

分散環境における話者交替の Awareness 支援

敷田 幹文^{1,a)} 増田 雄亮^{2,†1}

受付日 2014年4月13日, 採録日 2014年10月8日

概要: 就業形態の多様化, オフィスの多地点化などにより, 分散環境下におけるネットワークを利用したグループコミュニケーションの重要性が増してきた. これらのコミュニケーションでは, 実際に対面でコミュニケーションを行う場合と比較して, ノンバーバル情報が伝わりにくく, 円滑なコミュニケーションが難しいことが指摘されてきた. さらに, 分散環境下における多人数対少人数で行われるコミュニケーションでは, 伝わるノンバーバル情報量やプレゼンス情報量の違いから, 少数側の参加者の発話回数が減少し, 議論に積極的に参加しにくい傾向がある. 本論文では, 上記問題点に対して, (1) 少人数側に発話要求が生じたときのジェスチャと, (2) 多人数側の発話終了直前のジェスチャに着目する. これらのジェスチャを会議中に検出することにより, 話者交代に関する Awareness 情報の伝達方式の提案を行う. 提案にあたり, より自然な Awareness 支援を目指して, Awareness 付与の頻度や強さを調べる予備実験を行った. さらに, 分散環境下における多人数対少人数でのブレインストーミングを例題に, 少人数側の円滑な発話開始を主眼とする支援環境の実験と評価について述べる.

キーワード: ビデオ会議, グループコミュニケーション, 話者交替, Awareness

Awareness of Turn-taking for Remote Group Communications

MIKIFUMI SHIKIDA^{1,a)} YUSUKE MASUDA^{2,†1}

Received: April 13, 2014, Accepted: October 8, 2014

Abstract: Communicating face-to-face with distant people by using a teleconferencing system has become popular. In this style of communication, non-verbal information is not transmitted sufficiently enough to maintain effective communication. In current teleconferencing systems, telepresence, i.e. the virtual feeling of being in the same room, is insufficient, too. Thus, users in a main office tend to not pay sufficient attention to remote users participating from a satellite office. In particular, when the number of remote users is one or two, these users have difficulty participating in discussion actively, and it is hard for them to start talking smoothly without deliberate turn-taking. To address the above problem, we focus on two gestures of talkers at the time of turn-requesting or concluding talking. These are one kind of non-verbal information. In this paper, we propose a supporting method based on these gestures that enhances awareness of turn-taking for a small number of remote users. We detect these gestures during discussion and transform them into meta-communication signals, which are indicated to main and remote users for adequate turn-taking. We also evaluate our proposed method by analyzing experimental discussions through brainstorming.

Keywords: video-conference, group communication, turn-taking, awareness

¹ 北陸先端科学技術大学院大学情報社会基盤研究センター
Research Center for Advanced Computing Infrastructure,
Japan Advanced Institute of Science and Technology, Nomi,
Ishikawa 923-1292, Japan

² 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科
School of Information Science, Japan Advanced Institute of
Science and Technology, Nomi, Ishikawa 923-1292, Japan

^{†1} 現在, 新日鉄住金ソリューションズ
Presently with NS Solutions Corporation.

^{a)} shikida@jaist.ac.jp

1. はじめに

近年のめざましいネットワーク技術の進展・普及と, 在宅勤務などの就業形態の多様化やオフィスの多地点化があいまって, 分散環境下におけるネットワークを利用したグループコミュニケーションの機会が増加してきた. インフォーマルコミュニケーションや情報伝達を主としたコ

コミュニケーションだけではなく、組織の生産性に関与する双方向的議論をとまなう会議がネットワークを介して行われている。

このような創造性の高いコミュニケーションにおいて、視線情報、ジェスチャなどのノンバーバル情報や臨場感が、円滑なコミュニケーションを進めるうえで重要である。しかし、バーバル情報の伝達とともに、ノンバーバル情報が十分には伝達されていないことが指摘されて久しい [1], [2]。また、分散環境下で行われる会議は、必ずしも各地点の参加人数が均衡で行われるとは限らない。たとえば、出張先から1人で会議に参加する、あるいはサテライトオフィスや分校から会議に参加する場合など、多人数対少人数（1～2人）で会議が行われることが多い。

このような参加地点によって参加人数が不均衡な会議の場合、本社や本校は多人数側にあたり、1つの部屋に参加者が集まる形態が多く、参加者が同室という自然なface-to-faceという状況下で、「お互いにプレゼンス情報を共有しているコプレゼンス状態にある」[3]。このとき、サテライトの少数側のプレゼンス情報は、会議システムからの人物の映像や発声音などのテレプレゼンス情報として送られてくる（図1）。

高臨場感の研究が進んでいるが、一般的な会議システムでの利用においては、伝送されるテレプレゼンス情報から醸成される実在感、実際の対面から生じているコプレゼンス状態にはまだかなわないといえる。そのため、多人数側では、画面中の遠隔参加者よりも、対面可能な同室の参加者の方に気が向いてしまい、多人数側の参加者のみで議論が盛り上がりやすい[4]。そうすると、少人数側の参加者は、相手側拠点での活発な議論に割り込みしにくくなり、話す順番を積極的にふられない限りは、発話機会が減る傾向にある。このような状況は筆者らも仕事上よく経験することである。小峯らも遠隔会議において円滑な話者交代が難しく、遠隔側にいる参加者との議論が極端に少なくなると指摘している[5]。また、この少人数のサテライト側の発話のしにくさは、映像や音声の遅延にも影響を受けるといえる。

そこで、本論文では、分散環境下において多人数対少人数で行われる創造的会議[6]をとり上げ、少人数側の発話開始のきっかけを支援するためのより自然なアウェアネ

ス情報伝達方式の提案を行う。提案にあたっては、少人数側に発話要求が生じたときのジェスチャと、多人数側の話者の発話終了直前のジェスチャに着目する。これはジェスチャの機能には、メタコミュニケーション（もしくはメタ調節[7]）の働きがあると考えうるからである。メタコミュニケーションとは「これから始まる、あるいは進行中のコミュニケーションのありかたを規定するコミュニケーションである」[8]。Duncanも身振り・動作（body motion）を話者交代の信号要素の1つにあげている[9]。よって、本研究では上記2つの発話に関するジェスチャを検出することで、アウェアネス支援のタイミングを得る。また、提案にあたっては、より自然なアウェアネスを付与できるように、アウェアネス付与の頻度や強さに関する予備実験も行った。本論文では、距離のある人間関係のグループコミュニケーションにおいて、近年一般的な商用ビデオ会議システムを用いて、臨場感や実在感を高めるために装置の改善を行わなくても、本方式により話者交替を円滑にし、会議への貢献度差が縮まることを確認する。

以下2章では、まず、本研究の位置づけを述べつつ、ノンバーバル情報の重要性和関連研究について述べる。3章では予備実験と提案方式を説明し、4章で評価実験について述べ、5章で本方式の有用性を議論したのち、6章でまとめを述べる。

