、本研究で想定している対面型議論において、議論中に記事を開覧することは情報量が多いため、認知的負荷が高いことが考えられる。そのため、これらの研究は議論自体に集中できない可能性がある。

また、事前学習知識の活用を促す対面型協調学習支援の研究 [7] がある。この研究は、音声認識によって得られた対話テキストから現在の話題をリアルタイムに推定し、その話題に関連した事前学習資料をユーザーに提示する。しかし、この研究ではユーザーに事前学習の知識を活用させることを目的としているのに対して、本研究では議論参加者に対して新たな観点を与えることで多様な観点で議論することを目的としている。そのため、本研究とは目的およびアプローチが異なる。

2.2 リアルタイムにキーワード提示を行う議論支援

新しい連想のきっかけを与える発想支援の研究 [8] がある。アイデア出し停滞時に、ユーザがシステムに入力したアイデアからテーマに関連した共起度の低い単語をデータベースからヒントとして提示する。しかしこの研究では、ヒント候補群として、テキストから出現頻度が中程度の単語を選出している。そのため、この選出方法では、データ数が少ない場合に対応できない可能性が高い。

また、現在の話題に関連する次の話題を推薦するシステムの研究 [9] がある。この研究は、Web の検索ヒット数を用いて現在の話題との関連性を評価し、ヒット数の多い上位 5 語をユーザーに AR グラス上で提示する。しかし、現在の話題と関連性の高い話題の場合、提示された内容の影響による発散ができない可能性がある。

また、置いてけぼりになっている会話参加者を救い、会話を活性化させるロボットの研究 [10] がある。この研究は、会話参加者の非言語情報から、会話に対する参加意欲や会話に対する心理的な障壁を推定し、発言割合の少ない参加者に現在の話題に関連したキーワードを提示する。しかし、この研究では、トピックの推定は WoZ (Wizard of Oz) 法を用いている。また事前に指定された話題の範囲内で会話するよう指示されている。本研究は、システムがリアルタイムで自動で議論内容の解析を行う。

いずれの研究においても、キーワードでの提示を行っている。しかし、この場合、情報量が少ないため、議論参加者の発言の刺激になり得ない可能性がある。そのため、本研究では発言の単位で提示することにより、情報量を増やし議論の活性化を図る。

2.3 リアルタイムにグループ外の意見を提示する議論支援

他グループの議論内容を提示するシステムとして、複数グループの議論を支援する自動助言システムの研究 [11] がある。この研究は、事前に議題に関する Web ページを調査し、資料としてデータベースに登録させる。そして議論停滞時に、現在の話題や議論状況を加味し、調査資料とその資料を引用した他グループの議論中の発言を該当グループに対して提示する。この研究では、議論がキーボード入力によるテキストベースで行われる。そのため本研究が想定する完全な対面での議論とは実施の条件が異なる。また、「あるテーマに対する 2 つの異なる主張のどちらが適切か」という形式の議論を想定しているため、対象となる議論が限定的である。

3. 提案手法

3.1 リアルタイムの議論支援

本研究は、議論参加者に多角的な視点を与え、議論を活性化させることを目的とし、議論状況に応じて他グループの意見を提示する議論支援システムを提案する。Think-Pair-Share [12] などの議論終了後に意見を共有する手法は存在するが、これらは意見の再検討・再吟味を行うことができない。また、教育現場における協調的議論は、時間的制約が存在する。そのため、本システムはリアルタイムに動作し議論の支援を行う。議論参加者ごとの発言の収集から、音声認識、発言判定、議論状況の推測、エージェントによる他グループの発言提示のデータ処理をリアルタイムに行う。

3.2 新規観点を提示

提案システムでは、議論参加者が多様な意見を取り入れて議論を展開するために、支援の対象となるグループ（以下、自グループ）が言及していない他グループの発言を提示する。新出の話題を提示することによって議論が活性化する妥当性について述べる。

