

博士論文

視覚フィードバック提示による  
遠隔インフォーマルコミュニケーション支援

木村 篤信

2007年 8月 23日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報処理学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
博士(工学)授与の要件として提出した博士論文である。

木村 篤信

審査委員：

千原 國宏 教授 (主指導教員)

横矢 直和 教授 (副指導教員)

眞鍋 佳嗣 准教授 (副指導教員)

# 視覚フィードバック提示による 遠隔インフォーマルコミュニケーション支援\*

木村 篤信

## 内容梗概

近年、SOHO や在宅勤務などのテレワークという勤務形態の増加により、遠隔地にいる同僚とコミュニケーションを行いたいというニーズが高まっている。その中でも、話題やタイミング、場所、参加者などが未定であるインフォーマルコミュニケーションが重要である。そこで、本研究では遠隔インフォーマルコミュニケーションの支援を目指した。

第1章では、遠隔インフォーマルコミュニケーション支援が必要とされる背景と、その支援を実現するための研究方針について述べた。

第2章では、インフォーマルコミュニケーション支援に関連する研究について概観し、本研究で取り組む領域を明らかにした。

第3章では、遠隔インフォーマルコミュニケーションでの呼びかけや会話において、発話者や受話者がストレスを感じるという課題を解決するために、発話者が受話者の状態に応じて適切な呼びかけや会話ができるシステム要件を整理した。その要件を元に、受話者の聞く音量を発話者にフィードバックする視覚フィードバック提示手法を提案し、発話者の適切な発話音量制御を支援するシステムの実装例を述べた。

第4章では、実験によって、映像音声通信システムのディスプレイ上に視覚フィードバックを提示するシステムが、発話音量制御のための機能を備えているかを検証した。その結果、視覚フィードバックが、遠隔インフォーマルコミュニ

---

\*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報処理学専攻 博士論文, NAIST-IS-DD0661205, 2007年8月23日.

ケーションの促進において重要である発話者の発話音量制御を支援できることを確認した。

第5章では、視覚フィードバックの基本的な機能の検証で得られた課題に基づき、遠隔インフォーマルコミュニケーションを効果的に支援するための要素を検討した。発話者が視覚フィードバックと受話者の位置関係を直感的に把握しにくい問題と、配慮の欠けている発話者の発話が受話者にストレスを与える問題を解決するために、発話者と受話者が視覚フィードバックを有効に利用できるシステム要件を整理した。その要件に基づいて視覚フィードバックを床面に提示するシステムを実装し、検証実験によって問題解決に対する効果を確認した。

さらに、遠隔インフォーマルコミュニケーションの利用シーンを考慮し、設置環境の制約を取り除くシステム形態の検討を行い、視覚フィードバックをLEDデバイスによって表現するシステムを構築した。実験を通じて提案システムの発話音量制御機能を検証したことにより、提案システムが実用的な遠隔インフォーマルコミュニケーションに効果的である可能性を確認した。

## キーワード

遠隔インフォーマルコミュニケーション，遠隔コミュニケーション，  
インフォーマルコミュニケーション，視覚フィードバック，発話音量制御

# Remote Informal Communication

## Supported by Visual Feedback Display\*

Atsunobu Kimura

### Abstract

In recent years, telework has become more accepted by companies and pushed forward by the government. Many teleworkers have the desire to communicate with their remote colleagues like they would during face-to-face communication but existing telecommunication systems do not fully support this natural, informal way of communication. Informal communication, defined as an accidental communication style with unplanned partners and topics, affects important decision making, sharing information in daily life and maintaining human social networks. This research aims to support remote informal communication.

Chapter 1 provides background to why support for remote informal communication is necessary and then describes the research directions taken to realize this support.

In Chapter 2, related works on informal communication support are overviewed to clarify the scope of this research.

Chapter 3 documents a solution to diminish stress and discomfort felt on initiation of or during informal communication. System requirements for a caller to appropriately call or make conversation according to a receiver's status are drawn up. Based on these system requirements, we propose a method to provide

---

\*Doctoral Dissertation, Department of Information Processing, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD0661205, August 23, 2007.

visual feedback of the caller's voice volume as heard by the receiver and detail the implementation of a system to support the caller in controlling their voice volume.

In Chapter 4 we report experiments conducted to verify that the proposed method of visual feedback provides the caller with necessary faculty to control their voice volume in a remote informal communication scenario. We confirm that presenting the visual feedback on the caller's screen supports the caller in controlling their voice volume.