2. 関連研究

2.1 ノンバーバル情報の重要性

本研究が掲げる問題点は、分散環境下のコミュニケーションにおいて、参加者が相手側拠点にいる参加者に対して、「同じ場所にいるという実在感」[1]という感覚が希薄なために、各地点内だけで議論が進みやすいということである。さらに、ある拠点の参加者が1～2人と少人数での構成で、片や他の拠点多人数な場合、多人数側だけで進む議論に少人数側がおいでいかれ、少人数側が孤立感、疎外感、発話しにくさを感じやすくなる（図1）。本研究では、仮想の**実在感**を拠点間の物理的な距離を超えて、会議の参加者があたかも同室にいるような感覚ととらえている。Bondarevaらも“feeling of being together”という感覚の重要性を指摘している[10]。この場合、仮想の実在感という感覚は、会議システムによって伝送される音声や映像によって作られるが、現実に同室で隣り合わせた人同士が持つ感覚には、いまだ等しくはない。それは、人間の存在感の表出に寄与するところが大きいノンバーバル情報が十分には伝わっていないからである。カメラで撮影されたジェスチャは遠隔側にも伝達可能である。しかし、実際に対面して立体的に感じる身振りの変化と、2次元の画面平面を通して感じる身振りの変化では、認知的に違いが生じるかもしれない。たとえば、遠隔側の相手が身を乗り出すように腕を振っていたとしても、その気迫は2次元画面

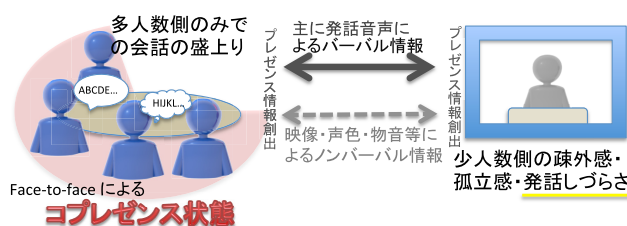


図1 分散環境におけるプレゼンス情報

Fig. 1 Presence information.

では伝わりにくい。また、カメラで撮影されない部分の身体の動きは伝達されることはない。

ノンバーバル情報は、コミュニケーションにも大きく影響を与える。Birdwhistell は、「伝達で言語がしめる割合は30～35%にすぎない」としている [8]。残りはノンバーバル情報である。

実際に対面で行われるコミュニケーションにおいては、ノンバーバル情報は、準言語、身体の動き、近接などの事象により伝達される [8]。具体的には、視線、ジェスチャ、顔の表情、声色、姿勢、話者間の対人距離、外見、冷や汗などである。本研究では特にジェスチャに着目している。ジェスチャには、何かを伝えようとする意図的な身体の動きだけでなく、ほとんど意識しないで出てくる身体の動きや、コミュニケーションの相手がいない場面で起こる身体の動きも含まれる [7]。たとえば、相槌のためのうなずき、得心したときに思わず手を打つ仕草、否定意思を表すときに手を横に振る動きや、苛立たしさを表す指の動きなどである。

2.2 分散環境下におけるノンバーバル情報

分散環境下で行われるコミュニケーションやコラボレーションでは、上記の重要なノンバーバル情報が十分には伝達されないことがかねてより指摘されきた [1], [2]。ノンバーバル情報が少なくなるということは、それだけ仮想の実在感も減少する。

そこで、ノンバーバル情報の伝達を支援するために、いろいろなアプローチがとられている。(a) ディスプレイやスクリーンなどの新しい表示装置や表示方式 (ex. 磯らの2画面積層表示を用いたテレビ会議システム [11])、(b) アバタやエージェントなどの代理者により仮想空間を通じて伝達する (ex. 後述の文献 [12])、(c) 不足しているノンバーバル情報への直接的な気づき (アウェアネス [13]) を促す [14]、(d) 不足しているノンバーバル情報を拡張・誇張表現して気づきやすくする (ex. ジェスチャの拡張表示)、(e) 別の物理的な物・信号を使ってノンバーバル情報の伝達を補完・代替する (後述の文献 [4])、等であり、いくつかのアプローチを複合した研究もある。本研究のとりアプローチは (e) である。発話交代に関与するジェスチャを音によるメタコミュニケーション信号に置き換えて伝達することにより、円滑な話者交代のためのタイミングへの気づきを与えている。

特に、視線伝達に関する研究はさかんであり、話者間の視線の向き、視線一致 (アイコンタクト) や Gaze Awareness [15] に関する研究が行われている。分析も行われており、文献 [16] では、アイコンタクトが可能なシステムと不可能なシステムとのコミュニケーションを比較分析している。アイコンタクトがとれない場合は、視線情報を補うために、会話開始にあたり、手を振る挙動や挨拶が行われる

と述べている。福井らは、多地点遠隔会議システムにおける「だれがだれを見ているか」が分からないという問題点と、参加者の一体感 (同じ空間にいる感覚) が得られないという問題点を指摘している。誰が誰の方向を向いているかを認識する支援にあたり、モーションプロセッサを利用して参加者の顔の向きを検出し、仮想空間中のアバタによって伝える e-MulCS を構築している。人間が相手に注目したときに注目先以外はぼやけて見える現象に着目し、注目されたアバタが拡大表示される方法も実現している [12]。北中らは、多人数対少人数の分散会議において、少人数側の視線伝達の代替手段として、スポットライトを用いた照射方法を提案している。少人数側の視線の角度をデバイスにより検出し、その角度を基にぼんやりとした光を多人数側の机に照射することにより、視線情報を補った自然なコミュニケーション支援を目指している [4]。富野らは、1 拠点に多人数が参加した会議において、話者の特定とその話者の表情が認識しやすいように、その話者の映像を拡大表示する研究を行っており、映像処理とマイクロフォンアレイを用いて話者を自動的に検出している [17]。

円滑なコミュニケーションのためには、視線と並んでジェスチャも重要である [18]。ジェスチャには、円滑なコミュニケーションのために、たとえていうならコミュニケーションにおける交通整理のような機能を持つものがあるとされる [7]。そのため、発話前後や発話途中のジェスチャを分析して、会話の重要個所の抽出、会話制御や話者交代の支援を行う研究などが行われている。山本らは、会話中の重要個所を把握する手段として、マルチモーダルヘッドセットを装着した話者のうなずき動作を検出し、会話中のうなずきの役割を分類している [19]。

ビデオ会議と対面会議を比較して分析した研究に文献 [20], [21] がある。O'Conaill らは「音声が半二重通信で遅延がある場合には発話時間が長くなり話者交替回数が減るが、低遅延で高品位の映像を用いると発話時間と話者交替回数は対面環境と変わらない。しかし、発話終了直前の言葉に次の発話を重ねたり自然につなげる話者交替回数が対面環境より少ない」と述べている [20]。Sellen も「低遅延のビデオ会議では発話の長さや回数が対面と同じであったが、他者の発話への割込みなど活発で自然な対面時の話者交替とは異なり、ビデオ会議では発話の間を待ってから交替するような礼儀正しい会話となる」と述べている [21]。また、Fischer らは「遅延のあるビデオ会議でも、明示的な合図や言葉で確認するなど、参加者は新しいメディア特有の問題を回避する話者交替法を見出す」ことを指摘している [22]。

