

# 議論における発話の均等化を促す 議論支援エージェントシステム

居原田 梨佐<sup>1</sup> 西村 龍之介<sup>1</sup> 菅本 祐也<sup>2</sup> 石井 裕<sup>2</sup> 望月 俊男<sup>3</sup> 江木 啓訓<sup>1,a)</sup>

**概要:** 本研究では、議論における発話の偏りに基づいて参加の均等化を促すエージェントシステムを提案する。音声入力から各発話者の累積の発話率を算出し、ホログラフィックエージェントを通じて働きかけを行う。提案システムによる介入によって、議論参加者および議論全体にどのような影響を及ぼすかを分析することを目的に評価実験を行った。実験の結果から、エージェントは発話率の順位が入れ替わるほどの影響は与えないが、発話の偏りは緩和されることが示された。さらに、コミュニケーション能力アンケートの結果と、発話率や働きかけの効果の大きさに関係がある可能性が示唆された。

## 1. はじめに

本研究では、少人数グループの議論を対象として、議論における発話の偏りに基づいて参加の均等化を促す手法を提案する。

議論の合意形成は、一般的に発話時間の多い議論参加者に大きく影響される [1]。少人数グループの議論では全員が積極的に参加することが望ましい一方で、議論参加者の関係や個人の特性、議論内の役割などの要因によって発話の偏りが発生することがある。

このような問題に対して、直近区間の発話の偏りに基づいて、偏りを解消する指示を行う議論支援システムの研究がある [2]。この研究では、支援対象者の発話が一時的に増加したが、議論全体の発話の偏りは解消されなかったとしている。

本研究は、指示を出す時点での議論全体の発話の偏りに基づいて、議論参加者に働きかけを行う手法を提案する。働きかけはエージェントを通じて音声で行う。本システムを用いることで、最終的な議論全体の発話の偏りを解消することが期待される。議論全体の発話の偏りが解消されることによって、全ての議論参加者の意見を議論において共有し、合意形成に反映できるという効果が期待できる。

## 2. 関連研究

発話の偏りを解消するための研究には、主に2つのアプ

ローチがある。

### 2.1 議論ルールの整備に関する研究

1つ目は、議論ルールの整備の研究である。最も直接的に発話の偏りを解消する方法は、議論参加者一人一人に対して発話する時間を設定することである。古賀らは、参加者の自由な発話タイミングを阻害せずに均等な発話を促す方法を、発話権取引という形で提案している [3]。ルールの整備による議論の調整は、発話の機会を均等にすることができる。その一方で、発話時間の制限がある、発話の交代回数の上限が決められている、特定の議論形式に限定されるなどの課題がある。

### 2.2 システムを用いた均等化に関する研究

2つ目は、システムを用いた発話機会の均等化に関する研究である。石川らは、議論における直近の発話率に基づいて発話の偏りを解消する手法を提案している [2]。直近30秒の発話率を算出し、発話率の一番低い議論参加者に対して話を促す。このルールに基づいた働きかけによって、支援対象者の発話が一時的に増加したとされている。その一方で、議論全体の発話の偏りは解消できていない。

議論において、発話の交代は常に短時間で行われるわけではない。ある議論参加者がまとまった時間意見を述べ、その次に別の議論参加者が意見を述べるといった場面は一般的に見られる。そのため、議論のある区間を取り出した際にその区間内で発話の偏りが生じているが、その区間内の発話の偏りに基づいた働きかけでは、議論全体の発話の偏りを解消できなかった状況が考えられる。直近の発話率の低い支援対象者が、議論全体では発話率が高い議論参加

<sup>1</sup> 電気通信大学

<sup>2</sup> 岡山県立大学

<sup>3</sup> 専修大学

a) hiro.egi@uec.ac.jp

者であったなどの原因が考えられる。

石川らの研究において、エージェントと音声を用いて働きかけが行われている。エージェントは顔みや視線の移動などの行動をすることができ、文字での働きかけや音声のみでの働きかけに比べて、より議論参加者に存在感を示し、親しみを持たせることができると考えられる。また、それによって指示の受容可能性が高まることが期待される。