西本ら [4] は、議論参加者の制限された視野を拡大するためには、テーマに関連があり、議論参加者が想起していない情報を提示することが望ましいと述べている。同一のテーマに関する他グループの議論内容は、テーマに関連する内容であることは明らかである。そのため、議論参加者が想起していない情報として、自グループが言及していない話題が効果的であると考えられる。また、Brown ら [13] も活性化拡散モデルを用いて同様の指摘を行っている。活性化拡散モデルとは、Collins ら [14] によって提唱された、長期記憶の構造をノードとリンクの組み合わせにより構成されている意味ネットワークとして捉え、ある概念の提示により、意味的に関連性の高い概念の活性化がネットワークを通じて拡散される記憶モデルである。このモデルを用いて Brown らは、いいアイデアを生み出すためにはネッ

トワーク内でより遠いノード同士が活性化する必要のあることを言及している。この研究からも、現在の話題よりも新規の話題を提示するほうが、議論の活性化に繋がることが考えられる。

3.3 議論停滞状況における支援

提案システムでは、議論が停滞した状況において支援を行う。議論の停滞は、話題が途切れた場合と、同一話題で長時間議論している場合の2条件が考えられる。これらの状況は、ある観点における意見が収束した、あるいは膠着している状態と捉えることができる。Derrickら[15]は、関連性の高い概念の活性化が収束すると、すぐに新しい考え方に切り替えることができなくなり、そのような状況における外部刺激の必要性を述べている。したがって、そのような状況において、本研究の新たな観点の提示が議論の活性化に有効であると考えられる。

3.4 特徴量の定義

提案システムでは、議論状況を音声情報から算出する特徴量から推定を行う。本研究で用いる特徴量の定義を以下に示す。全ての特徴量が、学習者の音声入力の音量値と頻度から行われる発言判定に基づいて算出される。

発話率

議論時間における、個々の学習者の発言判定が真である時間の割合である。発話率は学習者ごとに算出され、それぞれ個別の値を持つ。

無音率

議論時間における、全ての学習者の発言判定が偽である時間の割合である。無音率はグループごとに算出される無音時間の割合であり、1つの値を持つ。

4. システム設計

4.1 発話収集デバイス

先行研究[16]の設計を参照して、発話収集デバイスを構成した。発話の収集に用いるウェアラブル端末は、ワンボードコンピュータ2台に指向性マイクのついたヘッドセットとモバイルバッテリーを接続したものである。ウェアラブル端末を図1に示す。

発話の言語情報は一方のワンボードコンピュータ内で、Google Cloud-Speech-to-Textを用いて、リアルタイムで音声認識を行う。発話の非言語情報の収集は、もう一方のワンボードコンピュータ内で、Pythonのライブラリであるpyaudioで行い、音圧レベルを算出する。得られた非言語語及び言語情報は、Wi-Fiを通じてサーバに接続し、UDP通信で送信する。

4.2 新規話題の抽出方法

本研究では、自グループが言及していない他グループの

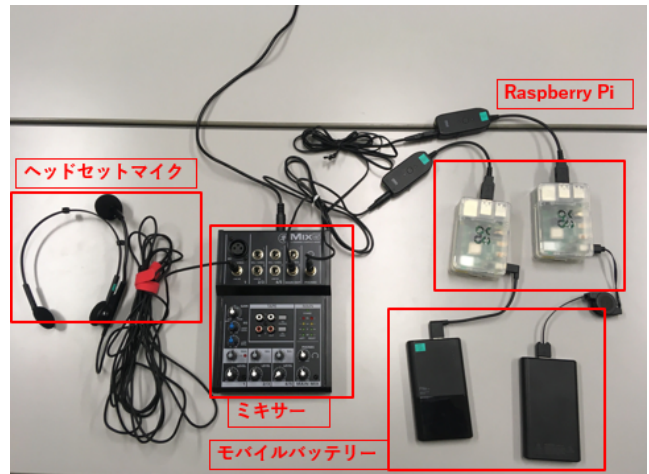


図1 ウェアラブル端末の機器構成

発言を参加者に提示する。そのため、他グループ議論内容から当該発言の抽出を行う必要がある。本システムでは、他グループの議論で現れたキーワード候補に重要度を付与し、各発言ごとに話題スコアを算出する。また、リアルタイムに自グループで言及したキーワード候補を重要度の対象から除外する。そして、停滞条件と判定された時に、他グループの各発言の中から、最も話題スコアが高い発言を提示する。