以下 2 つの研究は、話者交替の支援に着目しているという点で本研究と関連する研究である。玉木らは、Web 会議において、各参加者が発話の前に行う特徴的な予備動作 (手の動作、頭の動作、頷き、相槌などの音声) を分析し、

これらの予備動作に相当するものを会議中に検出して、次に最も発話を行いそうな参加者を選定している。その選定者を他の参加者へ教示することにより、発話の衝突を減少させる手法を提案している [23]。この後、さらに玉木らは、前述の提案手法を土台に、システムが推定した発話要求度合いを、各参加者にリアルタイムにフィードバックしている。各参加者は自分の動作を調整することで、システムの推定する発話要求度合いを実際の度合いにより近づけることができる。そして、システムが推定した発話要求度合いが設定閾値を超えたときに、話者候補として他の参加者に示している [24]。玉木らの研究と本研究の違いは、玉木らが Web 会議を対象としているため、本研究のように参加者数が拠点によって不均衡になる会議形態 (i.e. 1つのディスプレイを多人数で見る拠点がある) が支援対象ではないこと、本研究が実在感が薄れやすい少人数側を支援の対象に絞っていることである。さらに、本研究では話者交代支援のために、発話要求が生じたときだけではなく、相手側拠点に生ずる発話終了直前のジェスチャにも着目している点、およびアウェアネス付与の強さに関する考え方などに差異がある。このような対象の違いに関しては 5 章で詳細を述べる。

3. 発話開始タイミングのアウェアネス情報伝達方式

本章では、発話開始に適したタイミングに関するアウェアネス情報の伝達方式について述べる。

3.1 概要

本方式は、グループコミュニケーションにおいて、近年一般的なビデオ会議システムを用いて参加者のうち少人数だけが分散しており、他の参加者は同室で対面の状況を想定している。ある程度距離のある人間関係の場合には他者の発言に配慮して発話タイミングの調整が行われるが、このように分散と対面が混在した状況下で、身振り手振りや頷きなどのノンバーバル情報を音を用いて伝達することで、少人数側参加者に対する発話開始タイミングのアウェアネス支援を行う。図 2 に本方式の概要を示す。なお、本論文では、ジェスチャに加え、咳払いや相槌などの音声、表情の変化なども含め、「動作」と呼ぶ。

2.2 節で述べたように、一般の分散環境でのビデオ会議におけるコミュニケーションでは他者の発話につなげる自然で活発な話者交替が減り、他者の発話の間を待つような不自然に礼儀正しい話者交替が増える [20], [21]。そのため、本方式が対象とする多人数対少人数で行われるコミュニケーションでは、多人数側参加者が同室で行う活発な議論に少人数側が積極的に参加しにくい傾向がある。そこで、図 2 のように、少人数側参加者が話し始める前に行う動作である「発話要求動作」の発生を多人数側に伝え、多人数

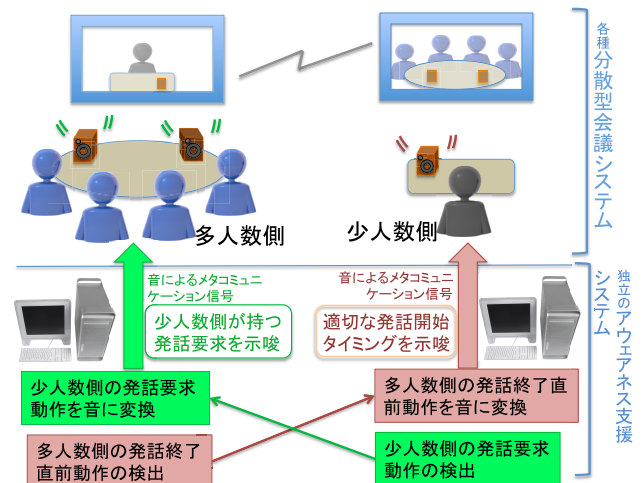


図 2 提案方式の概要

Fig. 2 Overview of the proposed method.

側参加者からの注目を支援する。一方、多人数側参加者が発話している際に発話を終える直前に行う動作である「発話終了直前動作」の発生を少人数側に伝えることで、発話開始に適したタイミングを少人数側参加者に気づかせる。

アウェアネスの与え方として視覚的手法を用いることも多いが、グループコミュニケーションの場では特定の参加者に向かって発話することもあって視線の向きが大きく変化する。アウェアネスの実現では 3.4 節で述べる適度な強度が重要であるが、聴覚を用いる手法では現在の姿勢や視線の向きによって強度が影響されることが少ない。

3.2 伝達手順

少人数側参加者の発話要求動作は以下の手順に従って、多人数側参加者に伝えられる。動作の学習に関しては 3.3 節で述べる。

- (1) 分散拠点にいる少人数側の参加者が、身振りや頷きなどの動作を行う。
- (2) センサが認識して、サーバに伝達する。
- (3) その人の過去の学習結果から発話要求動作である場合には、予測の確からしさに応じた音量で多人数側端末のスピーカから音を鳴らす。
- (4) 多人数側の参加者が、他拠点参加者の発話要求に気づく。

一方、多人数側参加者の 1 人が発話中に行った発話終了直前動作は、以下の手順に従って少人数側参加者に伝えられる。

- (1) 多人数側参加者のうち 1 人が発話中に、身振りや表情の変化などの動作を行う。
- (2) センサが認識して、サーバに伝達する。
- (3) その人の過去の学習結果から発話終了直前動作である場合には、予測の確からしさに応じた音量で少人数側端末のスピーカから音を鳴らす。

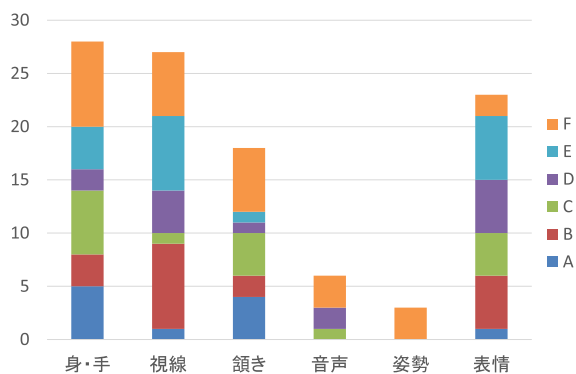


図 3 各発話終了直前動作の発生回数

Fig. 3 The counts of pre-terminal gestures.

