

遠隔会議における潜在的な発話抑制解消のための 同時複数対話システムの検討

鳥山 英峻^{1,a)} 石田 繁巳^{1,b)} 白石 陽^{1,c)}

概要: 近年、遠隔会議の需要が急激に増加している。しかし、対面での会議と異なり、遠隔会議は複数の並行した対話を行うことが難しい。そのため、発話への心理的負担が高く、会議参加者が自ら発話を抑制してしまう。そこで本研究では、会議参加者の発話を促進させることを目的として、同時に複数の対話が可能な遠隔会議システムを提案する。具体的には、共通の議題が進行する会議中に個人間でのプライベートな対話を可能とすることで、参加者自らの発話抑制を解消し、遠隔会議の円滑さを向上させる。本稿では、提案システムの要件を述べ、それを満たすために構成される2つのサブシステム（発話対象者推定サブシステム、複数同時音声再生サブシステム）について予備実験を行った。予備実験の結果から、並行発話対象者を選択するためのアイコンが多くなるほどシステムを直感的に感じる人は少なくなること、付与した並行音声は音量の大小や指向性に対する認知性の影響は少なく、内容の認識は高い確率で可能であることを示した。

キーワード: 遠隔会議, 円滑化, 発話支援, 顔特徴量, 音声加工

1. はじめに

近年、リモートワークやオンライン授業などの遠隔対話システム上での会議（以降、遠隔会議）の需要が急激に増加している。総務省が実施した令和2年度の通信利用動向調査の結果では、在宅勤務を中心に導入する企業の割合は前年比で倍以上の47.5%に達した[1]。同じく総務省のCOVID-19 収束後のテレワーク希望調査では、継続を希望する好意的な声が多い結果となり、今後も普及していくことが予想される[2]。

一般に、遠隔会議と対面での会議（以降、対面会議）は、発話総数の違いが見受けられる。文献[3]では、対面会議と比較して遠隔会議は会議あたりの参加者の発話総数が少ないことが報告されている。これは、図1のような並行した対話（以降、並行対話）が行われているか否かの違いであると考えられる。

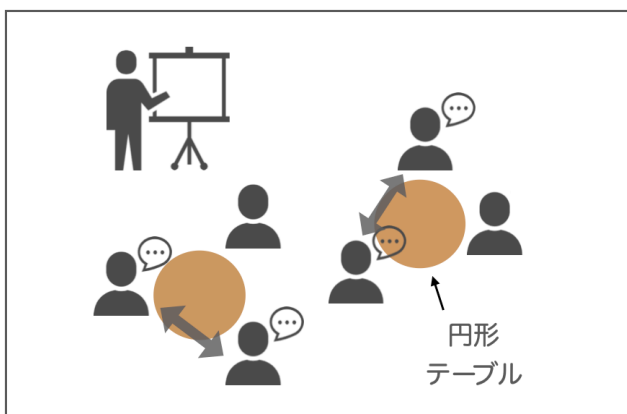


図1 並行対話の様子

参加人数の多い対面会議では、共通の議題が進行する一方で、一部の参加者同士が声量を抑えて対話を行っている光景がよく見られる。このような会議中における個人間での並行対話は、定期的な雑談に発展しやすい行為である。文献[4]では、会議中の定期的な雑談は、議題に対しての細かな疑問の解消、議論の活性化、知的創造プロセスの手助けになるなど様々なメリットが報告されている。

しかし、遠隔会議システムは1つの対話を前提として設計されているため2つ以上の並行対話の実現は難しい。そのため遠隔会議は、対面会議と異なり、疑問の解消や雑談はテキストチャットの利用や議論の中断を余儀なくされる。発話の代わりに使用されるテキストチャットは、個人のタイピング速度に依存するため送信のタイミングを逃しやすい。また、発話を行うにあたって、複数人で行われている議論の適切なタイミングを見極めて行う必要がある。このような並行対話の代案を用いる遠隔会議は、会議参加者の心理的な負担が多く、潜在的な発話抑制につながっている。実際、文献[5]では遠隔会議は対面会議に比べて発話予備動作から発話に至る確率が低いことが報告されている。参加者は会議中に、発話衝動の抑制が繰り返されることで、議論への興味が失われてしまう。文献[6]では、遠隔会議の参加者数の増加とともに会議への関与度と貢献感が減少し、結果として議論内容への理解度が低下することが報告されている。そのため、冗長な会議を回避するために、参加者数が多い会議ほど関与度と貢献感を向上させる発話を促進することが重要となる。