4.2.1 キーワード候補抽出

他グループの議論内容を、形態素解析器SudachiPyを用いて形態素解析を行い、2回以上出現する名詞を抽出する。

抽出された名詞から、ストップワードを除去し、キーワード候補を抽出する。ストップワードとは、自然言語処理を行う際に一般的で役に立たないため、処理対象外にする単語のことである。本システムでは、ストップワード辞書SlotLib[17]と独自で追加したストップワード辞書を用いて除去する。SudachiPyには、品詞分類が3段階あり、「名詞」の中でも詳細な分類がされている。追加のストップワードとして、詳細な分類の中で、「数詞」、「助動詞語幹」、「助数詞可能」、「副詞可能」、「助動詞語幹」に分類される名詞、語尾に「的」が用いられる語を対象とした。これらの名詞は、単語自体に意味をあまり持たない単語、もしくは副詞的な役割を担っている単語であるため追加した。

4.2.2 重要度算出

本システムにおけるキーワード候補の重要度の算出は、EmbedRankの考えに基づいた、単語の分散表現での議論のテーマとの類似度を用いる。

Embedrankとは、Bennaiによって提唱された教師データを必要としない単一文書におけるキーフレーズ抽出手法[18]である。文書にとって重要なキーワードは文書全体の内容と類似している単語であるという仮説に基づき、文書全体とキーワード候補をDoc2VecやSent2Vecでベクトル化し、その類似度を元にスコアリングして抽出する。しかし、対面型議論では、発言が冗長になり、文脈も曖昧な

可能性がある。したがって、記事や論文などの成形されたテキストデータに比べて、文書ベクトルの算出精度が低下する。

そこで本システムでは、議論全体のベクトルではなく、議論のテーマをベクトル化し代用する。議論のテーマは、議論の究極的な要約であり、議論全体の中心的な内容であることは明らかである。そのため、議論全体と議論のテーマは近似していると考えた。

議論のテーマと抽出された各キーワード候補を Sentence BERT を用いてベクトル化を行う。そして、各候補ベクトルと議論のテーマベクトルのコサイン類似度を求め、この値をキーワード候補の重要度とした。コサイン類似度の計算式は式 1 で表される。なお、キーワード候補 a の特徴ベクトルを \vec{a} 、議論のテーマ b の特徴ベクトルを \vec{b} とする。この類似度は、最小値が 0、最大値が 1 で、類似性が高いほど数値が上がる。

$$key(a, b) = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} \quad (1)$$

4.2.3 発言の話題スコア算出

4.2.2 項で算出したキーワード候補の重要度を用いて、各発言の話題スコアを算出する。本システムでは、発言の単位を句点で区切られた区間とした。話題スコアは各発言中に含まれるキーワード候補の重要度の総和を、キーワード候補の総数の平方根で除算することで算出される。

各発言の話題スコアの算出式は式 2 で表される。なお、 n は発言に含まれるキーワード候補の総数、 key_k はキーワード候補の重要度とする。

$$TopicScore = \frac{\sum_{k=1}^n key_k}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

4.2.4 新規話題スコアの算出

本システムでは、自グループの言及していない発言を提示するために、自グループで出現したキーワード候補をリアルタイムに重要度の対象から除外した。これにより、自グループでは出現していないキーワード候補のみが重要度の対象となるため、新たな観点を提示できると考えた。各発言の新規話題スコアの算出式は以下の式 3 で表される。なお、 n は発言に含まれるキーワード候補の総数、 key_k はキーワード候補の重要度、 d は自グループで発言されたキーワード候補の総数、 del_l は自グループで発言されたキーワード候補の重要度とする。

$$NewTopicScore = \frac{\sum_{k=1}^n key_k - \sum_{l=1}^d del_l}{\sqrt{n-d}} \quad (3)$$

4.2.5 新規話題スコアの更新

サーバは、ワンボードコンピュータから受信した発言内容を SudachiPy を用いて形態素解析を行い、キーワード候補が含まれているか判定する。含まれていた場合、4.2.4 項で述べた通り、当該キーワード候補を除外する。そして、式 3 を再度算出し、新規話題スコアを更新する。