(4) 少人数側の参加者が、現在の発話者の発話終了を知り、発話開始に適したタイミングに気づく。

3.3 伝達するノンバーバル情報

分散環境下での実際のグループコミュニケーションで行われる、発話要求動作と発話終了直前動作の頻度や個人差を調べるためにノンバーバル情報抽出実験を行った。実験を行ったグループコミュニケーションはブレインストーミングで、少人数側に1人と同室対面の多人数側に3人で、分散と対面が混在した会議である。6分間のブレインストーミングを2組で行い、計12分間のコミュニケーションを記録したビデオを分析し、発話タイミングに関するノンバーバル情報として、身振り手振り、視線、頷き、相槌、姿勢の変化、笑いなどの表情変化の6種類を調べた。

発話要求動作としては、身振り・手振り、頭の動き、頷き、相槌などの音声がみられた。一方、発話終了直前動作には身振り・手振り、視線、頭の動き、頷き、姿勢の変化がみられた。しかし、各発話終了直前動作の発生回数を図3に示すように、検出された発話要求動作および発話終了直前動作には個人差が大きいことが分かった。たとえば視線は、被験者Aは1回のみであるが、被験者Bは8回も検出されている。

また、各動作の発話終了直前動作としての信頼度を求めるために、各動作が発生した直後に実際に発話が終了した確率を被験者ごとに求めた結果を図4に示す。ここでもある程度の個人差がみられる。ただし、6種類のうちのいずれか2種類以上の動作が発生した場合に発話が終了した確率は全員95%以上であった。

間違った支援を行うと参加者が戸惑い、円滑なコミュニケーションの妨げになることが予想される。正確な支援を行うためには各参加者の個人差を学習する必要がある。そこで、本研究では、終了確率が80%以上の動作のみをその人の発話終了直前動作とし、2種類以上の動作を行った場合は動作の種類に関係なく発話終了直前動作として判定する。また、人によっては連続して動作を行う場合がみられ

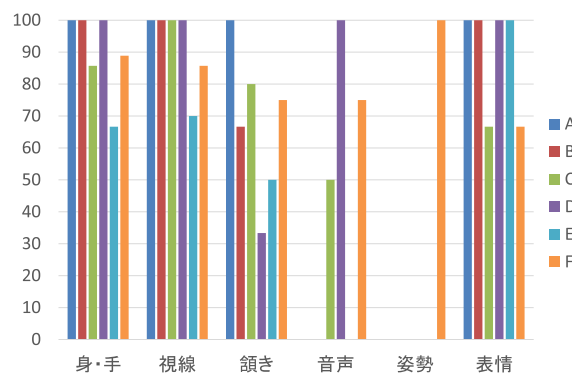


図 4 発話終了確率

Fig. 4 The ratio of turn termination.

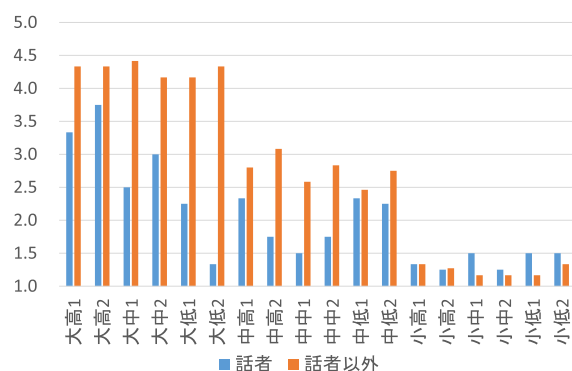


図 5 音によるコミュニケーション妨げのアンケート結果

Fig. 5 The influence of sound on communication.

たため、動作検出後10秒間は同じ動作を無視する。

3.4 アウェアネスの強度

グループコミュニケーションにおけるアウェアネス支援では適度な強さで気づきを与えることが重要である。強過ぎるアウェアネスを行うと、たとえば、発話に没頭している人や、その発話を聞くことに集中している人がいても、そのような発話を妨害して円滑なコミュニケーションの妨げとなる。

アウェアネスの適度な強さを調べるために以下の予備実験を行った。被験者は同室で対面の大学院生4人で、準備されたシナリオどおりに発話し、また他者の発話を聞いているという模擬会議のコミュニケーションを続けており、その間に音量、周波数、パターンを変えた音をランダムな順で発生させた。音がどの程度コミュニケーションの妨げになったか、5件法によるアンケート調査を行った。

その結果、図5に示すように、音のパターン(1:「ピーピー」または2:「ピーー」)では有意な差はなかった。周波数を380 Hz, 760 Hz, 1640 Hzと変化させたところ、高い周波数ではより妨げになる人が少し増えたが大きな差ではなく、音量のみで大きな差があった。この音量を被験者の位置で測定したところ、図5の「大」は52 dB, 「中」は48 dB, 「小」は43 dBであった。ただし、音を鳴ら

していないときの音圧レベルは 42 dB であった。また、他者の発話を聞いている「話者以外」が「話者」よりも妨げになっていることが分かる。さらに、ストレスを感じたかのアンケートも妨げの発生とほとんど同じ回答であった。なお、実験中の視線は手元のシナリオ資料や発話者への注目などと変化していたが、視線に関係なく音に気づいていたことも確認できた。

以上の結果から、中程度以下の音量を用いることで、コミュニケーションを妨げることもあるが大きくはないことが確認できた。本提案方式ではこのような中程度以下の音を用いることで、議論に集中している際にはコミュニケーションを妨害しないアウェアネスを行う。ただし、3.3 節で述べたように動作には個人差があり、正確さも異なる。学習段階で収集したデータから各動作の後の発話や発話終了の確率を求めておき、確からしさに合わせて音量を変化させる。これによって、音が鳴った後にその意味の行動が起きなかったとしてもストレスを感じにくくしている。

4. 評価実験

本章では、提案方式の有用性を示すために行った評価実験について述べる。

4.1 実験の概要

グループコミュニケーションを行う創造的会議の一例としてブレインストーミングを行う実験を実施した。ブレインストーミングを用いるのは他の会議に比べて発話数や発話時間がテーマに影響されにくく、均一な条件で実験を繰り返せるためである。さらに、ブレインストーミングのテーマは「食堂の改善法」のように被験者である学生に身近な話題とし、個人の興味によって発話数に極端な差が出にくいよう工夫した。また、単にアイデアのキーワードを伝えるだけでなく理由も述べて、他の一般的な会議に近い発話時間になるようにした。

被験者は大学院生 12 人（男性 11 人、女性 1 人）で、全員 20 歳代前半である。4 人ずつの 3 グループで実施した。1 つのグループを構成する 4 人は、他のメンバの発話を尊重しつつ議論を進める人間関係の会議を想定し、先輩と後輩、もしくは顔見知り程度の関係の被験者が混ざるようにした。ただし、1 つのグループのみは 4 人とも互いに親しい友人であり、支援効果が期待できない組合せで構成された。これについては 5 章で詳しく述べる。同室対面環境では 4 人が円卓に着席するが、分散環境の場合には図 6 に示すようにうち 1 席の場所にビデオ会議システムのモニタを配置し、被験者のうち 1 人が別室から会議に参加する。

実施手順は、まず学習段階として、ブレインストーミング自体の練習後に、6 分間の同室対面環境 1 回と 6 分間の分散環境を少人数側となる被験者を交替しながら繰り返す、合計 5 回行った。この学習段階のビデオ分析を行い、



図 6 実験風景

Fig. 6 A picture of experiment.

表 1 実験手順

Table 1 The order of experiments.