本研究の目的は、遠隔会議において対面会議のような並行対話を実現し、遠隔会議の円滑さを向上させることにある。この目的に向けて、本研究では同時に複数の対話が可能な遠隔会議システム（以降、同時複数対話システム）を提案する。同時複数対話システムは並行対話を実現し、発話を促進することで、会議参加者の発話抑制の解消を目的

1 公立はこだて未来大学システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate.
a) b1018256@fun.ac.jp
b) ish@fun.ac.jp
c) siraisi@fun.ac.jp

とする。

本稿の構成は以下の通りである。2章では遠隔会議の円滑さの向上を目的とした関連研究を述べる。3章では提案する同時複数対話システムとその要件を満たすために構成される2つのサブシステムについて述べ、4章では、そのサブシステムを評価する予備実験と結果、考察について述べ、最後に5章でまとめとする。

2. 関連研究

遠隔会議を円滑にするために、感情表出の補助と議論フィードバックを用いた様々な研究[7], [8]や、本研究と同様に発話促進に着眼した研究が報告されている[9], [10]。

2.1 遠隔会議円滑化のための関連研究

文献[4]では、円滑な遠隔会議を実現するため、他者の表情を模倣するミラーリングに着目し、会議参加者の感情表出を画像処理によって補助することで対話者間の共感を深めるシステムを提案している。結果として「相手との会話は、はずみましたか」という指標について、優位性が見られ会話を盛り上げる効果が見られた。一方、発話量についてはシステム使用時の条件間に有意差は見られなかった。

文献[8]では、円滑な遠隔会議を実現するため、発話権の推移などから、遠隔会議の円滑化につながる評価内容を参加者にフィードバックする手法を示している。しかし、この評価内容は会議終了後まで得ることができないため、会議中に円滑さを妨げる問題を改善することはできない。

これらに対し、本研究は並行対話の支援によって、遠隔会議全体の発話回数を向上させ、会議を円滑化するシステムの構築を目指す。

2.2 遠隔会議円滑化のための発話支援を用いた関連研究

文献[9]では、円滑な会議を実現するため、遠隔会議の議論の場において発言が少ない消極的発話者の発言率向上を図り、音声によって会議参加者の発話タイミングを支援するシステムを提案している。各参加者の発言率から「消極的発話者」と「非消極的発話者」を分類しており、それぞれ対応した個別指示を会議中に行った。結果として、一時的に消極的発話者の発言率は向上したが、対照的に、非消極的発話者の発言率が低下したことが報告されている。また、非消極的発話者は自身で発話のタイミングを掴むことに抵抗がないため、支援システムなしの方が議論しやすいとの被験者のアンケート結果も報告されている。会議参加者の好きなタイミングで発話を行えることは、発話を支援するにあたって重要な要素であることが考えられる。そのため、本研究では会議参加者が自由なタイミングで、並行的な発話を行えるようなシステム設計を行う。

文献[10]では、円滑な会議を実現するため、会議参加者の意思疎通の困難さに着目し、「賛同します」、「反対します」、「意見あります」の意思表示を示す、気持ち可視化ボタンを提案している。ボタンは匿名性を保ちながら使用するこ

とができる。結果として、「賛同します」のボタンが最も使用され、被験者のアンケート結果から、提案システムが参加者間の意思疎通に貢献したことが報告されている。しかし「意見あります」のボタンは発言につながるため、匿名性が低く、使用頻度が平均して低かったことも報告されている。この結果から、発話の意思表示を簡略化しても議論を一時的に遮るため、潜在的な発話抑制は変わらず、発話の促進にはあまり効果がないことが考察できる。これに対し、本研究では、遠隔会議の参加者同士で1対1でのプライベートな対話を実現する。

