

推薦論文

# 発話の占有を通知する議論訓練システムの提案

石川 誠彬<sup>1</sup> 岡澤 大志<sup>1</sup> 江木 啓訓<sup>1,a)</sup>

受付日 2020年4月8日, 採録日 2020年10月6日

**概要:** 協調的議論においては, 学習者による積極的な議論参加が期待される一方で, 発話の割合に偏りが生じることがあるという課題がある. これまでに, 可視化によって学習者に発話の割合を意識させ, 議論を相互に調整させる手法が提案されている. しかし, 可視化によって発話の割合の低い学習者がかえって委縮する可能性があることが指摘されている. この課題を解決するために, 本研究は議論に参加する学習者の発話の有無から, 特定の学習者が発話機会を占有しているかをリアルタイムに判断して通知する議論訓練システムを提案する. 開発した議論訓練システムは, 発話の偏りがみられた場合に, 発話の偏りのある話者に対して他の学習者に発話機会を譲るよう音声で介入する. 本研究では, 提案システムによる介入がなくても学習者が発話状況を把握できるようになることを狙いとして, 実験群でのみシステムを用いて統制群と同数の議論を行う議論訓練の手順を設定した. 発話状況を把握するための訓練を行う実験の結果, 実験群では統制群よりも学習者間の発話の割合を把握できていたことが分かった. 開発したシステムを用いて議論訓練を行うことが, 学習者が発話の偏りを把握する点において有効であることを確認した.

**キーワード:** 議論訓練, 議論支援システム, 発話検知, 対話分析, ウェアラブルデバイス

## Proposal of a Training System in Collaborative Discussion by Notifying Occupancy of Utterance

NARUAKI ISHIKAWA<sup>1</sup> TAISHI OKAZAWA<sup>1</sup> HIRONORI EGI<sup>1,a)</sup>

Received: April 8, 2020, Accepted: October 6, 2020

**Abstract:** Although active participation of learners is expected in collaborative discussions, there remains the problem that the rate of utterance may be biased to a specific learner. Several methods are available to make learners aware of the rate of utterance by visualization and coordination of the discussion with one another. However, visualization may lead to negativity among learners who have a low rate of utterance. To solve this problem, we propose a discussion training system that judges, by detecting the learner's utterance, whether a particular learner avails of an opportunity to speak in real time. The system, through an automated voice message, directly notifies the speaker to give up the opportunity to another learner if the rate of utterance is biased. In this study, a discussion training procedure was set up. In this procedure, the system was used only in the experimental group. The number of discussions was the same as that in the control group so that learners could grasp the utterance condition even without notification by the proposed system. The experimental results show that when compared with the control group, the experimental group could better grasp the rate of utterance between learners. We confirmed that the discussion training system is effective for learners to understand the bias of utterance.

**Keywords:** discussion training, discussion support system, detecting utterance, dialogue analysis, wearable device

### 1. はじめに

近年, 教育現場において学習者に能動的な学習を促すた

本論文の内容は 2019 年 7 月のマルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2019) シンポジウムで報告され, グループウェアとネットワークサービス研究会主査により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

<sup>1</sup> 電気通信大学大学院情報理工学研究科  
Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo 182–8585, Japan

<sup>a)</sup> hiro.egi@uec.ac.jp

めに、アクティブラーニングが活用されている。文部科学省は、アクティブラーニングを「教員による一方向的な講義形式の教育とは異なり、学修者の能動的な学修への参加を取り入れた教授学習法の総称。学修者が能動的に学修することによって、認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力の育成を図る。発見学習、問題解決学習、体験学習、調査学習等が含まれるが、教室内でのグループディスカッション、ディベート、グループワーク等も有効なアクティブラーニングの方法である」と定義している [1]。

アクティブラーニングを構成する要素の1つとして、グループによる活動がある。学習者がグループのなかで互いに教え合い、協力しながら学習を進めることで、互いの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 [2]。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、「複数の人々が互いの意見を述べ合うなかで、議論している内容について深く考えること」であり、協調的議論の目的は、「異なる意見を持つ参加者が合意形成をしてよりよい意見を作り出すこと」とされている [3]。本研究は、議論の成果物の質や生産性の向上そのものではなく、お互いの意見を述べたり他者の意見に傾聴したりといった議論中の学習者の振舞いを支援する。

協調的議論においては、グループを構成する学習者全員が積極的に議論に参加することが望ましい。しかしながら、学習者の発話の割合に偏りが生じることが考えられる。これを解消するためには、まず発話の割合に偏りがあることを理解する必要がある。たとえば、議論後にグループメンバー全員で議論を振り返ることによって、客観的に議論への参加を把握でき、積極的な議論参加につながる事が期待できる。

このような問題を解決するために、議論中の発話状況を可視化し、議論後に学習者に提示することで振り返り支援を行うことが考えられる [4]。学習者間の発話の相互作用などの特徴量を算出し、議論状況図を作成して提示することで、特徴量から論理的に役割の振り返りを行うことが可能である。この議論状況図を議論中の学習者に対してリアルタイムに提示することにより、発話率の高い学習者が発話率の低い学習者に話を振るきっかけとすることが期待できる [5]。しかしながら、発話率の低い学習者は自分自身の状況が可視化されることに不快感を抱くことが明らかになっている。このため、学習者ごとの議論への参加割合を可視化して提示することを行わなくても、学習者それぞれが発話の割合の偏りを把握できるようになることが有効であると考えられる。

このような状況を対象として、協調的議論に参加する学習者の発話の有無から、リアルタイムに議論の状況を判断して必要な介入を行う議論訓練システムを提案する。議論

の訓練を通じて、学習者が自分自身の議論への参加状況を意識し、他の学習者の議論への参加状況を把握する能力を身につけることを目的とする。これによって、参加割合の高い学習者が発話機会の均等化へ関心を持ち、参加割合の低い学習者に発話を促すことで、学習者の発話割合の偏りが少なくなる可能性が期待できる。

本研究では、提案システムによる介入がなくても学習者が自分自身および他者の発話状況を把握できるようになることを狙いとする。そのため、実験群でのみシステムを用いて、統制群と同数の議論を行い、発話状況を把握するための訓練を行う。最後に、実験群と統制群でシステムを用いない条件に合わせて議論を行うことによって効果を検証する。

## 2. 関連研究

議論の支援を対象とした研究には様々なアプローチがある。これらの研究の特徴と、本研究との差異について整理する。まず、2.1 節では、本研究が対象とする対面形式の議論と対となる、非対面形式の議論を支援する研究について示す。次に、2.2 節、2.3 節において、本研究の研究背景に関連する研究についてそれぞれ述べる。その後、本研究の手法に関連する研究として、繰り返しの訓練に関連する研究について2.4 節に、発話を収集し分析する研究について2.5 節にそれぞれ示す。最後に、議論のフィードバックに関連する研究について2.6 節に示す。

### 2.1 非対面形式の議論

非対面形式の議論の研究として、グループチャットの使用がある [6]。この研究では、チャットを介した議論をリアルタイムフィードバックで支援している。フィードバックとして、他者の発信に注意を払わせる指示と、資料の共有を促す指示を用いている。

また、インターネット上の議論において、参加者の貢献度の可視化を試みた研究がある [7]。参加者の意見に対して他の参加者が匿名で賛否を報告し、参加者ごとの貢献度をつけることで可視化と満足度の関係性を述べている。

本研究と [6] の共通点は、リアルタイムでフィードバックを行う点である。また、本研究と [7] の共通点は、参加者ごとの貢献に着目している点である。しかしながら、いずれの研究も非対面形式の議論を対象としており、本研究が対象としている対面形式の議論にそのまま導入することはできない。また、本研究は [7] とは異なり、他の参加者が意見を評価することによる貢献の評価ではなく、発話の割合による客観的な量としての参加に着目する。

### 2.2 議論への参加割合の可視化の影響

議論にどれだけ参加したかを共有することの影響を調査した研究がある [8]。マイクからの音声入力から発話率を可

視化している．音声入力があった時間を全体 100%として、4名での議論の場合、参加 (participating) を 25%として可視化している．また、参加の許容上限 (over) を 37.5%、許容下限 (under) を 12.5%としている．議論中にリアルタイムに発話状況図を提示した研究 [5] と同様に、この研究では発話の少ない被験者が可視化された情報を有益と感じないと述べている．