回	対面/分散	支援	少人数側
1	対面	-	-
2	分散	なし	被験者 A
3	分散	あり	被験者 A
4	分散	あり	被験者 B
5	分散	なし	被験者 B

3.3 節で述べた被験者ごとの動作を調査した。調査結果をシステムに学習させた後に、同じグループ分けの被験者で提案方式による支援がある場合の実験を行った。実施手順は表 1 に示すとおり、6 分間の同室対面環境 1 回と 6 分間の分散環境を少人数側となる被験者を交替しながら繰り返す、合計 5 回行った。また、6 分間のブレインストーミングごとにアンケートを実施した。

なお、発話の分析を行う際には、3 秒以上の長さの発声のみを発話と定義し、また、被験者ごとに発話数の差があったため、1 人につき 10 回のみを無作為に抽出して、これらの発話に関するもののみをデータとして扱った。また、発話要求動作と発話終了直前動作の発生に関して曖昧さを減らすため、表 2 に示す判定条件を定め、これに適合する動作のみを発話要求動作と発話終了直前動作として認識した。

4.2 実験用システム

分散環境のグループコミュニケーションを実現するために、図 6 のように Polycom 社のビデオ会議システム HDX-8000 [25] を利用した。発話が聞き取りやすくなる高度な音声処理がされており、バーバル情報は明確に伝わる。映像は HD 品質で、会議テーブルのすぐ側に 50 インチのモニタを設置して表示した。

なお、提案方式は近年一般的なビデオ会議システムの利用を想定しており、視覚的映像の改善を行って実在感を向上させる方式ではない。そのため、この実験ではビデオ会議システム自体は通常の利用形態で用いた。本実験に用い

表 2 各動作の判定条件

Table 2 The judgments for each gesture.

発話要求動作	判定条件
身振り	体が前後・上下左右に動いたとき
手振り	腕が動いたとき
頭の動き	頭が前後・左右に動いたとき
頷き	首の立て振りが小刻みに 2 回以上確認されたとき
音	咳払いや相槌などかすかな音が確認されたとき
発話終了直前動作	判定条件
身振り	体が前後・上下左右に動いたとき
手振り	腕が動いたとき
視線	連続して 2 人以上の顔を見たとき
頭の動き	頭が前後・左右に動いたとき
頷き	首の立て振りが小刻みに 2 回以上確認されたとき
音	咳払いや相槌などかすかな音が確認されたとき
姿勢	座り直す・前にかがむ・背もたれに持たれるなど状態が変化したとき

た装置は設置位置や画面の高さが固定されており、上半身全体を映すと図 6 のように同室の被験者より小さな映像が高い位置に置かれる。一般的な会議室では対面会議を行いやすいようにビデオ会議システムは部屋の隅や壁際に設置されることが多いと考え、通常どおりの位置で利用し、視覚的改善は椅子などの移動のみにとどめた。また、本実験では多人数側参加者が 3 人であるが、実際にはこれより多い場合がある。そのため、座席配置はコの字型などモニタに対面していない参加者がいる配置を想定して円卓を用いた。また、図 6 内の左側画面には本方式に不要な自室映像が映っているが、これも通常の利用法で実験を行った。

この実験では、参加者の出すノンバーバル情報を認識する必要がある。現時点ではこの実験で扱うすべてのノンバーバル情報を表 2 の判定条件に合わせて適切に認識するデバイスは存在していない。しかし、近年は視線や手の動きを認識するデバイスが各種商品化され、デジタルカメラやゲーム機にも応用されるなど、動きの認識率も高い。近い将来には表 2 に近い判定条件での認識が可能になることを想定しているが、今回の実験では被験者以外の人間が被験者の動作をつねに監視しておき、動作の発生をシステムに入力する手法を用いた。判定条件は明確化しており、監視者は両方の部屋に 1 人ずつ配置した。多人数側には 3 人の被験者がいるが、発話終了直前動作の監視は話者 1 人のみでよい。監視者はつねに話者から目を離さないようにし、動作を認識した際に手元の操作卓 PC のキーボードで各被験者の各動作に対応する ‘A’、‘S’、‘D’、‘F’ などのキーをブラインドタイプするだけの作業である。また、実験は十分な訓練後に行い、実験後に入力記録とビデオ映像を照合することで、実験中に誤判定が発生していなかったことを確認した。わずかな遅延はあるが、ビデオ会議システムの方でも高品質映像のバッファリングで遅延が発生している。この遅延を測定する実験を行ったところ、平均 500 ms

表 3 発話数とアイデア数

Table 3 The numbers of speaks and ideas.

条件	支援	発話数	アイデア数
対面	-	10.25	5.25
分散	なし	9.75	4.42
分散	あり	9.75	4.00
分散時の同室 3 人	なし	12.22	5.56
分散時の分散 1 人	なし	2.33	1.00
分散時の同室 3 人	あり	11.44	4.44
分散時の分散 1 人	あり	4.67	2.67

程度であることが分かった。遅延が 300 ms 程度以上になると円滑な話者交替が行いにくいことが知られており [26]、元々違和感のある会議システムを利用しているため影響がなかったと考えている。実際、被験者へのヒアリングでも支援の遅延は感じていなかったことが確認できた。

一方、センサの代わりに操作卓から入力された動作情報をもとに、学習結果と照合して動作の有無を判断し、確からしさに応じた音量で音を 700 ms 間鳴らすように、スピーカを備えた端末側に指示を送るサーバプログラムを開発した。この音量を被験者の位置で測定したところ、最大で 48 dB、最小は 44 dB であった。

4.3 話者交替支援の結果

実験で行ったブレインストーミングのビデオを分析し、セッションの条件ごとに分類して集計し、それぞれの条件における 1 人平均の発話数とアイデア数を求めた結果を表 3 に示す。表 3 の上半分で分かるように、ビデオ会議システムを用いたブレインストーミングは同室の場合に比べて発話数もアイデア数も 5–20%ほど減っているが、支援の有無で大きな差はない。

しかし、分散環境の場合を同室の 3 人と分散した 1 人に分けて比較すると、表 3 下半分のようになる。支援を行うと発話数は 2.0 倍、アイデア数は 2.7 倍に増えており、その分だけ同室 3 人の発話が減っていることが分かる。対面環境のように対等とはいえないが、支援がないとアイデア数で 5 倍以上の格差があったのに比べ、格差は 1.7 倍となったため、大きな変化といえる。発話数ではまだ 2.4 倍の格差があるが、これは自分自身の考えを述べる発話タイミングの支援は行いやすいが、他人のアイデアに対するコメント発話はより正確なタイミングが重要であり、比較的支援が難しいからではないかと考えている。しかし、ミーティングの目的を考えると、ブレインストーミングに限らず多くの会議で自身の考えを述べる発話がより重要である可能性が高く、このような支援効果の差は支障ないと考えている。

なお、この実験では外面的観測に加えてアンケートも併用しているが、支援が行われた各瞬間に被験者が実際に発話要求を考えていたかなど、被験者の内面は正確に把握で

きていない。そのため、音が鳴ったら発話する習慣になっていたために、実際には発話を考えていなかったときに強制的に話者交替を起こさせていた可能性もある。しかし、アイデア数が大きく増えており、しかも発話数以上に増加していることから、発話する内容を持っているときに話者交替を促された場合が多かったと推測できる。また、5.4節で述べるように、支援が必要ない親密度の高い人間関係の場面で話者交替を強制しようとしても、音が無視されて発話を強制できなかったことが確認できた。