Grounded in understanding of the basic facilities of visual feedback, Chapter 5 discusses the necessary elements for appropriately supporting remote informal communication. To solve the problem of the difficulty for a caller to grasp a receiver's position relative to visual feedback superimposed on the screen, as well as the problem of a receiver feeling stress due to a caller's lack of consideration for their situation, requirements for the caller and the receiver to effectively use visual feedback are presented. Taking these requirements into consideration, we implement a system to display visual feedback on the floor of the receiver's room and confirm its effectiveness in solving the above problems through an experiment.

Furthermore, taking into account the various settings for remote information communication and considering the need for an easily installable system, we constructed a system for presenting visual feedback with an integrated LED and microphone device. Through experiments to verify its capability in supporting the caller's voice volume control, the potential for the integrated LED and microphone device to support remote informal communication are confirmed.

**Keywords:**

Remote informal communication, telecommunication, informal communication, visual feedback, voice volume control

# 目次

1	序論	1
1.1	遠隔インフォーマルコミュニケーション支援	2
1.2	本論文の構成	3
2	インフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究	5
2.1	インフォーマルコミュニケーション	5
2.2	対面でのインフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究	8
2.2.1	話題提供支援	9
2.2.2	コミュニケーション生起支援	10
2.2.3	アウェアネス強化支援	11
2.2.4	対面での先行研究の特徴	11
2.3	仮想空間でのインフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究	12
2.3.1	メタバースに関連する研究例	12
2.3.2	仮想空間での先行研究の特徴	13
2.4	遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究	13
2.4.1	遠隔コミュニケーション支援研究からの流れ	13
2.4.2	アウェアネス支援	14
2.4.3	発話音量制御支援	16
2.5	本研究の想定する遠隔インフォーマルコミュニケーション支援	17
3	遠隔インフォーマルコミュニケーション支援のシステム要件	21
3.1	本研究の目的	21

## 目次

---

3.2	インフォーマルコミュニケーションにおける発声モデル . . . . .	22
3.3	発声モデルに基づく遠隔インフォーマルコミュニケーション不成立の原因 . . . . .	26
3.3.1	状況観察フェーズ・反応観察フェーズ欠落による問題 . . . . .	27
3.3.2	刺激発信フェーズ欠落による問題 . . . . .	27
3.3.3	遠隔インフォーマルコミュニケーション不成立の原因 . . . . .	28
3.4	遠隔インフォーマルコミュニケーション支援のアプローチ . . . . .	29
3.4.1	3つのフェーズを支援するためのシステム要件 . . . . .	29
3.4.2	フィードバック情報を提示するためのシステム要件 . . . . .	31
3.4.3	支援システムの実装例 . . . . .	33
<b>4</b>	<b>視覚フィードバック提示による発話支援機能</b>	<b>39</b>
4.1	発話音量制御機能の検証 . . . . .	39
4.1.1	単語発話を用いた実験 . . . . .	41
4.1.2	単語発話における効果検証 . . . . .	44
4.1.3	会話発話の開始部分における実験 . . . . .	47
4.1.4	会話発話の開始部分における効果検証 . . . . .	48
4.1.5	会話発話を用いた実験 . . . . .	50
4.1.6	会話発話における効果検証 . . . . .	51
4.1.7	発話者に対する心理的効果検証 . . . . .	52
4.2	発話における配慮行動促進機能の検証 . . . . .	56
4.2.1	第3者を含む環境における実験 . . . . .	56
4.2.2	第3者に対する効果検証 . . . . .	58
4.3	考察 . . . . .	60
<b>5</b>	<b>遠隔インフォーマルコミュニケーション支援に向けた機能拡張</b>	<b>63</b>
5.1	視覚フィードバック拡張機能の検証 . . . . .	63
5.1.1	視覚フィードバック提示箇所検討実験 . . . . .	66
5.1.2	発話者に対する効果検証 . . . . .	68
5.1.3	受話者に対する効果検証 . . . . .	72