3. 提案システム

3.1 同時複数対話システムと要件

本研究の提案する同時複数対話システムは、対面会議でよく見られる並行対話を、遠隔会議システム上で実現することで発話を促進し、会議参加者の発話抑制の解消を目的としたシステムである。この同時複数対話システムを実現するにあたってのシステム要件を以下に挙げる。

- ① システムは並行対話の対象者をリアルタイムに推定可能であり、それをストレスなくサポートする必要がある。
- ② システムは複数の発話音声混線しない加工処理が可能であり、並行音声の発話者の識別性と内容の認知性を向上させる必要がある。

両要件は、会議中の継続的な並行対話の促進を行うために必要なシステム要件である。これらの要件を満たすシステムの概要として、図2を示す。

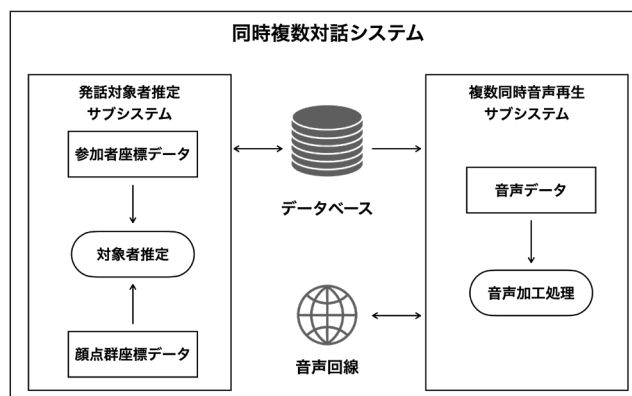


図2 同時複数対話システム概要図

同時複数対話システムは2つのサブシステムから構成される。①の要件を満たすためのサブシステムとして、発話対象者推定サブシステムを提案する。発話対象者推定サブシステムは、会議参加者が議論中に並行的な発話を行えるように、並行対話の発話対象者を選択可能にするための処理を行う。同様に、会議参加者が通常の発話と並行発話を切り替える際の推定も本サブシステムが行う。②の要件を

満たすためのサブシステムとして、複数同時音声再生サブシステムを提案する。複数同時音声再生サブシステムは、並行対話音声と共通議題の対話音声と混線させずに再生するための音声加工処理を行う。サブシステムの設計はそれぞれ 3.2 節, 3.3 節に記載する。

3.2 発話対象者推定サブシステム

本研究の提案システムを構成する発話対象者推定サブシステムのデータフローを図 3 に示す。

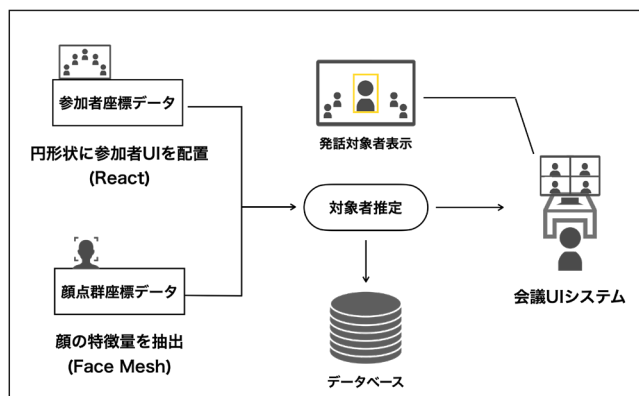


図 3 発話対象者推定サブシステムのデータフロー

発話対象者推定サブシステムは、画面上に会議参加者を表すアイコンを円形状のテーブルに沿うように、一定間隔で配置して、対面会議のような参加者配置を擬似的に再現する。このとき、発話対象者選択をサブシステム使用者の顔の角度を用いて行う。つまり、並行対話の発話対象者を、並行発話者の顔の角度から、擬似的に配置されたどの会議参加者アイコンに向いているかにより推定する。推定時、サブシステムは会議参加者アイコンの周囲に色をつけることで、選択されている対象をサブシステム使用者に示す。これにより、対面対話のような直感的な感覚で対象者への並行発話を可能にし、使用時のストレスを感じさせにくい設計を行う。