本研究は、発話時間や交代回数に制約を課すことなく、議論全体の発話の偏りを解消する事を目的として、エージェントを用いた働きかけの手法を提案する。

### 3. 研究手法

本研究は、指示を出す時点での議論全体の発話の偏りに基づいて、議論参加者に働きかけを行う手法を提案する。指示を出す時点での議論全体の発話の偏りを参照することにより、ある区間での発話の偏りに影響されることなく、常に議論全体の発話の偏りを把握し働きかけを行うことができる。本システムを用いることで、最終的な議論全体の発話の偏りを解消することが期待される。議論全体の発話の偏りが解消されることによって、全ての議論参加者の意見を議論において共有し、合意形成に反映できるという効果が期待できる。

本研究では少人数における協調的議論を想定する。協調的議論とは、「複数の人々がお互いの意見を述べあう中で、議論している内容について深く考えること」である [4]。少人数における協調的議論において収集したそれぞれの議論参加者の発話を収集し、その時点までの発話の偏りを算出する。算出した発話の偏りをもとに働きかけを決定し、エージェントの音声を通じて議論参加者に働きかける。

議論全体の発話の偏りに基づく働きかけを行った影響について、無音時間を除く累積の発話率などの各議論参加者の発話特微量、無音率などの議論全体の特微量、働きかけに対するアンケート結果を分析する。また、各議論参加者に対してコミュニケーション特性に関するアンケートを行い、コミュニケーション特性とシステムの影響の関係についても分析を行う。

#### 3.1 発話の偏りに基づく働きかけ

発話の偏りは無音時間を除く累積の発話率を用いて判断する。無音時間を除く累積の発話率は、議論開始から特徴量計算の時点までの、全ての議論参加者の発話時間の合計を 100 % としたときのそれぞれの議論参加者の発話割合を百分率で表したものとす。議論人数が  $n$  人の議論における発話の偏りは、各議論参加者の無音時間を除く累積の発話率  $\frac{100}{n}$  % に近づくと小さくなる。無音時間を除く累積の発話率は議論状況分析に関する研究 [6] や対話ロボット [7] などでも用いられる特徴量であり、議論の平等度や発話優位性を測る指標の一つである。本研究では  $\frac{100}{n}$  % の

前後数パーセントの範囲を許容範囲とする。無音時間を除く累積の発話率が許容範囲よりも上である議論参加者には発話を減らすような働きかけを、無音時間を除く累積の発話率が許容範囲よりも下である参加者には発話を増やす働きかけを行うことで、全員の無音時間を除く累積の発話率を  $\frac{100}{n}$  % に近づける。全員の無音時間を除く累積の発話率が許容範囲にある場合には議論は偏りなく進んでいると判断して、働きかけを行わない。

#### 3.2 視認性を持つエージェント

本システムでは、視認性のあるエージェントを用いて動作と音声で議論参加者に働きかけを行う。議論参加者への働きかけの方法には、働きかけを行う主体となる人工物の存在を用いる方法と用いない方法が考えられる。働きかけを行う存在を用いない場合には、音声のみでの働きかけ、文字のみでの働きかけ、文字と音声での働きかけなどの方法が考えられる。一方、働きかけを行う存在を用いる場合には、動作のみでの働きかけ、動作と音声での働きかけなどの方法が考えられる。

働きかけを行う主体となる人工物の存在は顔みや視線の移動などの行動をすることができ、働きかけを行う存在がない文字での働きかけや音声のみでの働きかけに比べて、より議論参加者に存在感を示し、親しみを持たせることができると考えられる。また、それによって指示の受容可能性が高まることが期待される。

働きかけを行う存在には、ディスプレイ上でアバターを表示する方法、ロボットを用いる方法、3次元ホログラムを用いる方法などが考えられる。ディスプレイ上でのアバターの表示は平面であるので、議論参加者の位置によって視認性が異なる。各議論参加者の前にディスプレイをおく方法なども考えられるが、全議論参加者が共通のアバターを見ている感覚が薄れる可能性がある。そこで、本研究では3次元ホログラムを用いて働きかけを行う存在を構成する。3次元ホログラムを用いることによって議論参加者の位置によって視認性が異なるという問題を軽減することができる。また、ロボットを用いる方法よりも低コストで導入や運用を実現できることが期待できる。

### 4. システム

本システムは、議論参加者の音声を収集し、そこから議論特微量を分析する議論状況分析部と、議論状況分析部から送られてきたリクエストをもとにホログラフィックエージェントを制御するエージェント制御部との2つの要素からなる。システムの全体構成を図1に示す。