対面型共同学習を支援するための対話型テーブルを開発した研究がある [9]．発話の割合に基づいて専用の机の LED を点灯させることで、学習者が参加のバランスを確認できる．LED による可視化だけでは意図した発話の均衡を保てなかったことや、参加割合の低い学習者の一部は可視化される内容について不満に抱いたことを報告している．

いずれの研究も、議論への参加割合を可視化することによって、参加割合の低い学習者が否定的な感情を感じる点を指摘している．このことは、本研究の研究背景を支持している．本研究は、学習者の参加割合を可視化することなく、学習者に参加割合の意識づけを図る．

### 2.3 議論への参加の偏りの影響

学習者の対話分析の方法として、発言のネットワークを用いたものがある [10]．品詞を形態素分析により分類することで、発話のつながりの把握をしている．発話の数の多い学習者が全体の傾向を大きく決定していると述べられている．

議論において支配的な人の分類を行った研究がある [11]．支配的な行動や優位性がグループの社会的ダイナミクスに悪影響を及ぼすと述べられている．この研究では、発話の特徴と行動の特徴から支配的な人の分類を図っている．発話の占有が支配的な人の特徴として強く表れていることが述べられている．

グループワークにおける発話パターンを定量的に分析している研究がある [12]．学習者の発話データとアンケートの関係をグループ単位で分析している．全員が平等にグループワークに参加することで、高い達成感や満足感が得られると報告している．

ワールドカフェ形式の対話ワークショップにおいて、発話交代を定量的に分析した研究がある [13]．ワールドカフェにおいては、特定の話者が中心となり話が進むことで満足度の低下につながっていると指摘している．

発話時間の可視化システムとして Meeting Mediator を提案した研究がある [14]．支配的な行動が他のメンバの参加を阻害し、支配的な参加者の意見が優位となることに問題意識を持っている．また、システムは支配的な人の支配力を弱めると述べている．

発話権取引を用いた議論における時間配分の研究がある [15]．合意形成を要する議論において、発話時間の多い人の意見が強く影響することに問題意識を持っている．20

秒間の発話を保障する発話権と呼ばれるカードを、事前に人数に応じて複数枚均等に配分しておくことで、公平な発話時間の確保を実現している．

各学習者の発話の割合を基にグループ編成を行う研究がある [16]．発話率の均等化を意図し、過去のグループの議論の発話の割合を基に、発話率の多い学習者同士、少ない学習者同士で新たなグループを編成している．グループ組み換えの結果、発話の割合が増加するという効果が一部の学習者にみられたことを報告している．

いずれの研究も、本研究の研究背景である、議論への参加の偏りを小さくすることの意義を述べている．しかしながら、文献 [10], [11], [12], [13] は議論後の分析によるものであり、本研究が対象としているリアルタイムの支援を行っていない．一方で、文献 [14], [15] は議論中に支援を行っている．本研究は、学習者の参加割合を可視化することなく、学習者に参加割合の意識づけを図る点で文献 [14] と異なる．また、文献 [15] は事前に発話権を配分することで、議論において各学習者が発話できる時間を事前に決定している．そのため、他者の意見を受けてすぐに意見を述べることができず、議論の自由度が低い点で本研究と異なる．また、本研究は文献 [16] とは異なり、学習者に議論への参加の偏りを意識させることを意図している．

### 2.4 繰返しの訓練によるスキルの習得

顧客対応の訓練システムがある [17]．VR 訓練システムを用いて繰返しの訓練を行うことで、顧客対応の失敗リスクを負うことなく発生頻度の低いクレーム対応の訓練を可能としている．

また、サービス業における接客訓練を支援した訓練システムがある [18]．実際の接客を通じて指導することの難しさから、VR 業務訓練システムを提案している．指導者が訓練者をリアルタイムに採点することを可能としている．

教師による議論評価を支援する研究がある [19]．議論の評価時に、評価者の個人的な意見に影響されないことや、評価項目や評価基準が左右されないこと、被評価者に特定のフィードバックを提示することが必要であると述べている．この問題に対して、ループリックを用いたシステムを提案している．教師から学習者への適切なフィードバックの提供を行うことで、議論に必要なスキルの向上を図っている．

情報システムを用いて繰返しの訓練を行い、スキルの習得を意図する点で、本研究と文献 [17], [18] で共通している．しかしながら、本研究は議論への参加の偏りを意識させる意図しているため、文献 [17], [18] と異なる．また、本研究はフィードバックによりスキルの向上を図る点で文献 [19] と共通点がある．しかしながら、文献 [19] によるループリックを用いたフィードバックは評価者が必要であり、情報システムによるリアルタイムフィードバックを行

う本研究と異なる。

## 2.5 議論における発話の収集

議論における学習者の貢献度を推定した研究がある [20]. 教員が各グループの学習の進捗を把握するために、音声データをもとに学習者の貢献度の推定をしている。

議論におけるフィラーと発話権の保持の関係を調査した研究がある [21]. フィラーの頻出度とパターンを分類から、フィラーが文頭に多いことを述べている。文頭のフィラーの8割以上、文中のフィラーの9割以上で、フィラー後に現行の話者の発話が継続されていたことを報告している。

実世界における人同士のインタラクションを、様々なセンサを用いて分析するシステムとしてIMADEがある [22]. 映像、音声、移動、視線および生体反応といったデータを統合的に計測している。

また、人間行動計測システムとしてビジネス顕微鏡がある [23]. 実空間における人間行動データを自動的に収集し、実用的な人間行動の大規模計測、大規模収集を可能とし、特定の2人のコミュニケーションの頻度などの情報を可視化している。

発話の時間長に着目した雰囲気推定の研究がある [24]. 相槌や話題提供を行う対話支援ロボットの開発を目的として、2者間対話の発話の時間長に着目している。議論内容から、盛り上がり、まじめさ、親密さの推定において、80%を超える正答率を報告している。発話が盛り上がっているときに発話が被ることが多いことを述べている。

いずれの研究も、音声データをもとに学習者の特徴を分析している点で本研究と共通点がある。しかしながら、分析結果に基づいたフィードバックをリアルタイムに行っていないため、議論の参加の偏りをリアルタイムにフィードバックできない。一方で、文献 [24] から、発話の被りが議論の盛り上がりの指標となることが分かった。本研究では、重複係数として議論の参加の偏りを判断する指標の1つに用いる。

## 2.6 議論における特徴量の提示や通知

チームワーク行動を可視化してフィードバックする研究がある [25]. 作業中の発話を言語情報からタイプ分けし、作業直後に可視化することで発話行動の具体的な振り返り支援を行っている。

野外観察を通じた体験学習において重要体験を抽出する研究がある [26]. 野外観察において、立ち止まり注視した行動情報を重要体験と位置づけ、重要体験時の視覚情報と音声情報を切り出し振り返ることで、重要体験をより深く振り返ることを意図している。

スマートフォンの内蔵マイクを用いて発言状況を可視化した研究がある [27]. 議論参加、相互作用の統計を生成するアプリケーション RTDS を開発し、実験を行っている。

スマートフォンを用いることで、特殊なハードウェアに依存することなく発話状況の可視化を行っている。

メタファを用いて提示する研究がある [28]. ブレインストーミングを対象として、Wizard of Oz 法によりアイデア数をカウントし、Groupgarden というメタファによる提示システムを提案している。

フィードバックの手法や提示対象者の違いの影響を調査した研究がある [29]. Wizard of Oz 法により、発話が期待される潜在的話者がいた場合に通知を行う。通知は、振動による触覚提示と光による視覚提示を用いている。触覚提示は全員、現行話者のみ、潜在的話者のみの3つの提示対象者、視覚提示は全員への提示を比較している。潜在的話者のみの提示ではターンテイキングが起こりにくく、現行話者のみの提示では誰に話を振ればいいのか悩む、特定個人のみへの提示はその個人がプレッシャーに感じる事が報告されている。一方で、全員への通知は全員で解決する意識につながる事が述べられている。

いずれの研究も、発話に基づいたフィードバックを行っている点で本研究と共通点がある。しかしながら、文献 [25], [26] はリアルタイムによるフィードバックを行っていない。また、文献 [27], [28] は可視化によるフィードバックを行っているため、本研究と異なる。本研究は、議論の参加の偏りをグループを構成する学習者全員が意識することを意図し、参加割合の多い学習者に音声による通知を行う。そのため、通知の意図が伝わるように、発話機会の譲渡を促す通知を学習者全員に行う点で、文献 [29] と本研究は異なる。