会議参加者アイコンを円形上に配置する UI 作成は、Web フレームワークである React.js [11] を使用する。顔の特徴量抽出には MediaPipe Face Mesh [12] を使用する。会議参加者の発話対象者選択のための顔の角度推定のアルゴリズムは、文献[13]を参考にする。

通常の発話と並行発話の切り替えに関しても、本サブシステムが顔の特徴量から推定する。切り替え動作は顔を前に突き出すこととしており、対面対話のひそひそ話をする際の動作を意識している。並行発話動作が行われた際、どの会議参加者が誰に対して並行発話したのか、会議共有のデータベース上に保存される。このとき保存したデータは、複数同時音声再生サブシステムで、複数音声を加工する際に使用される。詳しくは 3.3 節で述べる。使用するデータベースサービスとしては Google Firebase [14] を検討している。

3.3 複数同時音声再生サブシステム

本研究の提案システムを構成する複数同時音声再生サブシステムのデータフローを図 4 に示す。

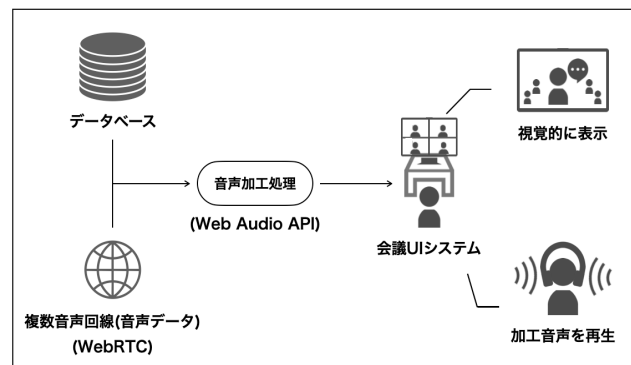


図 4 複数同時音声再生サブシステムのデータフロー

複数同時音声再生サブシステムは、対象者のステレオデバイスに共通議題の対話音声と並行した発話音声を加工することで音声の重複と認知的な負荷を軽減する。音声加工は、並行発話者と発話対象者の擬似的な位置関係を活用して、並行発話音声に指向性を付与し、対面対話のような立体的な音源環境を再現する。音声加工のトリガーとして、通常の発話と並行発話の切り替え動作時に、発話対象者推定サブシステムが保存したデータを検知し、取得する。この際に取得したデータは、並行発話音声に指向性を付与するため、参加者配置の位置関係データとしても使用する。他にも、認知的な負荷を軽減するため、並行発話音声の字幕化などの UI 表示を行うことを検討している。

音声加工を実現するため、ブラウザ上での音声処理が可能である Web Audio API [15] と、複数の音声回線を使用する。遠隔会議で使用する複数の音声回線のデバイス接続先を Web Audio API に出力し、ステレオに加工したのち、並行音声が付与された対話音声を会議参加者のステレオデバイスに出力する。複数の音声回線として WebRTC [16] を使用し、共通議題の音声と並行発話音声を別々に入力できる設計を検討している。

4. サブシステム予備実験

本実験の目的として、提案システムを構成する 2 つのサブシステムを検証・評価し、同時複数対話システムの要件を満たすための改善点を明らかにすることである。

発話対象者推定サブシステムでは、円形状に配置した参加者を顔のセンシングで選択する際の使用感について調査した。複数同時音声再生サブシステムでは音声加工を用いた際の認知精度について調査した。

4.1 発話対象者推定サブシステム

4.1.1 実験方法・環境

実験方法として、円形に配置された会議参加者を表すアイコンに対して、顔を動かして発話対象者を選択させ、ア

アンケートに回答させる形式で行った。アンケートは、マウスカーソルを用いた対象者選択の使用感と、顔を用いた際の使用感を比較させ、回答させる。本サブシステムは、被験者が参加者アイコンに対して、マウスカーソルや顔を向けているとき、対象のアイコンの周囲に橙色をつけることで、選択されている対象を被験者に示す。

本実験は、被験者の環境を統一して行った。使用した PC は Macbook2019 (8 コア Intel Core i9, メモリ 32GB) で 27 インチのモニターに接続して行った。顔のセンシングを行うためのカメラは Logicool 製の c922n を用いて、被験者のマスクを外した状態で行った。また、システムは Web ブラウザである Google Chrome を用いて行った。実験に用いた実際の画面を図 5 に示す。