4.3 エージェントシステム

4.3.1 対話型ホログラフィックエージェント

エージェントシステムは、サーバからプロンプトのデータをリアルタイムに取得し、プロンプトの内容に従ってエージェントの動作や音声の提示を自動で行う。エージェントシステムは、偏光板を正四角錐の頭頂点側を切った方墳の形に組み合わせ、水平方向に寝かせた液晶ディスプレイの上に逆さまに設置したものをを用いて投影する。エージェントの音声の提示は、合成音声により行う。表示および動作には Unity を用いた。3次元ホログラムで表示されたエージェントを図 2 に示す。



図 2 エージェントの 3次元ホログラム表示

4.3.2 エージェントのプロンプト

エージェントシステムを動作させるためのプロンプトは、動作の対象者、指示の音声、エージェントの動作の 3 つで構成される。これらの要素を組み合わせ、後述の状況 a~d1,d2 の 5 つの議論状況に対して、異なる動作を行う。

エージェントの動作について、各状況における対象者やプロンプトの判定条件を以下に示す。

状況 a

学習者 1 人が 2 秒以上話しているとき、状況 a に該当する。判定条件としては、学習者 1 人の直前 10 秒の発話率が 20% を超えたときである。エージェントシステムは指示の音声を流さない間は、聞き役として振る舞う。状況 a では学習者 1 人が話しているときに、エージェントがその学習者に体を向けて傾聴することを想定している。

状況 b

学習者 1 人が 5 秒以上話しているとき、状況 b に該当する。判定条件としては、学習者 1 人の直前 10 秒の発話率が 50% を超えたときである。状況 a と同様に、エージェントは聞き役として振る舞う。状況 b では、状況 a における体の向きに加えて、うなづきを行うことでより傾聴している振る舞いを行う。

状況 c

学習者複数人が状況 a を満たしているとき、状況 c に該当する。判定条件としては、学習者複数人の直前 10 秒の発話率が 20% を超えたときである。状況 a, b では学習者 1 人を対象としている一方、状況 c では複数人を対象とする。そのため、エージェントは学習者全体を見回し、学習者全員に向けて傾聴している振る舞いを行う。

状況 d1

発話量が全体的に少ないとき、状況 d1 に該当する。判定条件としては、無音率が 80% を超える状態が 10 秒継続し、それが 2 セット続いたときである。エージェントのプロンプトは学習者全体に対して行われる。音声は「他のグループでは、このような意見がありました。」と発言した後、最も新規話題スコアが高い発言を発言する。

状況 d2

同一話題で長時間議論しているとき、状況 d2 に該当する。判定条件としては、議論参加者により当該条件を満たしていると判断されたときである。エージェントのプロンプトは学習者全体に対して行われる。音声は「他のグループでは、このような意見がありました。」と発言した後、最も新規話題スコアが高い発言を発言する。

4.3.3 状況 d2 における動作条件

サーバ側で、議論参加者が同一話題で長時間議論していると判断した特定発言を認識し、プロンプトを書き込む。本システムでは、エージェントシステム名を「Ochibi(おちび)」とし、議論参加者が「Ochibi よろしく」という発言を特定発言とする。サーバ側で形態素解析を行い、一発言内で「ちび」と「よろしく」の形態素が同時に出現したときに、当該発言の条件を満たす。

エージェントシステムの全体構成を図 3 に表す。

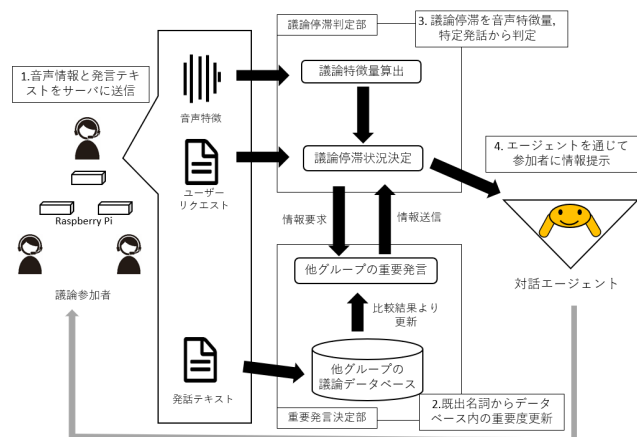


図 3 エージェントシステムの全体構成

5. 評価実験

本研究では、議論状況に応じて、他グループの議論から新たな観点を含む発言を提示するシステムを提案した。これを用いることで、議論参加者に多角的な視点を与え、議論を活性化させることができるか評価実験を行った。