## 3. 発言状況に基づく議論訓練

本研究は、学習者が発話状況を把握することを目的として、議論に参加する学習者が訓練を行うシステムを構築する。協調的議論のプロセスを学習の機会とするためには、すべての学習者が議論に参加できることが望ましい。そのため、すべての学習者が発話状況を把握できる必要があると考えた。

提案システムでは、議論中に発話状況を通知するために、学習者の発話から得られる発話の頻度と音量値のみから特徴量を算出する。通知は光による視覚と、音による聴覚の2種類により行い、それぞれで異なる情報を扱う。視覚情報では、グループ全体の発話の量を示す特徴量に基づき、光の色を3段階に変化させる。グループ全体に通知することで、発話の量が十分であればそのままの議論を継続するように、また、少ない場合は議論の活性化を働きかける。グループ全体の発話の量は、学習者ごとの発話の量の把握とは直接関係するものではない。しかしながら、協調的議論という点において、発話の偏りよりも不活発な議論であることのほうが問題であると考えたため、視覚情報の通知を行う。聴覚情報では、学習者ごとの発話の量から、学習

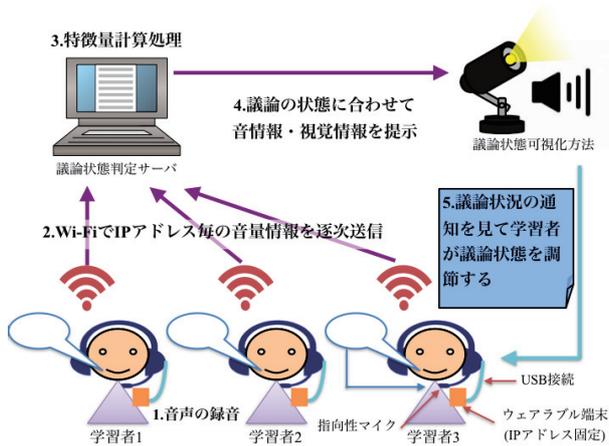


図 1 議論訓練システムの全体構成

Fig. 1 Outline of training system in collaborative discussion.

者間の発話の量の偏りを示す特徴量と、グループ全体の盛り上がりを示す特徴量を算出する。これらの特徴量に基づき、発話を占有している学習者に対して、他の学習者に話を振るよう働きかける。これにより、発話の量の多い学習者、少ない学習者それぞれで、議論への参加割合を互いに意識することを図る。

学習者の発話の収集は、単一指向性マイクとワンボードコンピュータからなるデバイスにより行う。サーバで、これらの情報から特徴量を算出し、通知デバイスにより光と音の通知が行われる。本システムは、議論中に人間の判断をふまえた分析を必要としない、あらかじめ設定した閾値に基づくシステムである。

本研究では、実験群でのみシステムを用いて、統制群と同数の議論を行い、発話状況を把握するための訓練を行う。最後に、実験群と統制群でシステムを用いない条件に合わせて議論を行い、評価する。システム構成図を図 1 に示す。

## 4. システム構成

### 4.1 発話収集デバイス

各学習者の特徴量を算出するために、ウェアラブル端末を用いて学習者の議論における発言状況の取得と録音を行う。発話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。使用するウェアラブル端末を図 2 に示す。録音される音声ファイルはウェアラブル端末内に保存され、モノラル、量子化精度 16 bit、サンプリングレート 48,000 Hz で録音される。

### 4.2 音声の分析手法

学習者のデータは、IP アドレス、経過時間、音量値、発言状態判定値の 4 つで構成される。ワンボードコンピュータは WiFi を通じてサーバに学習者のデータを UDP 通信

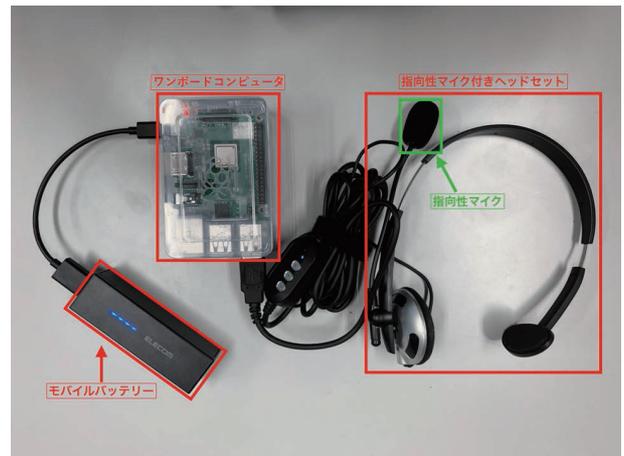


図 2 指向性マイクとモバイルバッテリーを接続したワンボードコンピュータ

Fig. 2 Setting of wearable device with directional microphone, mobile battery and one-board computer.

で送信する。IP アドレスから、どの学習者のデータかを識別する。経過時間は、サーバに対してデータの送信を開始してから経過した時間である。

音量値は指向性マイクに入力された音声の大きさであり、次のように決定する。まず、各クライアントの音量値を 2,048 個ずつ取得する。サンプリングレートが 48,000 Hz であるため、取得頻度は  $\frac{2048}{48000}$  秒ごととなる。その中の最大値をその時点での音量値とする。

発言状態判定値は、学習者が発言状態かどうかを判別する数値である。サーバは、クライアントからデータが送られてきた際に、直前の 1.0 秒区間の音量値の  $\frac{3}{4}$  以上があらかじめ定めてある閾値を超えている場合、その区間の直後の 1.0 秒を発言状態とし、それ以外の場合は非発言状態として記録する。マイクに入力された音声の大きさは 0 から 32,767 となっており、普通の会話においておおむね 60 dB に相当する音量値 [30] を閾値とする。すべての学習者が非発言状態のときを無音状態とする。

本研究で用いているサンワサプライ株式会社の MM-HSUSB13BKN のマイクに入力された音声の大きさと、マザーツール製 SL-4023SD の普通騒音計を用いて実測した音圧レベルを比較して、変換式を決定している研究がある [31]。マイクに入力された音声の大きさと音圧レベルの変換式を式 (1) に示す。なお、式 (1) における、 $x$  はマイクに入力された音声の大きさ、 $L$  は普通騒音計を用いて実測した音圧レベルである。

$$L = 20 \times \log_{10} x + 11 \quad (1)$$

この式を元に発言状態を判定する。本研究の実験環境では、環境音が 60 dB 以下であったため、単一指向性マイクに入力された音声の大きさの閾値は 1,000 とした。マイクに直接入力を行わず、閾値を 1,000 に設定して環境音だけで発言判定を行った。その結果、発話率が 0% であり、環

境音を検知しないことが確認された。一方で、指向性マイクのついたヘッドセットを用いて学習者の口元で音声入力を行うものの、学習者の声量が小さいと閾値を超えない場合もある。そのため、実験の開始前の発話を対象として、各学習者の実際の発言状態とシステム上の発言判定を確認し、実際に発言しているものの発言判定が行われていない場合は声量を上げるよう指示した。各学習者の発言状態判定値から特徴量を算出し、特徴量に基づき学習者に通知を行う。

#### 4.3 特徴量の算出方法

それぞれの特徴量の算出方法について示す。学習者のデータは、学習者ごとに IP アドレス、経過時間、音量値、発言状態判定値がデータベースに格納されている。各学習者の発言状態判定値を参照することで、発話率、無音率、重複係数を算出する。発話率は学習者個人ごとに算出され、無音率と重複係数はグループごとに算出される。すべての情報は三次元配列に格納されており、配列の長さを取得することができる。配列の長さの情報から、議論に参加している学習者の数（受信した IP アドレスの数）と、それぞれの学習者ごとのデータの総数を取得できるようにしている。それぞれの定義と算出方法を以下に示す。

##### 発話率

議論時間に対する学習者の発言時間の比を百分率にして発話率とする。発話率から、学習者が自分の意見を十分に口述可能か確認できると考えた。

ウェアラブル端末からデータが送られてきたとき、受信した IP アドレスごとに発話率を算出する。受信したデータの中に含まれている発言状態判定値が真であった場合、分母と分子に 1 を足し、そうでない場合は分母のみに 1 を足す。各学習者に対応する IP アドレスごとに計算し、それぞれの学習者の発話率とする。