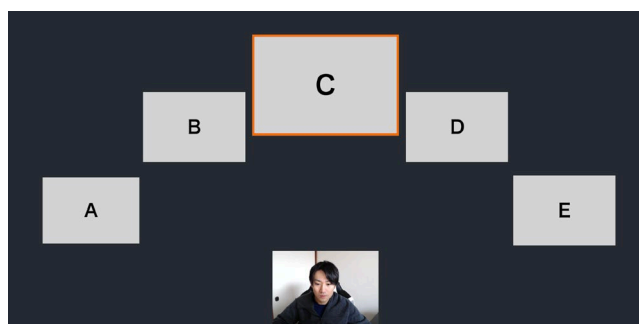


図 5 実験参加者が見ている画面 (6 人会議想定)

4.1.2 実験評価項目

本実験は評価項目として、現在設定している発話対象者を選択する際の顔の角度の閾値が最適であるか、閾値は会議参加者のアイコン配置に対して直感的であるかユーザ評価を用いて調査した。ユーザが本サブシステムを評価する参加者アイコンの配置数は、会議の想定人数から 3 つに分けて行った。4 人の会議を想定した場合の 3 配置、6 人の会議を想定した場合の 5 配置、8 人の会議を想定した場合の 7 配置の 3 つである。それぞれの配置ごとに、表 1 に示すアンケートに回答させた。

表 1 の Q1 では、マウスカーソルでの操作と、顔を用いた発話対象者選択の比較を行った上で、使いやすさについて回答させた。Q2 では、特定の人数を想定した、顔での発話対象者選択が直感的かどうかを回答させ、Q3 ではそう感じた理由を選択させた。Q4 では、顔選択を用いる本サブシステムが同時複数対話システムに組み込まれたことを想定し、使用してみたいか回答させた。

表 1 使用したアンケート

| | |
|----|---|
| Q1 | 対象者を顔を向けて選択することが難しかったですか？ (1. 選択しにくかった - 4. 選択しやすかった) |
| Q2 | 顔の角度で対象者を選択することに対面対話のような直感性を感じましたか？ (1. 直感性を感じにくい - 4. 直感性を感じた) |
| Q3 | そう感じた理由は何ですか？(複数回答可能) (1. 顔の角度選択の感度, 2. 参加者のUI配置, 3. 動作の処理速度 4. モニターのインチ, 5. その他(自由記述)) |
| Q4 | 顔の角度を用いた発話対象者選択を実際に使ってみたいと感じましたか？ (1. 特に思わない - 4. そう思う) |

4.1.3 実験結果

本実験の参加者は 21-23 歳の学生 1 名、社会人 2 名の計 3 名である。表 1 のアンケートを元に、各実験条件で行った被験者の使用感に対するアンケート結果を図 6 に示す。

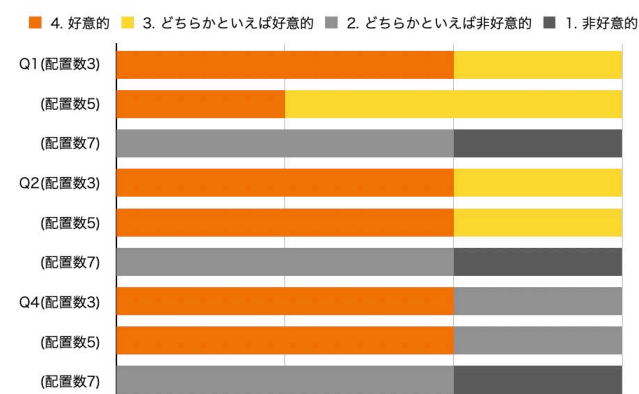


図 6 発話対象者選択の使用感に対するアンケート結果

4.1.4 改善案考察

4.1.3 項の結果から、参加者アイコンが多くなるほど、顔を用いた発話対象者選択を直感的に感じる人は少なくなることが明らかになった。これは発話対象者選択に用いる、参加者アイコンごとに割り当てられる顔の角度の範囲に制限が生じるために浮上した問題である。しかし、Q4 の結果から使用感が直感的であるほど、サブシステムを使いたいという回答が多く、この問題を解決する必要性が示された。同時複数対話システムの要件①を満たすため、参加人数が多い会議では、全ての会議参加者を円形状のテーブルに沿うように配置するのではなく、複数のグループに分けて配置することで参加者アイコンごとに割り当てられる顔の角度の範囲の制限問題を解決する。この場合、複数グループを会議参加者が自由に移動できるような設計が必要となる。