また、多人数側の発話途中で発話終了直前動作を誤認識した場合は発話途中での割込みが発生する可能性があり、そこでもし話者が発話を中断していたら、正常な発話終了および話者交替と誤って分析される危険性がある。しかし、今回用いたビデオ会議システムは約 500 ms の遅延があり、その前の動作認識時間や音が鳴ってから被験者が認識する時間などと合わせると、全体では大きな遅延となる。遅延が 300 ms 程度以上になると円滑な話者交替が行いにくく [26]、文献 [23] でも発話衝突が 30 倍になったと述べられており、割込みでも衝突が発生せずに発話を中断させて話者交替していた可能性はきわめて低いと考えられる。また、発話中断時間が十分に長い場合は遅延があっても発話衝突しない可能性があるが、この場合は対面環境であっても割り込んで話者交替することが考えられるため、これは話者の意志に関係なく発話終了と見なした。

5. 議論

本章では、実験結果に基づいて提案方式の有用性に関して議論を行う。

5.1 発話のしやすさ

ビデオ分析により発話の衝突回数を数えたところ、対面会議では 1 度も観測されなかったのに対し、支援のない分散会議では 1 セッションあたり平均 1.0 回の衝突があった。発話数は表 3 のとおり、分散している 1 人は平均 2.33 回であるが、そのうち 1.0 回が衝突するので、43% が衝突している。一方、支援がある場合の衝突は平均 0.3 回であった。発話数が増加したので割合では 6% となり、著しく小さくなったといえる。しかも、衝突が発生したのは発話終了直前動作が検出できなかった話者交替の場合だけであった。また、アイデアを述べた発話に限定すると、支援がない場合には 67% の発話で衝突が発生したのに対し、支援がある場合には、動作がなかった場合に発生した 11% のみであった。

以上の結果から、本論文の方式で支援を行うと、発話数・アイデア数が大きく向上させられる一方で、発話衝突はほとんど回避できることが確認できた。

発話のしやすさは主観評価でも確認できた。分散環境の少人数側参加者に 5 段階評価 (1~5) のアンケートを行っ

表 4 発話しにくさのアンケート結果

Table 4 The results of inquiries about turn-taking.

アンケート項目	対面	支援なし分散	支援あり分散
発話の切れ目が分からない	1.50	4.00	2.75
議論中は話しにくいと感じた	1.25	4.25	3.50
議論中に意見をいえなかった	1.13	3.25	2.25
発話したいときにすぐできない	1.37	4.50	3.00
自分以外だけで話が進んだ	1.38	4.75	3.75

た平均値を表 4 に示す。対面環境では発話しにくさがほとんどないが、支援のない分散環境ではかなりしにくさを感じていることが分かる。しかし、支援を行うことでしにくさが改善されている。

5.2 臨場感

コミュニケーション支援で重要なことの 1 つが臨場感である [27]。商用のビデオ会議システムでは大画面に高精細な映像やステレオ音声を用いて臨場感を高めている。また、これまでの多くの研究でも、臨場感に影響を与える情報の一部をより正確に伝えたり、もしくは誇張表示したりすることで支援を行ってきた。

しかし、本論文の提案方式は臨場感を直接的に高めるのとは異なるアプローチで支援している。通信に利用するメディア自体の臨場感を高めることで発話開始に適したタイミングに気づきやすくするのではなく、別のメディアを利用してタイミング情報を直接的に伝えている。つまり、対面環境により近づけるのではなく、対面環境にない方法でコミュニケーション支援を行っている。したがって、通信メディアの臨場感は向上しない。

表 5 の 1 行目にビデオ分析で相槌を数えた結果を示す。これは分散環境の実験で少人数側になった被験者のみの平均値である。対面環境では 1 分間で約 2 回も相槌を打っていた被験者が、分散環境では 1.5 分で 1 回程度とかなり減っている。また、同じ表 5 にアンケートによる主観評価の結果も示す。被験者の主観評価でも、対面なら自分の相槌がほとんど伝わるのに、分散環境になるとまったく伝わっていないと全員が回答している。今回の実験で利用した会議システムは大画面に高精細な映像を表示し、音声もきわめて明瞭に伝わる技術 [25] が用いられており、仮に 1 対 1 で相手の画面に注目していれば相槌も明確に伝わる。しかし、同室に他の参加者がおり、そこでの議論に集中していると、注目していないモニタに表示された相手の相槌には気づかないことが確認できた。

そのような分散コミュニケーションに提案方式で支援を行った際、表 5 の結果では、実際の相槌数でも主観評価でもほとんど改善がみられないことが分かる。これは、通信メディア自体の臨場感にはまったく変化がなく、参加者自身が支援の効果を実感できないことが理由と考える。それにもかかわらず、5.1 節の表 4 で示したように発話がしや

表 5 ノンバーバル情報の気付きに関する結果

Table 5 The results about awareness of non-verbal information.

回答者	アンケート項目など	対面	分散 支援無	分散 支援有
少人数側	平均相槌数	11.33	4.00	3.67
少人数側	相槌が伝わっていると感じた	4.13	1.00	1.75
少人数側	視線が伝わっていると感じた	4.13	1.25	1.50
少人数側	手振りが伝わっていると感じた	3.13	1.25	2.00
少人数側	注意を向けられている (自発話中)	3.88	1.75	2.50
少人数側	注意を向けられている (他発話中)	3.75	1.75	1.25
少人数側	注意を向けられている (自発話前)	4.00	1.25	2.00
少人数側	ノンバーバル情報が伝わっている	3.63	1.50	2.00
多数数側	少人数側の視線に気づいた	-	1.58	2.17
多数数側	少人数側の手振りに気づいた	-	1.75	2.25
多数数側	ノンバーバル情報が伝わっている	3.63	3.00	3.25

すくなったことは実感できており、また 4.3 節で述べたように、実際の発話数で見ても話者交替の支援が実現できている。

5.3 参加者の実在感

ノンバーバル情報が伝わりにくい少人数側参加者は同室にいる多数数側参加者から注意を向けられることが少なく、孤立感を感じやすい。表 6 に実在感に関するアンケート結果を示す。分散環境では同室での対面時とまったく異なり、少人数側参加者は自分が発話中であっても注意を向けられていないと感じている。しかも、多数数側だけで議論が進んでいることに関して少人数側と多数数側で認識の差があることも問題である。

文献 [23], [24] の研究は円滑な話者交替を支援するという意味で本研究と共通点が多いが、これらの研究では全員が対等に分散している Web 会議を支援対象としている。これに対して本研究では参加者の状況が対等でなく、上記のように実在感に欠ける少人数側のみが他者から注意を向けられていない状況を改善している。実在感に欠けていてかつ遅延がある状況では話者交替が変化して、発話の間を待つような礼儀正しい交替になることも知られている [20], [21]。そのため、本研究の想定状況では対面環境にいる多数数側では活発で自然な対話が行われているのに、少人数側だけが礼儀正しく発話せざるをえないために、話者交替がきわめて困難であったと考える。よって、本研究では少人数側参加者に関する話者交替が対面環境に近い方法で行われるように支援している。この場合は本研究の特徴である発話終了直前動作の伝達が特に重要である。全員が分散している場合には平等な遅延となって全員の話者交替方法が変化する [22] ために、このことは大きな問題ではないが、少人数側だけに遅延があると対面環境にいる参加者に先に発話を開始されてしまい、発話の機会を失う可能性が高いからである。また、対面環境の参加者が混在している場合、同室の参加者間では実世界における自然な対話を行ってい

表 6 実在感に関するアンケート結果

Table 6 The results of inquiries about connectedness.