#### 4.1 議論状況分析部

議論状況分析部は、議論参加者の音声を収集し、そこから議論特微量を分析する。音声の収集には発話収集デバイ

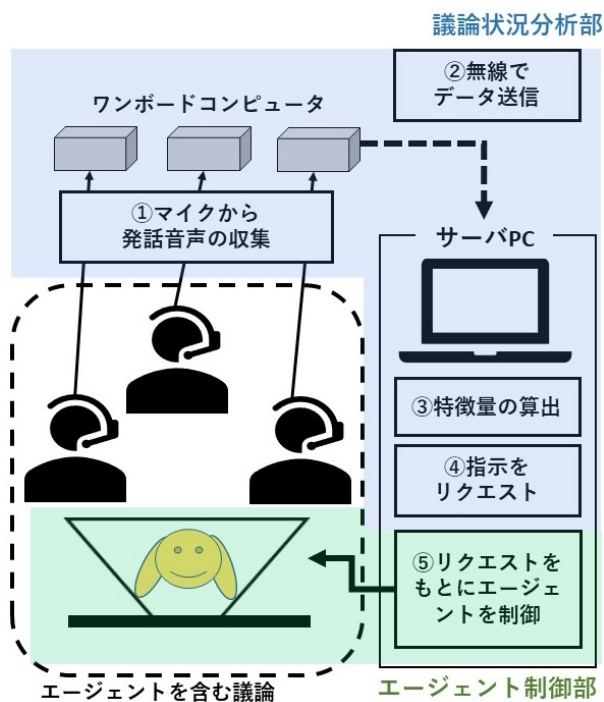


図 1 システムの全体構成

スを用いる。発話収集デバイスからサーバ PC に無線を通じてデータを送信する。サーバ PC は各議論参加者の発話収集デバイスからデータを受信し、そのデータから議論特徴量を計算する。算出された特徴量から振る舞いを決定し、ホログラフィックエージェント制御部に対してリクエストを送る。

発話収集デバイスはワンボードコンピュータに USB オーディオ変換アダプタを介して指向性マイクの付いたヘッドセットを接続したものである。ワンボードコンピュータはモバイルバッテリーから給電する。発話収集デバイスの構成を図 2 に示す。

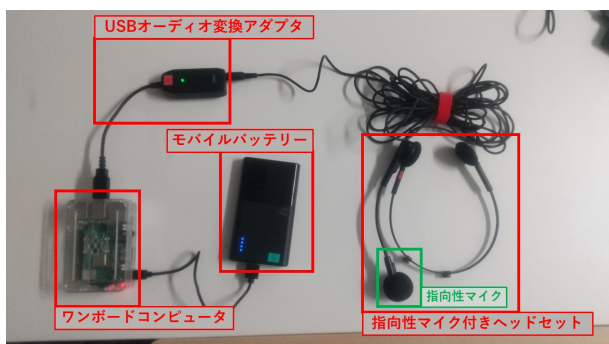


図 2 発話収集デバイスの構成

議論状況分析部は無音時間を除く累積の発話率を計算し、働きかけを決定する。働きかけには大きく 2 種類ある。1 つ目は累積の発話率に基づかない判定を行う働きかけで、振り向き、見回し、うなずきなどである。2 つ目は累積の発話率に基づく判定を行う働きかけで、音声を用いて特定

の議論参加者に話を促すなどがある。累積の発話率に基づかない判定を行う働きかけの決定は議論開始から 10 秒ごとに行う。対して累積の発話率に基づく判定を行う働きかけの決定は議論開始から 60 秒ごとに行う。

#### 4.2 エージェント制御部

エージェント制御部は、議論状況分析部がエージェント制御部と共有しているファイルに書き込んだプロンプトに従って、議論参加者に対して働きかけるエージェントを動作させる。

ホログラフィックエージェントは、液晶ディスプレイと偏光板によって構成されている。水平に設置した液晶ディスプレイ上にディスプレイに対して 45° でかつ議論参加者に対して平行になるように設計組み立てされた偏光板を設置する。液晶ディスプレイと偏光板とを組み合わせたホログラフィックエージェントを設置するために、三脚を用いた。ホログラフィックエージェントの全体図を 3 に示す。