##### 無音率

議論時間に対してどの学習者も発言していない時間の比を百分率にして無音率とする。これにより、議論がどの程度活発に行われていたかを確認できると考えた。また、時間経過での無音率の増減を見ることで、議論の盛り上がりの推移を確認できると考えた。

ウェアラブル端末からデータが送られてきたとき、すべての IP アドレスの直前の時間の発言状態判定値が偽であれば、無音率の分母と分子に 1 を足す。それ以外の場合は、無音率の分母のみに 1 を足す。

##### 重複係数

すべての学習者の発言の割合と無音の割合を足した値を重複係数とする。この値は、百分率で示さず、最低値を 1 とする。本システムでは、各学習者の発話率は独立して計算されるため、複数の学習者が同時に発言している場合は重複係数は高くなる。この値から、議

論の盛り上がりを確認できると考えた。

各学習者の発言時間の割合と無音時間の割合の合計値を重複係数とする。発言時間の割合は発話率を百分率にする前の値であり、無音時間の割合は無音率を百分率にする前の値である。発話率は学習者ごとに算出され、無音率はグループごとに算出されている。議論時間あたりに 2 人以上の学習者が発言状態であった場合は、重複係数は人数の分だけ追加される。重複係数の計算式を以下に示す。なお、学習者  $i$  の発言の割合を  $T_i$ 、学習者の人数を  $n$ 、無音時間の割合を  $S$ 、重複係数を  $D$  とする。

$$D = \sum_{i=1}^n T_i + S \quad (2)$$

各学習者の発言の割合  $T_i$  は、学習者ごとに独立して計算されるため、それぞれの値の割合の最大値は 1 となる。発言の重複は 3 人以上でも行われることがあるため、重複係数は議論中に会話が衝突していた時間の割合とは異なる。このことから、すべての学習者の発言の割合が最大の場合、重複係数は最大値となる。そのため、重複係数  $D$  の最大値は  $n$  となる。

#### 4.4 議論状況通知デバイス

算出された特徴量を通知するために、視覚情報である LED ライトの光と、聴覚情報であるスピーカの音声を組み合わせて通知を行う。議論状況可視化に用いる議論状況通知デバイスは、ワンボードコンピュータに LED ライトとスピーカとモバイルバッテリーを接続したものである。光による通知として用いる LED ライトの光が、デバイスの周囲の全方向から見えるようにするため、LED ライトはスピーカ側面の 4 方向に設置し、PLA 樹脂のカバーを取りつけて光を拡散させた。光による通知は、グループ全体に対して議論状況が適切かどうかを通知することを意図するため、4 方向の LED ライトはすべて同色に光る。音声による通知は、発話率が高い学習者の発話に割り込み、発話機会を譲渡させることを意図している。すべての学習者に正確に聞こえるように、制御を行っているワンボードコンピュータと音声を流すスピーカの音量はどちらも最大に設定した。議論状況通知デバイスを図 3 に示す。

以下に通知の方法を示す。

##### 光による通知

LED ライトは常時点灯しており、無音率の高低によって色が変化する。無音率が閾値未満だと青色、閾値よりやや高いと緑色、閾値より大幅に高いと赤色が点灯する。

##### 音声による通知

学習者全員に聞こえる位置にスピーカを設置する。学習者の間で発話率に偏りがある場合、システムが発話

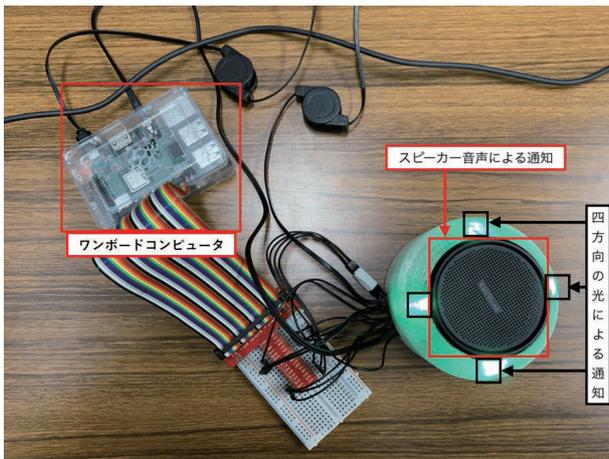


図 3 議論状況通知デバイス  
Fig. 3 Discussion status notification device.

率の高い学習者の名前を通知して、発言交代を促す音声を自動再生する。

#### 4.5 通知条件

議論状況の通知を行う際に、通知を行う単位時間の決定を行う必要がある。発話権取引の研究 [15] では、発話権 1 枚を 20 秒として設定していることから、1 つの発話を 20 秒として扱っていると考えられる。また、発話権 1 枚を 20 秒として実験を行い、議論が成立していることを報告している。この研究を参考に、本研究では通知を行う単位時間を 20 秒とした。さらに、意味のある発言の回数は 1 秒以上と見なす研究 [32] があるため、本研究においても 1 秒以上の音声入力を発言として見なすこととした。

本システムの閾値の決定のため、議論振り返り時に特徴量を可視化して提示した研究 [4] を、1 秒以上の音声入力を発言として分析を行った。この研究 [4] では、1 グループ 3 名として 10 分間の自由な発話を推奨した議論を行っている。

本システムの LED ライトの色は、無音率の平均値と標準偏差を元に決定した。5 章で述べる提案システムの評価実験では 1 グループ 4 名としている。LED による光の提示は、発話がない場合に発話を促すことを意図している。グループの人数が 3 名から 4 名に増えるということは、発話する学習者が増えるため、3 名よりも 4 名の方が無音率は減少すると考えた。そのため、4 名の議論において 3 名の無音率の基準を満たす場合、発話が十分でないということができると考えた。LED ライトの色は 20 秒単位で変化するようにし、直前の 20 秒の無音率が 30% 以下の場合には青色、30% から 53% の場合は緑色、53% より大きい場合は赤色の LED が点灯する。無音率の 30% は平均値、53% は平均値に標準偏差を足した値を小数点第一位で四捨五入した値である。平均値に標準偏差を足した値は、偏差値 60 として全体の 15.9% が満たす値である。閾値を満たしにく

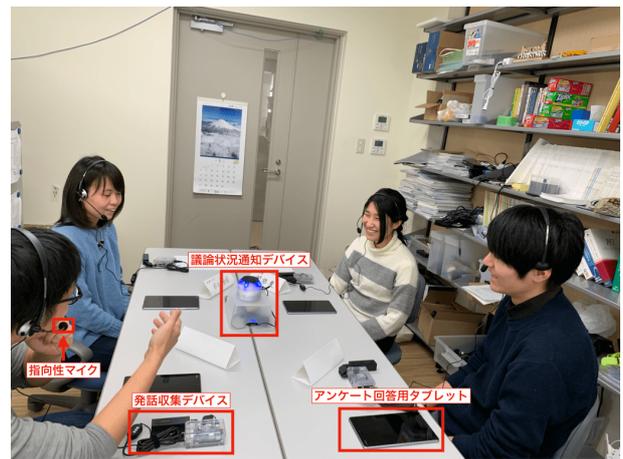


図 4 被験者と実験機器のレイアウト  
Fig. 4 Subjects and devices in the experiment.