回答者	アンケート項目	対面	分散 支援無	分散 支援有
少人数側	注意を向けられている (自発話中)	3.88	1.75	2.50
少人数側	注意を向けられている (他発話中)	3.75	1.75	1.25
少人数側	注意を向けられている (自発話前)	4.00	1.25	2.00
少人数側	他の参加者との距離を感じた	1.75	4.75	4.25
少人数側	多数数側だけで話が進むと感じた	-	4.75	3.75
多数数側	他の参加者との距離を感じた	1.75	2.83	2.50
多数数側	少人数側が話に入れないと感じた	-	4.17	3.42
多数数側	多数数側だけで話が進むと感じた	-	3.50	3.29

る。3.4 節の実験や後述の表 7 でも分かるように、自然な対話を妨げると参加者にストレスを与える。一方、ジェスチャの認識に基づく支援は 100% の正確さではない。したがって、提案方式では一般的な会話の音量 (60 dB) よりも小さな音 (50 dB 未満) を用いて弱いアウェアネス提供を行っている。

次に、支援を行った際のアンケート結果を見ると、注意が向けられていることを多少実感できるようになったが、対面環境に近いような大きな改善には至っていない。参加者間の距離の感じ方を見てもあまり改善はなかった。4.3 節で述べたように、実際には多く発話して議論への参加は対等に近いにもかかわらず、認識の差は縮まったが、対面環境に近い実在感の実感できていない。

一方、実際に注意がどの程度向けられているか確認するために、ビデオ分析によって多数数側参加者全員の視線の変化を調査した。多数数側の 3 人が同室の参加者からモニタ内の少人数側参加者へ視線を移動した合計回数は、支援のない分散環境では 3 回のみであった。すなわち、6 分間のセッション中に 1 人平均 1 回しか見ていないことになる。しかし、支援を行った結果、視線移動の合計回数は 26 回に向上した。各人がそれぞれ約 40 秒に 1 度見ていることになる。

すなわち、視線移動をもとに判断すると、両側参加者自身の感覚とは異なり、約 10 倍も注意が向けられていることが分かる。しかし、対話に使用している通信メディア自体の臨場感に変更はなく、モニタ内の相手拠点の映像だけでは視線の変化まで正確に伝わらないため、参加者が実在感として実感することができていない。

5.4 人間関係とアウェアネス支援の必要性

4 章で述べた実験は数人で行われる創造的会議を対象としており、また、各グループ内では互いの発話を尊重しつつ議論を進められるような、ある程度距離のある人間関係を想定した。大学の研究室や企業の部署などのグループは、親しい友人のコミュニティや趣味のサークルなどと異なり、本人の意思のみで加入・脱退するわけではない。本論文の提案方式では、このように近い関係ではあるがフォーマル

表 7 グループ別のアンケート結果
Table 7 The results of inquiries by group.

アンケート項目	支援	Gr.1	Gr.2	Gr.3
発話の切れ目が分からない	なし	1.5	4.5	3.5
議論中は話しくいと感じた	なし	3.0	4.5	4.0
議論中に意見をいえなかった	なし	2.0	3.5	3.0
発話したいときにすぐできない	なし	3.0	5.0	4.0
自分以外だけで話が進んだ	なし	2.0	5.0	4.5
音が議論の妨げになった	あり	4.5	2.5	2.0

コミュニケーションが行われる人間関係の集団内のグループコミュニケーションを支援することを目的としている。

しかし、今回の実験では、被験者のスケジュールの都合によって、4章で述べたとおり3つのグループのうちグループ1のみは4人とも互いに親しい友人のみで構成された。グループ2およびグループ3は、先輩と後輩、もしくは顔見知り程度の関係の被験者が混ざるように構成した。その結果、グループ1とグループ2、3では結果に大きな差が認められた。そのため、前節までの内容はすべてグループ2、3のみの実験から得られた結果である。

表4で述べた発話しにくさに関するアンケート結果を被験者のグループごとに示すと表7のようになる。グループ1の被験者は支援がない分散環境でも意見を述べる事ができていると感じており、孤立感も低い結果となった。親しい友人の場合には、会議システムの利用による話しくさがあるが、ノンバーバル情報があまり得られていなくても、議論ができている。

ブレインストーミングの様子を観察すると、グループ2、3では他の参加者の発話を尊重して聞いているのに対し、グループ1では他の参加者の発話中に意図的に発話を行う場面が多く観察された。すなわち、発話要求があるときには、衝突を避けるような発話開始に適したタイミングを待つことなく発話を開始している。そのため、このグループの被験者は発話開始のためにノンバーバル情報を必要とする機会が少なかったといえる。表7では、逆に支援がある場合にはその音が議論の妨げになっているとも感じている。また、親しい友人であるがゆえに、ノンバーバル情報が乏しくても他者の内面的情報が理解しやすいことも関係しているのではないかと推測している。

5.5 他の分散環境への応用

4章の評価実験では多人数側参加者が3人であるため、実際の会議では全員がモニタに対面する座席配置で少人数側参加者への気づき向上が可能である。しかし、多人数側参加者が増えると縦2列やコの字型などの座席配置が用いられる可能性があり、本実験で行ったようにモニタに対面しない参加者が増える。

本方式では聴覚によるアウェアネスを利用しているので、少人数側が2人の場合には2人の発話要求の判別が困難で

ある。しかし、同室でコプレゼンス状態の参加者と実在感に差のある参加者が映っているモニタに注意を向けさせることが重要であり、モニタ内の2人のどちらが発話し始めても影響はないと考える。ただし、拠点数が増えたり、非同室参加者が増えると、その中の誰に注目すべきか分からないため、支援効果が期待できない。全員が1人ずつ分散している環境がその極端な場合である。全員がテレプレゼンス状態であるため、その支援を必要としているが、格差を縮めることが目的の本方式による支援が行えない。

一方、少人数側が2-3人となると、それらのメイン会場から疎外されている参加者同士で内輪の会話を始める光景も著者らはよく体験する。これは、分散している2つの拠点のそれぞれで拠点内はコプレゼンス状態だが相手拠点に関してはテレプレゼンス状態であるために、発話のきっかけがつかみやすいサブグループ内だけでコミュニケーションが発生してしまう現象と考える。このように、2つの拠点が拮抗する人数で双方向に格差が生じている分散環境では本論文の実験のように片方向の支援ではなく、双方向に支援を行う。すなわち、どちらの拠点の参加者に関しても、発話要求動作発生時にその人と異なる拠点にのみアウェアネスを行い、また、発話終了直前動作に関してもその人と異なる拠点でアウェアネスを行う。このように双方向に支援を行うことで双方向のテレプレゼンスを補って、どちらの格差も縮めることが可能となる。