4.2 複数同時音声再生サブシステム

4.2.1 実験方法・環境

実験方法として、被験者に並行発話音声が付与された 11 種類の会議音声を順番に聞きとらせ、その後、アンケートに回答させる形式で行った。本実験で用いた会議音声は、研究室でのゼミで行われた会議に並行音声を付与したもの

である。被験者には事前に再生する会議音声のシナリオを説明し、会議参加者の1人として音声を聞き取らせる。

本実験は、被験者にPCとステレオ音源を再生可能なサウンドデバイスを用意させて実験を行った。シナリオの説明と音源の再生はKeynoteで行い、オンライン環境では遠隔会議サービスZoomの画面共有機能に付随した音声共有機能でステレオ音源を共有した。実験に用いた実際の画面を図7に示す。

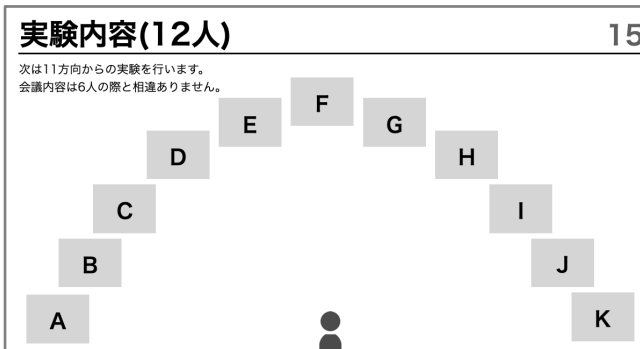


図7 実験参加者が見ている画面 (12人会議想定)

4.2.2 実験評価項目

本実験は評価項目として、並行発話音声の指向性や音量調整が、並行発話内容の認知性と、並行発話者推定の識別性にもたらす影響を、ユーザ評価を用いて調査した。ユーザがサブシステムを評価する際の音声データは、会議の想定人数から2つに分けて行った。6人での会議を想定して並行音声を付与した1-7、12人での会議を想定して並行音声を付与した8-11である。これらの音声データは1から順に再生する。それぞれの音声データごとに回答させたアンケート表2と並行発話内容を示した表3を後述する。表3の発話者は指向性を付与した方向を示し、並行発話音量は共通議題の対話音声と比較した際の音量を示している。

表2のQ1では、再生された会議音声に付与された並行発話音声の方向から、並行発話した話者を予想させた。Q3では、再生された並行発話音声の内容を記述させた。Q1、Q3では実際に付与した並行発話音声を元に、アンケート結果を比較し、正誤の評価を行う。Q2、Q4では、並行発話音声に対する、被験者の主観的な発話者の識別性と内容の認知性評価を行った。

表2 使用したアンケート

| Q1 | 並行発話音声はどの話者から聞こえましたか？ (音声データ 1-7 : 1. 発話者 A - 5. 発話者 E) (音声データ 8-11 : 1. 発話者 A - 11. 発話者 K) |
|----|---|
| Q2 | どの話者から聞こえたのか、はっきり聞き取れましたか？ (1. 聞き取れなかった - 4. 聞き取りやすかった) |
| Q3 | 並行発話音声の内容が、聞き取れている場合大まかでも良いので記述してください (自由記述) |
| Q4 | 並行発話音声の内容は、はっきり聞き取れましたか？ (1. 聞き取れなかった - 4. 聞き取りやすかった) |