く通知の量が少なくなることや、閾値を満たしやすく通知の量が多くなるのが議論訓練として適切でないと考え、偏差値 60 を用いた。

スピーカによる音声の通知も、LED と同様に 20 秒ごとに判定が行われる。通知が行われる場合は、すべての判定条件を満たした場合のみ学習者に通知が行われる。本システムにおける音声による通知は「A さん (学習者の姓), A さん (学習者の姓), ほかのひとにはなしをふってください」のように、学習者の姓を含めた合成音声の再生とする。学習者の氏名を含む音声通知のために、合成音声ソフトである Open JTalk を使用する。判定は各学習者ごとに行う。提案システムの評価実験は 4 名で行うが、3 名の特徴量と比較して、重複係数が小さく発話率が大いということは、発話の偏りが顕著であるといえる。音声の通知の条件は以下のようにになっている。

- (1) 直前の 20 秒の発話率が 40% より大きい。
- (2) 直前の 20 秒の重複係数が 1.27 未満である。
- (3) (1)(2) の条件を 2 回連続で満たしている。

発話率の 40% は、平均値に標準偏差を足した偏差値 60 の値、重複係数は第三四分位の値を小数点第一位で四捨五入した値となっている。(3) の条件を設定した理由として、20 秒程度の音声が発言の意味的な区切りと考えられているため [15]、40 秒単位で議論を占領しないように設定した。この条件で前述の研究 [4] の各グループのデータと照合して、通知が行われる条件を満たしているか確認してみたところ、6 グループ 2 回分の計 12 回の議論のうち、11 回通知判定が真になっていたことが分かった。そのため、本研究の条件として十分に通知可能な条件だと考えた。

実験における議論中の学習者および機器のレイアウトを図 4 に、通知判定のフローチャートを図 5 にそれぞれ示す。

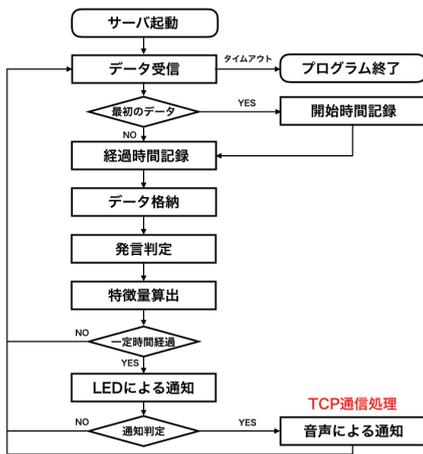


図 5 通知判定のフローチャート

Fig. 5 Flowchart of notification decision.

## 5. 議論訓練システムの評価実験

### 5.1 実験内容

議論訓練システムを用いることで、学習者自身に議論を客観視させ、発話状況を把握することが可能か調査するために評価実験を行った。被験者を集めて議論を行ってもらい、発話の占有を通知する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 24 名である。24 名を 4 名ずつのグループに分け、計 6 グループでそれぞれ実験を行った。議論状況通知デバイスによる通知を行う実験群 3 グループと、議論状況通知デバイスによる通知を行わない統制群 3 グループを設定した。議論は 4 回行い、各被験者の発言状況の特徴量を議論の最中に算出した。本研究は、提案システムを用いた議論訓練により、発話状況を把握できるかを対象としている。そのため、1 回目、2 回目、3 回目の議論では、実験群のみ提案システムによる通知を行った。また、4 回目の議論では統制群と条件を揃えるため、提案システムによる通知は行わずに議論を行った。

議論のテーマは、被験者の個人的背景や知識による発言の偏りを考慮し、被験者全員が発言できる項目を考え設定を行った。議論のテーマを表 1 に示す。

各議論では、同一の議論形式に慣れることによって、形式化して議論を進めることを避けるために、4 つの議論形式を設定した。1 回目、2 回目、3 回目の議論では、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。一方で、4 回目の議論では、実験時点で未発表であった「次の元号」をグループ全体で決定するように指示を行った。1 回目から 3 回目を発散型の議論、4 回目を収束型の議論とすることで、評価を行う 4 回目では 3 回目までとは異なる学習者間の働きかけとなるように意図した。議論時間は各議論 10 分間で行った。4 回目の議論においても、10 分間の議論時間の中で元号を決定してもらった。すべての実験において、スマートフォンなどの

表 1 議題一覧

Table 1 Discussion topic in the experiment.

議論	議題形式	議論のテーマ
1 回目	二項対立	大学入試センター試験は必要かどうか
2 回目	取捨選択	義務教育の科目の中で、国語、数学、英語、理科、社会のうち 1 つをなくすとしたらどれか
3 回目	自由発想	修学旅行で行きたい場所はどこか
4 回目	結論決定	次の元号には何が良いか

操作を禁止することで、外部からの知識による影響を除外した。4 回目の議論の終了時に、両群共通でアンケートを行った。

実験を行う前に、実験群と統制群ともに発話収集デバイスの使用による発話収集の意図について説明を行った。その後、各被験者に発話収集デバイスのヘッドセットを装着させて、自己紹介を兼ねて音量がマイクの音声入力として十分かを確認した。

議論状況通知デバイスは実験群でのみ用いるため、実験群でのみ教示を行い、実験群の実験時のみ机上に用意した。議論状況通知デバイスの教示内容は、光による通知では、誰も話さない時間が多いと赤色に光り、少ないと青色、中間色として緑色に光ることを説明した。音声による通知では、特定の被験者が多く話している場合に通知が行われることを説明した。

実験群と統制群の教示内容の差異は、議論状況通知デバイスについての説明と、通知に従ってどのような行動をとるかについてのみにとした。具体的には、光による通知に関して、議論が活発でないときに赤色になるため、その際は発話するよう心がけることを教示した。音声による通知に関して、通知を受けたら可能な範囲で他の任意の学習者に話を振ることを教示した。それ以外の説明については、実験群と統制群ともに発話機会を均等化させようとする自発的な行動につながるような教示は行わなかった。すべての実験において、実験の実施場所は同一とした。また、音声取得に影響を及ぼす可能性を考慮して、空調や暖房器具などの音を発する機器は停止した。

すべての議論終了後、実験群にはシステムの動作を予測するアンケートと議論訓練システムに関するインタビューを行った。実験中はビデオカメラによる録画と各被験者ごとの発話音声の録音を行った。

### 5.2 アンケート

アンケートの内容と結果の評価方法について示す。アンケートはグーグル合同会社が提供している Google Form を用いて作成した。4 回目の議論終了時に、アンケートを行った。被験者は自身を含むグループ全員の発話率の高い順位と発言回数の多い順位をそれぞれ予測した。アンケートの項目は以下のようにになっている。

Q 最後のディスカッションに参加した人（自分を含む）を「発言時間の割合（発話率）が高い順」で順位をつけて名前を回答して下さい。

### 5.3 インタビュー

実験群の被験者には実験を通してグループ単位で質問を行うためにインタビューを行った。インタビューはすべての議論とアンケートへの回答が終了してから行った。インタビューにおける質問項目は以下に示す。

- (1) LED を見ていたか
- (2) LED は議論の妨げになったか
- (3) 音声の通知は聞こえたか
- (4) 音声の通知は議論の妨げになったか
- (5) 音声の通知から、怒られた、不安になったなどの否定的な感情を感じたか
- (6) 音声の通知を途中から無視するようになったか
- (7) 本システムを用いた議論についてどのように感じたか

## 6. 実験結果

### 6.1 特徴量の分析結果

実験では、4名で構成される1つのグループが2名と2名の2つのグループに分かれて議論を行うということは観察されなかった。本システムの閾値は各グループが1つのグループとして機能することを前提としていたが、いずれのグループもその前提を満たす形で議論が行われた。

実験群 (E 群) と統制群 (C 群) それぞれ3グループをグループ EA, EB, EC, グループ CA, CB, CC として扱う。また、24名の被験者について、E 群のグループそれぞれの被験者を EA-1~EA-4, EB-5~EB-8, EC-9~EC-12 とし、C 群のグループそれぞれの被験者を CA-13~CA-16, CB-17~CB-20, CC-21~CC-24 としそれぞれ扱う。

特徴量の分析結果として、無音率を表 2 に、重複係数を表 3 にそれぞれ示す。

また、実験群の発話率を表 4 に、統制群の発話率を表 5 にそれぞれ示す。

実験群と統制群それぞれについて議論回の間で発話率に差があるか確認するため、対応のある t 検定を行った結果を表 6 に示す。

この結果、両方の群において1回目の議論と3回目の議論の間に差がみられ、有意に発話が増加していたことが分かった。議論の形式は毎回異なるものとしていたが、議論を複数回行うことによる習熟が起きていた影響が考えら

表 2 実験群 (E 群) と統制群 (C 群) の無音率 (%)

Table 2 Silence ratio in experimental groups and control groups.

議論	EA	EB	EC	CA	CB	CC
1 回目	48.18	50.67	62.28	50.67	44.58	31.41
2 回目	41.11	49.08	56.66	55.14	33.39	34.26
3 回目	27.14	44.80	59.39	56.55	36.08	35.60
4 回目	27.46	55.59	56.30	56.40	49.00	32.44

表 3 実験群 (E 群) と統制群 (C 群) の重複係数

Table 3 Utterance overlap ratios in experimental groups and control groups.