5.1 他グループの議論コーパスの作成

本研究では、他グループの議論から新たな観点を提示して議論支援を行う。そこで、あらかじめ他グループの議論コーパスを作成した。議論コーパスは、提案システムの導入を除いて、自グループと同条件で実施した議論の内容に基づいて作成する。議論の参加者は理工系大学生および大学院生の総数 9 名であった。9 名を 3 名ずつに分け、計 3 グループとした。

収集した音声ファイルを用いて、各学習者の議論内容のテキスト化を行った。本研究では Cloud-Speech-to-Text を用いて音声認識を行った。音声認識後、句読点の挿入、誤変換の修正を手動で行い、テキストをクリーニングした。また、意味を持たない相づちやフィルターなどは形態素解析に支障が出る可能性があるため排除した。

5.2 実験手順

作成した議論コーパスに基づいて、他グループの議論から新たな観点を含む発言を提示することで、議論参加者に多角的な視点を与え、議論を活性化させるエージェントシステムを運用する実験を行った。被験者は理工系の大学生および大学院生 15 名である。15 名を 3 名ずつのグループに分け、計 5 グループでそれぞれ実験を行った。以下、実験を行った 5 グループについて、グループ A, B, C, D, E として扱う。

議論は各グループとも 2 回行い、それぞれ議論時間を 30 分で行った。議論のテーマとして、一方は「思いやりとは何か」、もう一方は「幸せとは何か」に設定した。一方の議論では本研究で提案したエージェントシステムを用いて議論を行った。もう一方の議論では、統制システムとして、先行研究 [19] で提案された中で、議論の停滞時の指示を行う動作のみを搭載したエージェントシステムを用いて議論を行った。統制システムの議論の停滞判定は、状況 d1 と同様の判定であり、音声は、「もしかすると、別の視点から何か意見があるとよいと思いますが、みなさん何かありませんか？」が流れる。議論及びシステムの順番は固定せず、グループごとに変更した。また、各議論では、被験者にはテーマについて自由に話すように指示を行い、議論の結論を求めなかった。議論の様子を図 4 に示す。また、本実験で行う議論のテーマと用いるエージェントシステムの組み合わせを表 1, グループごとの順序を表 2 に示す。

実験は提案システム及び統制システムを用いて、同様の

表 1 議論の組み合わせ一覧

	提案システム	先行システム
議題 1 「幸せとは何か」	a	b
議題 2 「思いやりとは何か」	c	d

表 2 グループごとの順序一覧

グループ名	議論 1 回目	議論 2 回目
グループ A	a	d
グループ B, E	c	b
グループ C	b	c
グループ D	d	a

実験を 3 名 1 グループとした 5 グループでそれぞれ行った。議論を行う前に、本システムの発話収集デバイスおよびエージェントシステムについて説明を行った。

表 2 の順序に従い議論を行ってもらった。まず、議論のテーマを議論参加者に与え、このテーマについて個人で 5 分間思考をしてもらった。思考する時に、紙に自由に記載するように求めた。その後議論のテーマをもとに、30 分間行った。議論中は議論のテーマにおける個人の思考を記載した紙を確認してもよいことを説明した。ただし、議論中の紙への追加記載はできないようにした。議論後に議論評価アンケートを実施した。アンケート後に振り返りインタビューを実施した。



図 4 議論の様子

5.3 議論評価アンケート

議論後の議論評価アンケートは、アンケート用紙により行い、各議論後に 5 件法で実施した。

5 件法アンケートの質問項目を以下に示す。Q1 から Q5 において、5 件法の回答を「5. とてもそう思う」、「4. そう思う」、「3. どちらともいえない」、「2. そう思わない」、「1. 全くそう思わない」とした。各設問に対する回答は選択肢に丸をつける形式で行った。