図 3 エージェント全体図

エージェント制御部は、議論状況分析部によって書き込まれた働きかけのプロンプトを常時読み込む。読み込んだプロンプトに基づいて、ホログラフィックエージェントの顔の向き、動作、音声を制御する。累積の発話率に基づかない判定を行う働きかけでは、話している議論参加者の方を向く、話している議論参加者の方に向く、グループを見回すなど動作で働きかける。累積の発話率に基づく判定を行う働きかけでは、無音時間を除く累積の発話率が許容範囲よりも上である議論参加者に対して「他の人に話を聞いてみませんか」「他の人の意見を掘り下げてみませんか」、無音時間を除く累積の発話率が許容範囲よりも下である参加者に対して「なにか意見を言ってみませんか」「今までの意見を掘り下げてみませんか」という音声で働きかける。

## 5. 実験

本研究では、指示を出す時点での議論全体の発話の偏りに基づいて、議論参加者に働きかけを行う手法を提案し、エージェントを用いて働きかけを実現した。提案システムが議論参加者および議論全体にどのような影響を及ぼすか分析することを目的として、提案システムを用いた少人数の協調的議論を行う評価実験を行った。実験の様子を図4に示す。

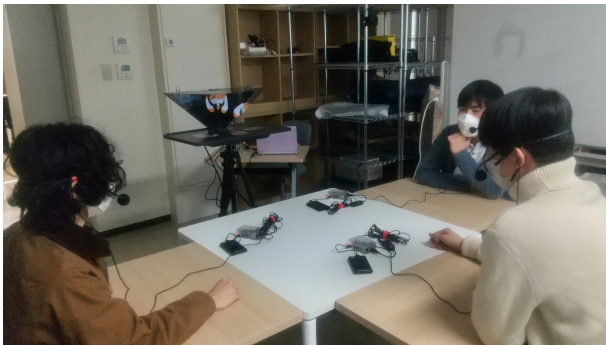


図4 実験の様子

被験者は理工系の大学生および大学院生9名である。9名を3名ずつのグループに分け、計3グループでそれぞれ実験を行った。

議論は各グループ2回ずつ行った。2回の議論のうち、一方を提案システムを用いる提案議論、もう一方をシステムによる働きかけを行わない統制議論とした。提案議論および統制議論の両議論において、各被験者の発話特徴量を算出した。発話特徴量は、議論中に音声収集デバイスを通じて取得した音声に基づいて、議論状況分析システムを用いて算出した。提案議論では、議論状況分析システムにより算出した特徴量をもとにエージェントが働きかけを行った。

議論のテーマは、「シアワセとは何か」「思いやりとは何か」の2つに設定し、議論時間は各議論20分間で行った。

各議論終了後に、Web上でその議論に関する評価アンケートを行った。また、議論開始前にはコミュニケーション能力アンケートを行った。コミュニケーション能力アンケートは、藤本らによって提唱されたコミュニケーション・スキルに関する汎用型尺度である ENDCOREs[5]を用いた。コミュニケーション・スキルを、自己統制、表現力、解読力、自己主張、他者受容、関係調整の6つのメインスキルからなる複合概念としてとらえ、各メインスキルに対して4つのアンケート項目で問う。計24項目のアンケートである。「普段のコミュニケーション場面におけるあなたの行動」を想定し、各項目に対して「7. かなり得意」、「6. 得意」、「5. やや得意」、「4. ふつう」、「3. やや苦手」、「2. 苦手」、「1. かなり苦手」の7件法で問う。

議論の手順を表1に示す。

表1 議論手順

実験の流れ	タスクの詳細	目安時間
議論前	実験の概要説明	10分
	議論前アンケート	10分
議論1	マイクテスト	5分
	議論1の説明	3分
	議論1	20分
	議論1後アンケート	10分
議論2	マイクテスト	5分
	議論2の説明	3分
	議論2	20分
	議論2後アンケート	10分

## 6. 結果と考察

### 6.1 発話の偏りの解消

グループAからCの統制議論および実験議論の議論終了時の累積の発話率および無音率を表2にまとめる。leftはエージェントからみて左に座っていた被験者、frontはエージェントの正面に座っていた被験者、rightはエージェントからみて右に座っていた被験者である。無音時間を除く累積の発話率の開きは、累積の発話率が最も高かった議論参加者の累積の発話率から、最も低かった議論参加者の累積の発話率を引いたものである。無音率は議論全体の時間から議論参加者の発話していた時間を除いたものであり、エージェントが発話していた場面も無音率として扱う。