議論	EA	EB	EC	CA	CB	CC
1 回目	1.27	1.23	1.23	1.20	1.35	1.49
2 回目	1.34	1.20	1.22	1.23	1.54	1.65
3 回目	1.95	1.38	1.22	1.27	1.71	1.71
4 回目	1.85	1.40	1.19	1.32	1.55	1.82

表 6 実験群 (E 群) と統制群 (C 群) の発話率の対応のある t 検定

Table 6 Results of paired t-test between experimental groups and control groups.

比較対象	E 群	C 群
1 と 2 回目	n.s.	p < 0.10
1 と 3 回目	p < 0.05*	p < 0.05*
1 と 4 回目	p < 0.10	n.s.

表 4 実験群 (E 群) の発話率 (%)

Table 4 Utterance ratios in experimental groups.

議論	EA-1	EA-2	EA-3	EA-4	EB-5	EB-6	EB-7	EB-8	EC-9	EC-10	EC-11	EC-12
1 回目	23.52	25.18	8.53	21.64	20.69	19.20	14.63	18.01	30.50	5.27	15.92	9.24
2 回目	20.07	29.39	17.25	26.62	21.27	19.40	13.94	15.93	25.72	2.52	15.55	21.95
3 回目	37.80	49.38	34.55	46.62	22.21	36.89	14.62	19.81	22.85	3.26	17.05	19.52
4 回目	39.41	59.36	25.19	33.80	29.19	26.80	18.42	9.68	18.28	3.13	19.08	21.75

表 5 統制群 (C 群) の発話率 (%)

Table 5 Utterance ratios in control groups.

議論	CA-13	CA-14	CA-15	CA-16	CB-17	CB-18	CB-19	CB-20	CC-21	CC-22	CC-23	CC-24
1 回目	8.61	4.72	42.11	14.09	26.32	34.73	17.37	11.97	27.36	32.48	45.55	11.84
2 回目	10.77	9.67	37.07	10.69	29.94	50.03	22.83	17.61	29.31	35.28	44.28	22.00
3 回目	21.61	9.47	30.14	9.58	32.96	43.98	33.30	24.30	31.75	38.93	42.89	22.13
4 回目	29.20	9.19	27.85	8.95	31.13	29.34	27.64	17.99	38.64	39.23	46.54	25.65

表 7 実験群 (E 群) のシステムの通知基準を満たした回数 (回)  
 Table 7 Number of notifications by system in experimental groups.

議論	EA-1	EA-2	EA-3	EA-4	EB-5	EB-6	EB-7	EB-8	EC-9	EC-10	EC-11	EC-12
1 回目	1	0	0	0	0	3	0	1	2	0	0	0
2 回目	0	0	0	1	2	1	0	3	2	0	1	1
3 回目	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4 回目	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0

表 8 統制群 (C 群) のシステムの通知基準を満たした回数 (回)  
 Table 8 Number of notifications by system in control groups.

議論	CA-13	CA-14	CA-15	CA-16	CB-17	CB-18	CB-19	CB-20	CC-21	CC-22	CC-23	CC-24
1 回目	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0
2 回目	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3 回目	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4 回目	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

れる。

また、両方の群において、1 回目の議論と 4 回目の議論の間には有意な差がみられなかった。これは、1 回目から 3 回目を発散型の議論とした一方で、4 回目の議論を収束型の議論としたことによって、3 回目までとは異なる学習者間の働きかけを図ったことが影響した可能性がある。

また、すべての議論回それぞれについて実験群と統制群の発話率に差があるか確認するため、対応のない *t* 検定を行った。この結果、すべての議論回それぞれについて、実験群と統制群の発話率に有意な差はみられなかった。このことから、議論訓練システムを導入したことによる発話率への影響は認められなかったと考えられる。

## 6.2 議論訓練システムの動作結果

実験では、実験群の 1 回目から 3 回目の議論において、提案システムによる通知を行った。提案システムの通知は、実験群の 4 回目と統制群のすべての議論では行っていないが、特徴量から音声による通知の基準を満たしていたかどうかを算出した。実験群の通知基準を満たした回数を表 7 に、統制群の通知基準を満たした回数を表 8 にそれぞれ示す。

提案システムにおける音声による通知は実験群のすべてのグループで行われた。一方で、グループ EA と EB の 3 回目の議論で音声による通知の基準を満たす議論が行われていなかった。議論訓練段階で指名されて実際に音声による通知を受けたのは、被験者 12 名中 8 名 (EA-1, EA-4, EB-5, EB-6, EB-8, EC-9, EC-11, EC-12) であった。複数回通知を受けたのは、12 名中 4 名 (EB-5, EB-6, EB-8, EC-9) であった。議論訓練段階のすべての議論で通知を受けたのは 1 名 (EC-9) のみであった。

提案システムの有無にかかわらず音声による通知の基準を満たした議論は、全 24 回の議論中 16 回あった。通知基準を満たした議論と満たさなかった議論について、重複係

数の平均値を比較した。通知基準を満たした 16 回の議論の重複係数の平均値は 1.33 であり、通知基準を満たさなかった 8 回の議論の重複係数の平均値は 1.62 であった。本研究は、学習者が発話状況を把握できるようにすることを狙いとしている。そのため、音声による通知の基準を満たさない議論では、被験者が発話状況を把握できており、発話を占有しないように積極的な発話者の交替が行われていると考えていた。しかしながら、本実験より、議論の盛り上がりの指標として用いた重複係数を高めることで、音声による通知の基準を満たさない議論が行われていたことが示唆された。

また、議論を複数回行うことの影響について、実験の前半と後半で重複係数の平均値を比較した。1 回目と 2 回目の議論の重複係数の平均値は 1.33 であり、3 回目と 4 回目の議論の重複係数の平均値は 1.53 であった。本実験では、議論のテーマを議論の実施回数に対して固定して行った。そのため、後半の議論のテーマが被験者にとって話しやすかったのか、ラポール形成により議論が盛り上がったのかを判断できないものの、議論回数を重ねることで重複係数の増加傾向がみられた。

## 6.3 4 回目の議論のアンケート結果

4 回目の議論で、統制群および実験群に行ったアンケートの結果について示す。このアンケートでは、被験者が発話率の相対的順位を把握できているのか確認した。統制群と実験群に分けて、それぞれの被験者の回答に正解数をつけた。実験群ごとのアンケートの順位づけの内訳について、実験群の順位づけの内訳を表 9 に、統制群の順位づけの内訳を表 10 にそれぞれ示す。

また、アンケートの正解数の平均と標準偏差を表 11 に示す。

各被験者の予想順位では、すべての順位をあてたのは EA-1 と EA-4 の 2 名であった。また、1 位と 4 位の 2 つの

表 9 順位づけの内訳 (実験群)

Table 9 Subjective evaluation ranking of utterance in experimental groups.

予想順位	EA-1	EA-2	EA-3	EA-4	EB-5	EB-6	EB-7	EB-8	EC-9	EC-10	EC-11	EC-12
1 位	EA-2	EA-2	EA-2	EA-2	EB-6	EB-5	EB-6	EB-5	EC-12	EC-9	EC-9	EC-9
2 位	EA-1	EA-4	EA-4	EA-1	EB-7	EB-6	EB-5	EB-7	EC-9	EC-11	EC-12	EC-11
3 位	EA-4	EA-3	EA-1	EA-4	EB-5	EB-8	EB-7	EB-6	EC-11	EC-12	EC-11	EC-12
4 位	EA-3	EA-1	EA-3	EA-3	EB-8	EB-7	EB-8	EB-8	EC-10	EC-10	EC-10	EC-10

表 10 順位づけの内訳 (統制群)

Table 10 Subjective evaluation ranking of utterance in control groups.

予想順位	CA-13	CA-14	CA-15	CA-16	CB-17	CB-18	CB-19	CB-20	CC-21	CC-22	CC-23	CC-24
1 位	CA-15	CA-15	CA-13	CA-13	CB-18	CB-20	CB-18	CB-19	CC-21	EC-21	EC-21	EC-22
2 位	CA-13	CA-13	CA-14	CA-14	CB-20	CB-19	CB-20	CB-18	CC-23	EC-23	EC-23	EC-23
3 位	CA-14	CA-14	CA-15	CA-15	CB-19	CB-18	CB-19	CB-20	CC-22	EC-22	EC-22	EC-24
4 位	CA-16	CA-16	CA-16	CA-16	CB-17	CB-17	CB-17	CB-17	CC-24	EC-24	EC-24	EC-21

表 11 発話率の順位づけの結果

Table 11 Results of subjective evaluation ranking of utterance.