表 3 議論評価アンケートの質問項目

設問	内容
Q1-1	エージェントの音声の流れたときに驚いた
Q1-2	エージェントの発言内容の聞き取りは容易だった
Q1-3	エージェントのキャラクターが見づかった
Q1-4	話し合い中にエージェントの存在を意識した
Q1-5	エージェントは自分のほうを向いているように感じた
Q1-6	エージェントも話し合いに参加しているように感じた
Q2-1	話をするように促される以前から、自分から発言しようと考えていた
Q2-2	話をするように促されたことがきっかけで、発言を行った
Q2-3	話をするように促されたことで、不快に感じた
Q2-4	話をするように促された音声の内容は自然であった
Q2-5	話をするように促された音声のタイミングは自然であった
Q3-1	議論のテーマについてじっくり話されていた
Q3-2	議論は活発だった
Q3-3	幅広い観点で話し合うことができていた
Q3-4	議論全体を通して満足できる内容だった
Q4-1	議論のテーマについて自分はじっくり話せた
Q4-2	議論に率先して参加した
Q4-3	幅広い観点で自分は意見を出すことができた
Q5-1	マイクを装着することにより、議論に支障があった
Q5-2	議題の影響により議論の難易度が変化した

6. 実験結果

6.1 特徴量の分析結果

エージェントシステムが動作しなかった B グループと、発話判定が正しく行われなかった E グループを除いた 3 グループの被験者 9 名を分析の対象とした。9 名の被験者について、A1~A3, C1~C3, D1~D3 として扱う。各グループの議論における、特徴量の分析結果を以下に示す。議論時間 30 分の累積値として算出された特徴量を表 4 に示す。エージェントシステムによって音声の指示がされた回数を表 5 に示す。なお、発話率 T_i は議論時間を 100% としたときの学習者 i の発話時間である。また、エージェントを R として表記している。

全てのグループにおいて、統制システムに比べて提案システムは議論全体における累積の無音率が高い結果になった。また、グループ C は統制システムに比べ提案システムの指示回数が少なくなり、グループ D は統制システムに比べ提案システムの指示回数が多くなった。

6.2 議論評価アンケートの結果

各議論後に行った議論評価アンケートの結果を表 6, 7 にそれぞれ示す。

表 6 に示した議論評価アンケートの結果から、提案システムの評価について、統制システムと比較して分析する。Q1-2, Q2-4 から、提案システムの発言内容は統制システムと比べて、理解しにくく聞き取りにくいと感じた議論参加者が多いことが分かった。Q1-4, Q1-5, Q1-6 から、提案システムは統制システムに比べて、エージェントの存在

表 4 特徴量の累積値 (30 分)

グループ	特徴量	提案システム	統制システム
A	A1 の発話率 T_{A1} [%]	28.42	36.51
	A2 の発話率 T_{A2} [%]	12.90	14.24
	A3 の発話率 T_{A3} [%]	17.63	15.57
	R の発話率 T_R [%]	2.46	0.46
	無音率 [%]	41.64	37.22
C	C1 の発話率 T_{C1} [%]	17.32	13.20
	C2 の発話率 T_{C2} [%]	12.86	16.55
	C3 の発話率 T_{C3} [%]	14.45	21.67
	R の発話率 T_R [%]	8.65	4.57
	無音率 [%]	52.71	51.14
D	D1 の発話率 T_{D1} [%]	18.56	21.62
	D2 の発話率 T_{D2} [%]	10.42	15.22
	D3 の発話率 T_{D3} [%]	9.83	13.05
	R の発話率 T_R [%]	7.24	0.91
	無音率 [%]	55.80	51.94

表 5 音声指示の回数

グループ	使用システム	状況 d1	状況 d2
A	提案システム	0	2
	統制システム	1	0
C	提案システム	6	1
	統制システム	10	0
D	提案システム	5	1
	統制システム	2	0

表 6 議論評価アンケートの平均と標準偏差

設問	提案システム		統制システム	
	平均	S.D	平均	S.D
Q1-1	2.44	1.17	2.78	1.31
Q1-2	3.88	0.57	4.11	0.74
Q1-3	2.56	0.96	2.11	0.74
Q1-4	3.67	0.94	3.11	1.28
Q1-5	3.00	0.94	2.55	1.16
Q1-6	3.00	0.94	2.22	1.03
Q2-1	2.56	0.96	2.56	1.17
Q2-2	4.22	0.42	3.78	0.79
Q2-3	1.89	0.73	1.78	0.47
Q2-4	3.44	0.78	4.33	1.03
Q2-5	3.67	1.15	2.78	0.74
Q3-1	4.33	0.67	4.11	0.62
Q3-2	4.11	0.99	4.22	0.87
Q3-3	3.78	0.41	4.11	0.87
Q3-4	3.78	0.63	4.00	0.47
Q4-1	3.89	0.87	4.22	0.79
Q4-2	3.89	0.87	4.00	0.67
Q4-3	3.33	0.47	3.88	0.73