表3 使用した並行発話音声

| 音声データ | 並行発話内容 | 発話者 | 並行発話音量 |
|--------------|-------------------------|-----|--------|
| 1 (6人会議想定) | 「この写真っていつ撮ったやつなの？」 | D | 同 |
| 2 (6人会議想定) | 「今会議してる最中に、裏でやっちゃおう？」 | A | 大 |
| 3 (6人会議想定) | 「なんか前写真撮らなかった？これ使わん？」 | E | 同 |
| 4 (6人会議想定) | 「シフト入力すんの忘れてた、シフト入れた？」 | B | 同 |
| 5 (6人会議想定) | 「シフト表のリンク見落としたんだけど、どこ？」 | A | 小 |
| 6 (6人会議想定) | 「ごめんslidoってなんだっけ？」 | D | 大 |
| 7 (6人会議想定) | 「5時30分から用事あるって言ってなかった？」 | D | 小 |
| 8 (12人会議想定) | 「今会議してる最中に、裏でやっちゃおう？」 | I | 大 |
| 9 (12人会議想定) | 「なんか前写真撮らなかった？これ使わん？」 | A | 大 |
| 10 (12人会議想定) | 「シフト表のリンク見落としたんだけど、どこ？」 | E | 小 |
| 11 (12人会議想定) | 「5時30分から用事あるって言ってなかった？」 | C | 小 |

4.2.3 実験結果

本実験の参加者は21-22歳の学生2名、社会人3名の計5名である。表3と被験者のアンケートの回答を比較し、並行発話者推定と並行発話内容の正答人数を示した表4を示す。また、一部抜粋した音声データの、被験者の主観的な発話者の識別性と内容の認知性評価の結果を図8に示す。

表4 並行発話者と並行発話内容の正答人数

| 音声データ | 並行発話者正答人数 | 並行発話内容正答人数 |
|--------------|-----------|------------|
| 1 (6人会議想定) | 2人 | 4人 |
| 2 (6人会議想定) | 4人 | 4人 |
| 3 (6人会議想定) | 3人 | 4人 |
| 4 (6人会議想定) | 4人 | 4人 |
| 5 (6人会議想定) | 3人 | 5人 |
| 6 (6人会議想定) | 4人 | 4人 |
| 7 (6人会議想定) | 3人 | 3人 |
| 8 (12人会議想定) | 0人 | 4人 |
| 9 (12人会議想定) | 1人 | 4人 |
| 10 (12人会議想定) | 2人 | 5人 |
| 11 (12人会議想定) | 0人 | 3人 |

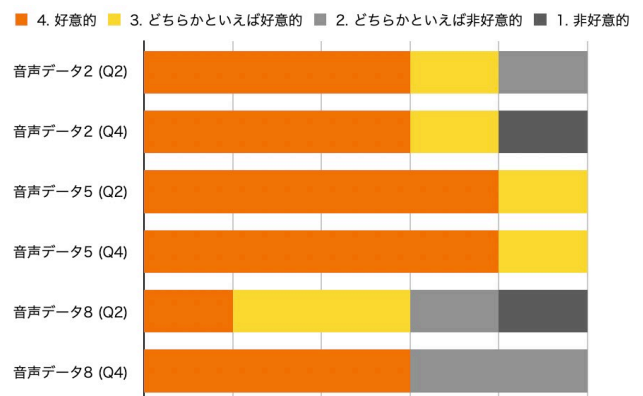


図8 音声データ2,5,8におけるQ2, Q4のアンケート結果

4.2.4 改善案考察

4.2.3項の結果から、極端な調整をのぞいて、付与した並行発話音声の音量の大小や指向性に対しては認知性の影響が少なく、内容の認識は高い確率で可能ということが明らかになった。Q4の被験者の主観的な内容の認知性評価の結果も、好意的な回答が多い。しかし、並行発話者推定の正答率に関しては5方向と11方向で大きな差があり、会議の

想定人数が増えると、聴覚情報のみでの対象者推定は難しいことが明らかになった。これは、Q2の被験者の主観的な発話者の識別性の結果にも示されているように、会議想定人数が増えると、非好意的な意見の割合が増加した。そのため、同時複数対話システムの要件②を満たすため、どの並行発話者から発話されたかを示す、UI表示などの認知性の補助の必要性が示された。また、結果には記載していないが、会議全体に向けて発話がなされたのか、自身に向けての並行発話だったのか、わかりにくいとの意見も一部の被験者から挙がった。そのため、並行発話音声再生する前、もしくは再生中に、サブシステム使用者が並行発話に気付くための処理が必要である。