	発話率 (統制群)	発話率 (実験群)
平均	1.08	2.42
S.D.	0.86	1.19

順位, 発話の最も多い被験者と最も少ない被験者をあてたのは, EA-1, EA-3, EA-4, EB-8, EC-9, CA-15, CA-16 の 7 名であった. 一方で, グループ CB の全員が CB-17 を実際は 1 位だが 4 位と予想した. CB-18 は CB-20 を実際は 4 位だが 1 位と予想した.

統制群と実験群の点数に有意な差があるのかを検定した. 検定方法は, 被験者が異なり対応がないため, マンホイットニーの U 検定とした. 検定の結果,  $p < 0.05$  で有意差がみられた. そのため, 統制群より実験群の方が, 発話率の相対的な順位が予測できたといえる. 4 回目の議論では, 実験群にも議論訓練システムを用いていないため, 1 回目から 3 回目までの議論で議論訓練システムを用いたことによって発話率の差を予測する能力が向上したと考えられる.

#### 6.4 インタビューの結果

インタビュー (1) の結果, LED による通知は 3 グループ中 2 グループが終始意識していたが, 1 グループでは途中から見なくなった. また, LED による通知を終始意識していた 2 グループ中 1 グループは, インタビュー (2) に対して LED の通知が議論の妨げになったと感じていた. LED による通知は, 赤色の場合に無音率が高い場合に発話を意識してもらうことを意図している. 一方で, 発話が十分である場合に, 青色と緑色の間で LED の色が変わることによって議論の妨げになった可能性がある. そのため, 学習者が通知に対応することが期待される状況に該当する色のみ点灯するなどの方法で, 議論への影響を低減させることが可

能であると考えられる.

インタビュー (3), (4) の結果, 音声の通知について, すべてのグループで通知が聞こえており, 議論の妨げになっていたという回答が得られた. また, 音声の通知中は会話が止まったという回答があった. 音声による通知は, 学習者の発話への割り込みとして有効であることが分かった. グループのすべての学習者に通知を認知させることで, 発話機会を譲渡させることを意図している. このため, 議論の妨げになったという回答は, システムによる議論への介入が機能したと解釈できる.

インタビュー (5) から, 音声の通知により否定的な感情を感じたという回答があった. 音声による通知は, 通知対象の学習者を名指しして「A さん (学習者の姓), A さん (学習者の姓), ほかのひとにはなしをふってください」と通知される. 学習者によっては命令口調としてとらえ, 否定的な感情につながった可能性がある. そのため, 発話機会の譲渡を促された学習者が否定的な感情を感じないように, 通知のメッセージの表現をカジュアルなものに変更することなどが考えられる.

インタビュー (6) については, 話し途中に音声の通知が行われたときは無視したという回答が得られた. 音声による通知は, 発話機会を占有する学習者の発話途中に音声通知を行うことで, 発話機会を譲渡させることを意図している. このため, 音声通知があっても一時的に無視し, 意見を手短かにまとめてから発話機会を譲渡するという対応を行った可能性がある.

インタビュー (7) では, 本システムに対する肯定的な意見として, 「システムの影響により全員が議論に参加していると感じられた」という意見が得られた. 一方で, 否定的な意見として, 「音声ではなく振動による通知を用いるなどして個別の通知が良い」という意見が得られた. また, 「音声による通知がワンテンポ遅いことがあった」という意見も得られた. 本システムでは, 直前 20 秒の基準を 2 回連

続で満たした学習者を通知対象として、音声による通知を行っている。そのため、話者が交替した後で音声による通知が行われることがある。直前 20 秒の基準を 2 回連続で満たした通知対象の学習者が、音声による通知を行う時点で話者であるかを判定することで、20 秒単位で行われる通知のずれを改善できると考えた。

## 7. 考察

本研究では、議論における特徴量を発話から算出し、議論状況を通知する議論訓練システムを提案した。提案システムによる通知は実験群のすべてのグループで行われた。

4 回目の議論について、統制群と実験群を比較するために行ったアンケートでは、統制群と比べて実験群が有意に発話率の偏りを把握できていると考えられる結果が得られた。このことから、発話状況を把握するための議論訓練が行えたと考えられる。発話率の偏りを通知することで、誰が発話を占有しているかの順位づけが可能になるといえる。

実験の事前教示では、提案システムによる音声通知を受けた学習者は、他の任意の学習者に話を振ることとしていた。実験からの示唆としては、発話機会を占有している学習者から任意の学習者に発話機会を譲渡させることを通じて、学習者間の参加割合の把握につながった点であると考えられる。発話率の順位づけが可能であったため、発話率の高い学習者が発話機会の均等化を意識することによって、発話率の低い学習者に話を振ることが可能になることが示唆された。これにより、発話の機会が分散され、グループメンバー全員の意見を引き出すことにつながる可能性がある。

提案システムは、20 秒ごとに算出した発話率と重複係数を用いて直前 40 秒間の特徴量から通知を行った。そのため、議論を通しての発話率が低い学習者でも 40 秒間の特徴量が通知基準を満たすことで通知が行われる。本研究の狙いは議論状況の把握であるが、このような学習者に対する通知を改善することで、発話状況をより正確に把握できるようになると考えた。通知基準として直前 40 秒の特徴量とは別に、議論開始時からの特徴量を用いることで、議論を通して発話を占有している学習者にも通知が行われるようにする必要性がみられた。

提案システムの評価実験の結果から、重複係数が高い議論、盛り上がりのある議論では通知が行われないことが分かった。そのため、重複係数が高い議論においても発話の占有がみられるかどうかを調査し、通知基準を見直す必要がある。提案システムの通知条件は、研究 [4] を元に決定している。今後、通知条件の決定に用いる議論の母集団を増やしていくことが考えられる。特徴量の分析のためのデータ数を増やすことで平均値や偏差値を再検討し、発話が少なくことや発話の偏りがあることの基準をより正確なものとしていく。

提案した通知基準では、発話率が低い議論、発話が少な

い議論でも通知が行われない。学習者が 20 秒中 8 秒を超える発話を連続で 2 回しなければ通知基準を満たさないため、発話が消極的な議論では通知が行われない可能性がある。光の色の変化による無音率の提示は行われるものの、無音率の提示のみで発話状況を把握する訓練になるかどうかは本実験では検証できていない。そのため、発話状況の把握が、音声による通知によるものであるのか、光による提示によるものであるのか、その両方であるのかを検証する必要がある。

インタビューの結果から、議論状況通知デバイスの音による通知は発話に被るため、割り込みとして有効であると考えられる。一方で、音による通知が否定的な感情につながるという結果が得られたが、議論における発話率が高い学習者に対しても、自身が発話率が高いことを認識させることが重要であると考えられる。そのため、否定的な感情を引き起こさないシステムであることが望ましいものの、議論訓練としては発話率の偏りを把握させることを優先した。

これらの結果から、提案システムを用いて議論訓練を行った結果、光による通知と音声による通知が行われた実験群において、学習者が発話の偏りを把握する点で有効性を確認した。しかしながら、把握した発話の偏りを解消するための行動の変化はみられず、実験群における発話率は有意に増加しなかった。提案システムを用いて継続的な議論の訓練を行うことによって、学習者の行動をどのように変化させる影響があるか確認する必要があると考えられる。

## 8. おわりに

本研究では、議論に参加する学習者の発話の有無からリアルタイムに議論状況を提示し、議論の訓練を行うシステムを提案した。本研究の目的は、学習者が自身の議論参加を意識することおよび学習者同士の議論参加を把握することである。発話の偏りがみられた場合に、発話の偏りのある話者に対して他の学習者に発話機会を譲るよう音声で介入するシステムを作成し、評価実験を行った。

この結果、提案システムを用いて 3 回の議論訓練を行った実験群のほうが、同じ回数システムを用いない議論を行った統制群よりも学習者間の発話割合の把握において優れていた。このことから、本システムを用いて訓練を行うことで、議論状況の把握に有効であることが分かった。

本研究で提案した議論訓練システムを用いることが、発話の偏りを把握する点において有効であることを確認した。今後は、本システムを用いた継続的な議論の訓練を実践することによって、学習者の行動変容につながるか検証を行う。

また、議論訓練システムの有効性を高めるために、話者の交代を促しつつも議論の妨げや否定的な感情が生じないような通知方法の改良を検討する必要がある。現在は直近の発話率に基づいて判断しているが、議論全体を通しての

発話率を考慮することによって、議論の多様な展開に対応できると考えられる。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 (JP17H02001 および 19H01710) の助成を受けたものである。

参考文献

[1] 21 世紀スキル 文部科学省, 入手先 ([http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/zyouhou/1296728.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/1296728.htm)) (参照 2018-10-09).