表 7 議論の回数による変化項目の平均と標準偏差

設問	1 回目		2 回目	
	平均	S.D	平均	S.D
Q5-1	1.56	0.68	1.56	0.50
Q5-2			3.56	1.07

を意識され話し合いに参加しているように感じられる議論参加者が多いことが分かった。また、Q1-6において、マン・ホイットニーのU検定を行った結果、提案システムは統制システムに比べて評価が高い傾向にあった ($p < .10$)。また、Q1-3から、提案システムは統制システムに比べて、エージェントのキャラクターが見ずらいと感じた議論参加者が多いことが分かった。このことから、エージェントの視覚的動作としてはシステムごとに変わらないため、エージェントの存在を確認する機会が多く、議論中に意識されていたと考えられる。Q2-2における提案システムの評価が統制システムに比べて高く、評価値平均4.22であることから、提案システムは統制システムに比べて、タイミングが自然であり、音声のきっかけにより発言を行うと感じた議論参加者が多いことが分かった。

Q3-2からQ3-4及びQ4-1からQ4-3の全体及び個人に対する議論の評価について、統制システムの方が提案システムに比べて、全ての評価において評価が高いと感じた議論参加者が多いことが分かった。

表7に示した結果から、デバイス及び議題の影響について分析する。Q5-1から、マイクの装着による議論への支障はない傾向にあり、時間経過による支障の変化も見られなかった。Q5-2から、議題自体の影響により議論の難易度に変化が生じていることが示唆された。

7. 考察

本研究では、議論状況に応じて、他グループの議論から新たな観点を含む発言を提示するシステムを提案した。エージェントシステムおよび実験結果について考察する。

表6のQ1-6より、統制システムに比べて提案システムは、議論中にエージェントが話し合いに参加していると感じる傾向があった。また、Q2-2より、エージェントの提示により発言を行ったと感じた議論参加者が多いことが分かった。このことから、統制システムの「別の視点」のような話題の転換を促す一定のプロンプトよりも、提案システムの他グループの議論中に現れた意見のような具体的な話題転換を行う内容を提示する方が、停滞状況の議論参加者にとって発言のきっかけになり得る可能性が示唆された。また、エージェントが発言のきっかけを与えることができたため、議論参加者はエージェントが議論参加していると感じた可能性が考えられる。

表4より、全てのグループにおいて統制システムの方が提案システムよりも無音率が低かった。このことから、提案システムは統制システムに比べて沈黙する時間が多かったことが示唆される。この結果に関して3つの原因が考えられる。考えられる原因として情報量の多さが挙げられる。提案システムは内容のある文章が提示される。議論参加者は内容を理解するために発言をしない時間が増加した可能性が考えられる。また、議題による難易度の違いによ

る影響が考えられる。表6のQ5-5の評価の平均が3.56と高く、グループCとグループDにおいて、提案システムを用いた議論のテーマの方が難しかったと回答している。このことから、提案システムの方が議論のテーマ自体の難易度が高かったために沈黙の時間が長くなった可能性がある。また、一部のエージェント発言が発話の刺激になり得なかった可能性も考えられる。振り返りインタビューにより、エージェント発言に関して、指示語や機械音声による口語調による違和感、発話による冗長性の高さが議論参加者から報告された。そのため、一部のエージェント発言は議論の妨げになっている可能性が考えられる。

8. おわりに

議論状況に応じて新たな観点を提示する議論支援エージェントシステムを提案した。結果として、話題の転換を促す一定のプロンプトよりも、他グループの議論中に現れた意見のような具体的な話題転換を行う内容を提示する方が、停滞状況の議論参加者にとって発言のきっかけになり得る可能性が示唆された。また、エージェントが発言のきっかけを与えることができたため、議論参加者はエージェントが議論参加していると感じた可能性が考えられる。