統制議論および実験議論の議論終了時の累積の発話率が高い順に、参加者間での順位付けを行った。その結果、参加者それぞれの累積の発話率の順位は、議論の種類、議題および議論回数に関わらず一定であった。そのため、エージェントシステムによって累積の発話率の順位が変動するほどの大きな影響は与えられなかったことがわかる。しかしながら、全グループにおいて累積の発話率の開きは小さくなり、標準偏差も小さくなったことから、エージェントシステムにより発話の偏りを緩和する効果があったと考えられる。

発話の偏りを緩和する効果の大きさはグループによって異なっている。グループBの実験議論では統制議論に比べて累積の発話率の開きが約21ポイント小さくなり、累積の発話率の標準偏差は10.02%小さくなっている。グループCでは累積の発話率の開きは約15ポイント小さくなり、累積の発話率の標準偏差は7.16%小さくなっている。対してグループAでは累積の発話率の開きの緩和は約4ポイント小さくなり、累積の発話率の標準偏差は1.1%小さくなるにとどまっている。

実験議論ではエージェントの発話時間があるため、統制議論よりも無音率が高くなるのが自然である。しかしながら、グループCでは実験議論の無音率が統制議論の無音率

表 2 無音時間を除く累積の発話率および無音率

		グループ A		グループ B		グループ C	
		統制議論	実験議論	統制議論	実験議論	統制議論	実験議論
無音時間を除く 累積の発話率 (最終) [%]	left	27.46	24.69	9.78	21.30	47.31	40.52
	front	56.29	55.73	29.89	27.98	32.36	31.04
	right	16.25	19.58	60.33	50.73	20.33	28.44
無音時間を除く累積の発話率の開き [pt]		40.04	36.15	50.54	29.43	26.98	12.08
無音時間を除く累積の発話率の標準偏差 [%]		20.66	19.56	25.45	15.43	13.52	6.36
無音率 [%]		49.76	52.42	28.85	34.75	24.86	21.28

表 3 コミュニケーション能力アンケートの各項目の平均

		自己統制	表現力	読解力	自己主張	他者許容	関係調整	総合
		グループ A	left	5.50	3.50	3.50	4.50	6.00
	front	5.25	3.50	4.25	5.75	5.50	4.25	4.75
	right	4.25	2.75	2.50	3.50	5.50	3.00	3.58
	平均	5.00	3.25	3.42	4.58	5.67	4.17	4.35
	標準偏差	0.66	0.43	0.88	1.13	0.29	1.13	0.66
グループ B	left	3.25	2.50	5.25	3.00	6.25	2.00	3.71
	front	3.75	4.00	5.25	3.25	6.00	4.25	4.42
	right	5.00	3.50	5.50	5.50	5.50	4.00	4.83
	平均	4.00	3.33	5.33	3.92	5.92	3.42	4.32
	標準偏差	0.90	0.76	0.14	1.38	0.38	1.23	0.57
グループ C	left	4.00	5.25	3.25	6.50	5.50	4.50	4.83
	front	5.25	5.50	5.00	6.25	4.50	4.75	5.21
	right	3.75	3.50	2.75	3.50	5.50	2.25	3.54
	平均	4.33	4.75	3.67	5.42	5.17	3.83	4.53
	標準偏差	0.80	1.09	1.18	1.66	0.58	1.38	0.87

よりも低くなっている。議論の観察から、グループ C ではエージェントが発話を行っている最中でも議論参加者が発話を続けていたことがわかった。そのため、グループ C ではエージェントの働きかけが受容されていない可能性がある。しかしながら、エージェントの働きかけに対してどのように振舞ったかというアンケート項目では、「働きかけによって自分が自分が話しすぎたなと感じました。あまり話さず主導権を譲るよう努めました。」という回答が得られており、働きかけに対する一定の受容はあったと考えられる。