5. おわりに

本研究の目的は、遠隔会議において対面会議のような並行対話を実現し、遠隔会議の円滑さを向上させることにある。この目的に向けて、本研究では同時に複数の対話が可能な遠隔会議システムを提案した。提案する同時複数対話システムは並行対話を実現し、発話を促進することで、会議参加者の発話抑制の解消を目的としている。本稿では提案システムの要件について述べ、要件を満たすための2つのサブシステムを提案し、検証・評価する予備実験を行った。

予備実験の結果から、並行発話対象者を選択するための参加者アイコンが多くなるほどシステムを直感的に感じる人は少なくなることを示した。付与した並行音声は音量の大小や指向性に対しては認知性の影響が少なく、内容の認識は高い確率で可能であるが、並行発話者の推定は音声のみでは難しいということが明らかになった。

今後は、本稿で明らかにした改善点より、同時複数対話システムを構成するサブシステムの設計改良と実装を進める。発話対象者推定サブシステムでは、人数が多い遠隔会議に対応するための設計、複数同時音声再生サブシステムでは、どの並行発話者から発話されたかを示すUI表示などの、発話者の識別性の補助に関わる設計を今後の課題とする。

参考文献

- [1] 総務省, “通信利用同行調査の結果” (2021) (<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/statistics05a.html>) (accessed: 2021-10-19)
- [2] 総務省, “5G が促すデジタル変革と新たな日常の構築” (2020) (<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd123210.html>) (accessed: 2021-10-19)
- [3] 宮内佑実, 遠藤正之, “オンライン会議とオフライン会議の意思疎通の比較”, 経営情報学会 全国研究発表大会要旨集, pp.144-147 (2020).
- [4] 中山駿, 永吉実武, “オンライン会議環境での知識創造の阻害要因と克服策”, 経営情報学会 全国研究発表大会要旨集, pp.9-12, (2017).

- [5] 玉木秀和, 東野豪, 小林稔, 井原雅行, “発話がぶつからないWeb会議を実現するための発話欲求伝達手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.275-283 (2013).
- [6] Cao Hancheng, Chia-Jung Lee, Shamsi Iqbal, Mary Czerwinski, Priscilla Wong, Sean Rintel, Brent Hecht, Jaime Teevan, Longqi Yang, “Large Scale Analysis of Multitasking Behavior During Remote Meetings,” Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-13 (2021).
- [7] 鈴木啓太, 横山正典, 吉田成朗, 望月崇由, 布引純史, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝, “同調的な表情変形技術を用いた遠隔コミュニケーションの拡張”, 情報処理学会論文誌 59, No.1, pp.52-60 (2017).
- [8] Samrose Samiha, “Automated Collaboration Coach for Video-conferencing based Group Discussions,” Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference and 2018 International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers, pp.510-515 (2018).
- [9] 鍋谷航平, 村岡泰成, 石川誠彬, 江木啓訓, “消極的発話者の発言率向上を目的とした音声による個別指示議論支援システムの開発”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2021) シンポジウム, pp.766-773 (2021).
- [10] 阿部花南, 築館多藍, 桑宮陽, 小林稔, “会議円滑化支援を目的とした気持ち可視化ボタンの提案”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2021) シンポジウム, pp.774-783 (2021).
- [11] React.js (<https://github.com/facebook/react>) (accessed 2021-10-19).
- [12] Kartynnik Yury, Artsiom Ablavatski, Ivan Grishchenko, Matthias Grundmann, “Real-time Facial Surface Geometry from Monocular Video on Mobile GPUs,” The 3rd Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality in conjunction with Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2019).
- [13] 徳原耕亮, 荒川豊, 石田繁巳, “領きのリアルタイムフィードバックによるビデオ会議支援手法の提案”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2021) シンポジウム, pp.953-959 (2021).
- [14] Google Firebase (<https://firebase.google.com/?hl=ja>) (accessed 2021-10-26).
- [15] MDN web docs: Web Audio API (https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Audio_API) (accessed 2021-10-19).
- [16] WebRTC (<https://webrtc.org>) (accessed 2021-10-19).