[2] Adelsberger, H.H., Kinshuk and Pawlowski, J.M.: *Handbook on Information Technologies for Education and Training*, Springer Publishing Company, Incorporated, 2nd edition (2010).

[3] 日本教育工学会 (監修), 加藤 浩 (編著), 望月俊男 (編著): 協調学習と CSCL, 教育工学選書 II 4, ミネルヴァ書房 (2016).

[4] 岡澤大志, 大山涼太, 江本啓訓: 協調的議論において発言状況を可視化するシステムの開発, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2018) 論文集, pp.633-636 (2018).

[5] 岡澤大志, 大山涼太, 石川誠彬, 望月俊男, 江本啓訓: 発言状況のリアルタイム可視化が議論への参加意欲に及ぼす影響, 情報処理学会グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2018 論文集, No.1, pp.1-6 (2018).

[6] Tausczik, Y.R. and Pennebaker, J.W.: Improving teamwork using real-time language feedback, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.459-468 (2013).

[7] Nishihara, Y. and Sunayama, W.: Cooperative discussion support system by visualizing participant contribution to discussion, *Proc. 2015 IIAI 4th International Congress on Advanced Applied Informatics*, pp.219-224 (2015).

[8] DiMicco, J.M., Pandolfo, A. and Bender, W.: Influencing group participation with a shared display, *Proc. ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW*, pp.614-623 (2004).

[9] Bachour, K., Kaplan, F. and Dillenbourg, P.: An interactive table for supporting participation balance in face-to-face collaborative learning, *IEEE Trans. Learning Technologies*, Vol.3, No.3, pp.203-213 (2010).

[10] 大島 純, 新原勇介, 太田健介, 大島律子: 協調学習のプロセスと個人の貢献を測定する試み, 日本教育工学会論文誌, Vol.33, No.3, pp.333-342 (2010).

[11] Jayagopi, D.B., Hung, H., Yeo, C. and Gatica-Perez, D.: Modeling dominance in group conversations using non-verbal activity cues, *IEEE Trans. Audio, Speech, and Language Processing*, Vol.17, pp.501-513 (2009).

[12] 澤崎敏文: アクティブラーニングにおけるグループワーク可視化手法の提案について, 仁愛女子短期大学研究紀要, No.48, pp.7-12 (2016).

[13] 根本啓一, 高橋正道, 林 直樹, 堀田竜士: ワールドカフェ型のダイアログにおけるターンテイキング構造と参加者の理解度の関係性の分析, 情報処理学会研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), No.20, pp.1-8 (2012).

[14] Kim, T., Chang, A., Holland, L. and Pentland, A.: Meeting mediator: Enhancing group collaboration using sociometric feedback, *Proc. ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW*, pp.457-466 (2008).

[15] 古賀裕之, 谷口忠大: 発話権取引: 話し合いの場における時間配分のメカニズムデザイン, 日本経営工学会論文

誌, Vol.65, No.3, pp.144-156 (2014).

[16] 江本啓訓, 久保田亘: 対話分析システムに基づく学習グループ編成支援の研究, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2017) シンポジウム論文集, pp.847-850 (2017).

[17] 古野友也, 藤田 智, 王 東皓, 尾身優治, 星野准一: マルチモーダル対話型キャラクターを用いた接客訓練システム, 情報処理学会研究報告コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学 (CG), No.1, pp.1-6 (2020).

[18] 大槻麻衣, 大隈隆史: 飲食サービス業における VR 業務訓練システムの開発, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), No.13, pp.1-6 (2020).

[19] Omori, Y., Ito, K., Nishida, S. and Kihira, T.: Study on supporting group discussions by improving discussion skills with ex post evaluation, *Proc. 2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.3, pp.2191-2196 (2006).

[20] 高木正則, 河合直樹, 大信田侑里, 鈴木雅実, 木村寛明: 発話に含まれる特性語の出現頻度に基づいた協調学習時の貢献度推定手法の提案と評価, 情報処理学会論文誌教育とコンピュータ (TCE), Vol.4, No.1, pp.70-82 (2018).

[21] 水上悦雄, 山下耕二: 対話におけるフィラーの発話権保持機能の検証, 認知科学, Vol.14, No.4, pp.588-603 (2007).

[22] 角 康之: マルチモーダルデータを用いた会話的インタラクションの構造理解, 人工知能学会誌, Vol.27, No.4, pp.405-410 (2012).

[23] 早川 幹, 大久保教夫, 脇坂義博: ビジネス顕微鏡; 実用的人間行動計測システムの開発, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J96-D, No.10, pp.2359-2370 (2013).

[24] 豊田 薫, 宮越喜浩, 山西良典, 加藤昇平: 発話状態時間長に着目した対話雰囲気推定, 人工知能学会論文誌, Vol.27, No.2, pp.16-21 (2012).

[25] Leshed, G., Perez, D., Hancock, J.T., Cosley, D., Birmholtz, J., Lee, S. and Gay, G.: Visualizing real-time language-based feedback on teamwork behavior in computer-mediated groups, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.537-546 (2009).

[26] 岡田昌也, 鳥山朋二, 多田昌裕, 角 康之, 間瀬健二, 小暮 潔, 萩田紀博: 実世界重要体験の抽出・再現に基づく事後学習支援手法の提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-D, No.1, pp.65-77 (2008).

[27] Bissigy, P., Deriuy, J., Foerstery, K.-T. and Wattenhofer, R.: Rtds: Real-time discussion statistics, *Proc. 15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, pp.267-271 (2016).

[28] Tausch, S., Hausen, D., Kosan, I., Raltchev, A. and Hussmann, H.: Groupgarden: Supporting brainstorming through a metaphorical group mirror on table or wall, *Proc. 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational*, No.10, pp.541-550 (2014).

[29] 市野順子, 八木佳子, 西野哲生, 小澤 照: グループディスプレイ支援のための振動によるフィードバックの提示, 情報処理学会論文誌, Vol.60, No.4, pp.1171-1183 (2019).

[30] 騒音値の基準と目安 日本騒音調査, 入手先 ([https://www.skklab.com/standard\\_value](https://www.skklab.com/standard_value)), (参照 2020-07-21).

[31] Sekine, R., Asai, Y. and Egi, H.: Designing a system of generating sound environment for promoting verbal communication in classroom, *Proc. 10th International Conference on Collaboration Technologies*, pp.96-103 (2018).

[32] 岡田将吾, 松儀良広, 中野有紀子, 林 佑樹, 黄 宏軒,

高瀬 裕, 新田克己: マルチモーダル情報に基づくグループ会話におけるコミュニケーション能力の推定, 人工知能学会論文誌, Vol.31, No.6(AI30-E-1), pp.1-12 (2016).

### 推薦文

本論文は, DICOMO2019 の発表論文の中で特に評価の高い論文であった. 発言機会均等化を図るシステムの提案であり, 発言交代回数が増加する効果が得られているため, 有用性の高い論文として推薦する.

(グループウェアとネットワークサービス研究会主査

齊藤 典明)



石川 誠彬 (学生会員)

2019年電気通信大学情報理工学部総合情報学科卒業. 現在, 電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻博士前期課程在学中. 対話分析システムの研究に従事.



岡澤 大志

2017年電気通信大学情報理工学部総合情報学科卒業. 2019年電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻博士前期課程修了. 在学中は対話分析システムの研究に従事.



江木 啓訓 (正会員)

電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻准教授. 博士(工学). 2000年慶應義塾大学環境情報学部卒業. 2002年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了. 2005年同大学院理工学研究科後期博士課程単位取得退学. 同年東京農工大学総合情報メディアセンター助手, 2007年同助教. 2013年神戸大学情報基盤センター准教授. 2015年より現職. 教育学習支援システム, 教育用情報システム, ヒューマン・コンピュータ・インタラクションの研究に従事. IEEE, 日本教育工学会各会員. 本会シニア会員.