## 6.2 コミュニケーション能力アンケート

コミュニケーション能力アンケートの結果を表 3 に示す。6.1 節で述べたように、各議論参加者の議論終了時の累積の発話率の順位は議論の種類、議題および議論回数に関わらず一定であった。そして、各議論参加者の議論終了時の累積の発話率の順位は、概ねコミュニケーション能力アンケートの総合点の順位と等しくなっている。また、無音時間を除く累積の発話率がグループ内で最低順位であった議論参加者は、コミュニケーション能力アンケートの総合点も最低順位であった。サンプル数は少ないものの、コミュニケーション能力アンケートの総合点と統制議論での無音時間を除く累積の発話率には相関係数 0.726 の強い正の相関がみられ、コミュニケーション能力アンケートの総

合点と実験議論での無音時間を除く累積の発話率には相関係数 0.583 の相関がみられた。発話の多さとコミュニケーション能力アンケートの総合点には正の相関がある可能性が示唆された。

6.1 節では、発話の偏りを緩和する効果の大きさはグループによって異なっていると述べた。最もエージェントの働きかけが有効であったのはグループ B である。グループ B に関して、コミュニケーション能力アンケートの結果で特筆すべきは読解力の項目の平均の高さである。グループ B はほかのグループに比べて平均点数が約 2 ポイント高い。標準偏差も小さく、グループ B に限り全員が同程度に高い読解力を有していると考えられる。エージェントの働きかけに対して、働きかけの内容および働きかけの意図を理解する能力の高い議論参加者が多かった可能性がある。その一方で、働きかけに関するアンケートの全てのグループの結果において「自分が話過ぎているのだと感じた」「自分が話さないといけなかった」といった意見があり、グループ B 以外のグループにおいても働きかけの意図は把握していることがわかる。そこで、発話を促す働きかけである「今までの意見を掘り下げてみませんか」という働きかけにフォーカスし、この働きかけを受けた議論参加者の働きかけ後から次の働きかけまでの累積の発話率を算出した。グループ A では 16.77 %、グループ B では 49.05 %、グループ C では 12.48 %となった。今までの意見を掘り下げると

いう行為は、今までの議論を理解していないと難しい。このため、グループ B 以外のグループでは、働きかけを受けた議論参加者の発話が増えなかった可能性が考えられる。読解力の項目と働きかけの効果についてはグループ数を増やし、検討する必要がある。

## 7. まとめと今後の展望

本研究では、議論における発話の偏りに基づいて参加の均等化を促すエージェントシステムを提案した。音声入力から各発話者の累積の発話率を算出し、累積の発話率の分布に基づいて働きかけを決定する。働きかけはホログラフィックエージェントを通じて行った。提案システムによる介入によって、議論参加者および議論全体にどのような影響を及ぼすか分析することを目的に評価実験を行った。実験の結果から、エージェントは発話率の順位が入れ替わるほどの影響は与えないが、発話の偏りは緩和されることが示された。また、その効果はグループによって異なることもわかった。さらに、コミュニケーション能力アンケートの結果と発話率や働きかけの効果の大きさに関する可能性が示唆された。

現在はサンプル数が少なく、グループに関しての個別の分析、全体を通したコミュニケーション能力アンケートとエージェントの働きかけ効果の関係の推測にとどまっている。今後も実験を継続し、サンプル数を増やし全体を通したコミュニケーション能力アンケートとエージェントの働きかけ効果の関係の検討を深めたい。また、コミュニケーション能力アンケートの結果と働きかけの効果、累積の発話率などの関係を明らかにし、エージェントの働きかけに反映したいと考えている。

**謝辞** 本研究の一部は、JSPS 科研費 21K02752, 21K18527, 22K02951 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Joan Morris DiMicco, Katherine J. Hollenbach, Anna Pandolfo, and Walter Bender. *The impact of increased awareness while face-to-face*. *Human-Computer Interaction*, Vol. 22, No. 1-2, pp. 47–96, 2007.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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*, 2016.
- [5] 藤本学, 大坊郁夫. コミュニケーション・スキルに関する諸因子の階層構造への統合の試み. *パーソナリティ研究*, Vol. 15, No. 3, pp. 347–361, 2007.
- [6] 宇佐美格, 王亜楠, 高橋淳二, 斉藤裕樹, 戸辺義人. 携帯端末を用いたミーティング定量評価システムの構築. *情報処理学会論文誌*. Vol. 57. No. 2. pp. 553–561. 2016.
- [7] 高瀬裕, 吉野亮, 中野有紀子. 多人数会話における調整・