6. おわりに

本論文では、分散環境において多人数対少人数で行われる創造的会議で、少人数側参加者が発話開始するきっかけを支援するためのアウェアネス情報伝達方式を提案した。分散環境のグループコミュニケーションでその参加者のほとんどが同室で対面している場合には、豊富なノンバーバル情報が伝わる多人数側参加者のみで議論が進むことが多く、ノンバーバル情報が伝わりにくい少人数側の参加者は孤立感を感じやすい。従来は、表示装置の改善による高臨場感の提供や不足しているノンバーバル情報を拡張・誇張して伝達する方式が主であったが、本論文の提案方式では、対話に使用する通信メディアを改良してノンバーバル情報を増加させるのではなく、別メディアによって話者交替のタイミングを直接気づかせている。本方式に基づく環境でブレインストーミングの実験を行った結果、臨場感は向上していないにもかかわらず、話者交替時の発話衝突はほとんど発生しなくなり、発話数は2倍でアイデア数が2.7倍に向上した。少人数側と多人数側における参加者の格差を5倍以上から2倍未満まで縮めることができ、分散環境でも円滑なコミュニケーションを実現できることを示した。近年は、高品質のビデオ会議システムが各種商品化されており、大学や企業では活動の効率化のために分散環境下で複数人の会議を行う機会が増えている。高品質の映

像と音声でも臨場感や実在感が十分でなく円滑な会議が行えないことが課題であったが、現有設備をそのまま利用しても本方式によって別途話者交替の支援を付加することで会議の環境を改善することができ、組織のさらなる効率化に貢献できる。

しかし、本方式では参加者自身が臨場感や実在感の向上を実感できない。今後は、他の方式と組み合わせることで参加者へのフィードバックを行って、参加者の感覚的にも向上させる方式を検討する。

謝辞 本論文の執筆に際し、議論に参加していただき、様々なコメントをいただいた門脇千恵氏に深謝する。

参考文献

- [1] 松下 温, 岡田謙一 (編著): コラボレーションとコミュニケーション, 共立出版 (1995).
- [2] Sun, J. and Regenbrecht, H.: Implementing Three-Party Desktop Videoconferencing, *Proc. OZCHI'07*, pp.95-102, ACM (2007).
- [3] 坂内祐一: プレゼンス情報, 電子情報通信学会 知識ベース知識の森 S3 群-8 編-2 章 2-3 (2010).
- [4] 北中悠嗣, 敷田幹文: 多人数対少人数の遠隔会議におけるスポットライトを用いた視線代替手法の提案と評価, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-GN-78, No.15, pp.1-8 (2011).
- [5] 小峯隆宏, 勝本道哲, 丹 康雄: 遠隔会議でのアイコンタクト実現手法の提案と評価, 情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理研究会報告, Vol.DPS-122, pp.139-144 (2005).
- [6] 高橋 誠: 会議の進め方, 日本経済新聞社 (1987).
- [7] 喜多壮太郎: ひとはなぜジェスチャーをするのか 特集—ジェスチャーの認知科学招待論文, *Cognitive Studies*, Vol.7, No.1, pp.9-21 (2000).
- [8] W・フォン・ラフラー=エンゲル: ノンバーバルコミュニケーション, 大修館書店 (1981).
- [9] Duncan, J.S.: Some Signals and Rules for Taking Speaking Turns in Conversations, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.23, No.2, pp.283-292 (1972).
- [10] Bondareva, Y., Meesters, L. and Bouwhuis, D.: Eye Contact as a Determinant of Social Presence in Video Communication, *Proc. International Symposia on Human Factors in Telecommunication* (2006).
- [11] 磯 和之, 伊達宗和, 高田英明, 安藤康子, 松浦宣彦: 視線の向きを表現可能な 2 画面積層表示を用いたテレビ会議システムの提案, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.3, pp.1224-1233 (2011).
- [12] 福井健太郎, 喜多野美鈴, 岡田謙一: 仮想空間を使った多地点遠隔会議システム: e-MulCS, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.11, pp.3375-3384 (2002).
- [13] 敷田幹文: アウェアネス, 電子情報通信学会 知識ベース知識の森 S3 群-8 編-2 章 2-1 (2010).
- [14] 門脇千恵: 知的グループウェアによるナレッジマネジメント第 4 章アウェアネス支援を取り入れたグループウェア, 日科技連出版社 (2001).
- [15] Okada, K., Maeda, F., Ichikawa, Y. and Matsushita, Y.: Multiparty Videoconferencing at Virtual Social Distance: MAJIC Design, *Proc. CSCW '94*, ACM, pp.385-393 (1994).
- [16] Mukawa, N., Oka, T., Arai, K. and Yuasa, M.: What is Connected by Mutual Gaze?: User's Behavior in Video-mediated Communication, *CHI'05 Extended Abstracts*, pp.1677-1680, ACM (2005).
- [17] 富野 剛, 井上亮文, 市村 哲, 松下 温: 多人数参加型テレビ会議システムにおける発言者拡大映像の作成, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.7, pp.2091-2098 (2006).
- [18] Wiemann, J.M. and Knapp, M.L.: Turn-taking in Conversations, *Journal of Communication*, Vol.25, pp.75-92 (1975).
- [19] 山本 剛, 坂根 裕, 竹林洋一: マルチモーダルヘッドセットを用いたうなずき検出と会話の重要箇所把握, 情報処理学会ヒューマンコンピュータインタラクション研究報告, Vol.HI-105, pp.13-19 (2003).
- [20] O'Connell, B., Whittaker, S. and Wilbur, S.: Conversations over Video Conferences: An Evaluation of the Spoken Aspects of Video-mediated Communication, *Human-Computer Interaction*, Vol.8, No.4, pp.389-428 (1993).
- [21] Sellen, A.J.: Remote Conversations: The Effects of Mediating Talk with Technology, *Human-Computer Interaction*, Vol.10, No.4, pp.401-444 (1995).
- [22] Fischer, K. and Tenbrink, T.: Video conferencing in a transregional research cooperation: Turn-taking in a new medium, *Connecting Perspectives*, pp.89-104 (2003).
- [23] 玉木秀和, 東野 豪, 小林 稔, 井原雅行, 岡田謙一: 遠隔会議における発話衝突低減手法, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.7, pp.1797-1806 (2012).
- [24] 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).
- [25] Polycom, I.: HDX Series. available from <http://www.polycom.com/products-services/hd-telepresence-videoconferencing/realpresence-room/realpresence-room-hdx-series.html>.
- [26] 鍛沢 勇, 滝川 啓, 大久保榮, 渡辺義郎: 衛星通信を利用した画像会議におけるエコー及び伝搬遅延の影響, 電子通信学会論文誌, Vol.J64-B, No.11, pp.1281-1288 (1981).
- [27] 坂内祐一: 臨場感, 電子情報通信学会 知識ベース知識の森 S3 群-8 編-3 章 3-5 (2010).



敷田 幹文 (正会員)

1965 年生。1995 年東京工業大学大学院理工学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。博士 (工学)。同年北陸先端科学技術大学院大学情報科学センター助手。2012 年同大学情報社会基盤研究センター教授。大規模情報システム, グループウェアに関する研究に従事。ACM, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会各会員。



増田 雄亮

1989 年生。2013 年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。同年新日鉄住金ソリューションズ株式会社。グループウェア, コミュニケーション支援システムに関心を持つ。