議論内容における質的な分析によって、有用性の検証を行うことが今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 19H01710, 21K18527 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Kinshuk Heimo H. Adelsberger and Jan Martin Pawlowski. *Handbook on Information Technologies for Education and Training*. Springer Publishing Company, 2010.
- [2] 奥本素子, 岩瀬峰代. 長期の協調学習において協調的議論はどのように生まれるのか. 日本教育工学会論文誌, Vol. 39, No. 4, pp. 271–282, 2016.
- [3] J. G. Raaijmakers and R. M. Shiffrin. Search of associative memory. *Psychological Review*, Vol. 88, pp. 93–134, 1981.
- [4] 西本一志, 安部伸治, 宮里勉, 岸野文郎. 発散的思考支援を目的とする関連性と異質性を併せ持つ情報の抽出手法の検討. 人工知能学会誌, Vol. 11, No. 6, pp. 896–904, 1996.
- [5] 赤川龍之介, 由井園隆也. 会議の場をリフレクションするリアルタイム会議支援システム「inga」の提案と評価. 研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), Vol. 2013-GN-86, No. 18, pp. 1–8, 2013.
- [6] S. Kusajima and Y. Sumi. Activating group discussion by topic providing bots. *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E101.D, No. 4, pp. 856–864, 2018.
- [7] 羽山徹彩, 徐利娟, 國藤進. 議論での事前学習知識の活用を促す対面型協調学習支援システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 1, pp. 163–176, 2014.
- [8] 伊藤淳子, 東孝行, 宗森純. 単語共起度の低い単語を提示する発想支援システムの提案と適用. 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 6, pp. 1528–1540, 2015.
- [9] W. Sunayama, Y. Shibata, and Y. Nishihara. Topic recommendation method related to a present topic for continuing a conversation. *Information Engineering Express International Institute of Applied Informatics*, Vol. 3, No. 1, pp. 19–28, 2017.
- [10] 松山洋一, 秋葉巖, 渡邊萌実, 齋藤彰弘, 小林哲則. 「置いてけぼり」を救う多人数会話活性化ロボット. HAI シンポジウム, 2012.
- [11] 青木志乃, 長瀧寛之, 大下福仁, 角川裕次, 増澤利光. 複数グループのオンライン議論を同時にサポートする自動助言システムの構築. 情報処理学会研究報告, Vol. 70, pp. 79–84, 2009.
- [12] F. Lyman. The responsive classroom discussions: The inclusion of all students. *Mainstreaming Digest*, p. 109–113, 1981.
- [13] Vincent Brown, Michael Tumeo, Timothy Larey, and Paul Paulus. Modeling cognitive interactions during group brainstorming. *Small Group Research - SMALL GROUP RES*, Vol. 29, pp. 495–526, 08 1998.
- [14] A. M. COLLINS. A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, Vol. 82, pp. 407–428, 1975.
- [15] Douglas C. Derrick, Aaron Read, Cuong Nguyen, Andy Callens, and Gert-Jan de Vreede. Automated group facilitation for gathering wide audience end-user requirements. In *2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 195–204, 2013.
- [16] 石川誠彬, 岡澤大志, 江木啓訓. 発話の占有を通知する議論訓練システムの提案. 情報処理学会論文誌, Vol. 62, No. 1, pp. 64–77, jan 2021.
- [17] 大島裕明, 中村聡史, 田中克己. Slothlib web 検索研究のためのプログラミングライブラリ. 日本データベース学会 letters, Vol. 6, No. 1, pp. 113–116, jun 2007.
- [18] Kamil Bennani-Smires, Claudiu Musat, Andreea Hossmann, Michael Baeriswyl, and Martin Jaggi. Simple unsupervised keyphrase extraction using sentence embeddings. In *Proceedings of the 22nd Conference on Computational Natural Language Learning*, pp. 221–229. Association for Computational Linguistics, October 2018.
- [19] 石川誠彬, 江木啓訓, 望月俊男, 久富彩音, 石井裕, 結城菜摘, 久保田善彦, 加藤浩. 協調的議論において共調整を促す対話型ホログラフィックエージェント. 日本教育工学会論文誌, Vol. 44, No. Suppl., pp. 185–188, 2021.