---

5.2	視覚フィードバック実装形態の検証 . . . . .	73
5.2.1	LED マイク一体型システム . . . . .	73
5.2.2	実利用シーンを考慮した環境における実験 . . . . .	75
5.2.3	単語発話における発話音量制御機能の効果検証 . . . . .	78
5.2.4	会話発話における発話音量制御機能の効果検証 . . . . .	79
5.3	考察 . . . . .	81
6	遠隔インフォーマルコミュニケーション支援システムの考察	83
6.1	実利用に向けた検討 . . . . .	83
6.2	視覚フィードバック提示の効率化 . . . . .	85
6.3	視覚フィードバック提示と他の技術との連携 . . . . .	87
6.4	視覚フィードバック提示の音声通信への適用 . . . . .	87
7	結論	89
	謝辞	93
	参考文献	97
	研究業績	103



## 目 次

2.1	フォーマルコミュニケーションと(左)とインフォーマルコミュニケーション(右) . . . . .	6
2.2	従来のインフォーマルコミュニケーション支援研究と本研究の想定する遠隔インフォーマルコミュニケーション支援 . . . . .	18
3.1	聴覚に着目した発声モデル: Speech Chain . . . . .	23
3.2	聴覚と視覚に着目した会話における発声モデル . . . . .	24
3.3	インフォーマルコミュニケーションにおける発声モデルの重要なフェーズ . . . . .	25
3.4	支援システムの構成 . . . . .	34
3.5	波紋型の視覚エフェクトの表示例(左:左側にいる受話者に声が十分に届いていない場合,右:左側にいる受話者に声が十分に届いている場合) . . . . .	34
3.6	受話者側(左)と発話者側(右)のシステム利用風景 . . . . .	35
4.1	単語発話を用いた実験でのシステム構成 . . . . .	41
4.2	発話者側(左)と受話者側(右)の実験環境 . . . . .	42
4.3	発話者 A の発話音量(左:入力メータ,右:提案手法) . . . . .	44
4.4	発話者 B の発話音量(左:入力メータ,右:提案手法) . . . . .	45
4.5	発話者 A 発話時の受話者 1, 2 による聞き取り数(左:入力メータ,右:提案手法) . . . . .	45
4.6	会話発話の開始部分における実験でのシステム構成 . . . . .	47
4.7	受話者が反応するまでの発話回数の平均と標準偏差(左:配慮状況,中央:[拡声条件,急用状況],右:[抑声条件,急用状況]) . . . . .	49

## 目次

---

4.8	会話における提案手法の有無による発話音量の平均 (dB) と標準偏差	51
4.9	第3者を含む環境における実験でのシステム構成	57
4.10	各受話者条件における各平均発話音量 (dB)	59
4.11	受話対面・第3者提案条件における発話番号順の発話音量の推移 (dB)	59
5.1	床面に投影される視覚フィードバック:受話者側の実験システム	65
5.2	視覚フィードバック提示箇所検討実験でのシステム構成	66
5.3	発話者側の実験システム	67
5.4	床面提示システムと画面提示システムの平均発話音量の差分値に対する平均と標準偏差	68
5.5	抑声条件における典型的な発話者 A, B の発話音量の推移	70
5.6	拡声条件における典型的な発話者の発話音量の推移	71
5.7	LED マイク一体型システム (左:システム概観, 右:システム設置例)	74
5.8	実利用シーンを考慮した環境における実験システム構成	76
5.9	発話者側から見た実験風景	76
5.10	アンケート回答における視覚フィードバックの効果 (左:抑声条件, 右:拡声条件)	80

# 表 目 次

4.1	実験で用いた単語の例 . . . . .	43
4.2	各条件における両側検定 . . . . .	51
4.3	受話者状態と第3者状態の組み合わせによる全実験条件のパターン	57
5.1	各条件における画面提示システムと床面提示システムの平均発話 音量の差分値に対する両側検定 . . . . .	69
5.2	単語発話実験の各条件における両側検定 . . . . .	78
5.3	会話発話実験の各条件における両側検定 . . . . .	79



# 第1章

## 序論

人のコミュニケーション手段は、アレクサンダー・グラハム・ベルが1876年に電話機を発明して以来、急速に変化し続けている。その中でも、インターネットは人のコミュニケーション手段を含む生活スタイルに大きな変化を与えており、今後もさらにコミュニケーション手段を大きく変える可能性を持っている。

生活スタイルの大きな変化としては、インターネットによって人は外に出なくても今までと同等の行動の結果を得ることができるようになったことが挙げられる。情報が必要なときは、Google [1] や Goo [2] などの検索ポータルサイトに文字を入力することで、現場や図書館にある情報や一般人が発信する情報を取得できる。品物が必要なときは、AMAZON [3] や楽天 [4] などの大手オンラインショップや、小売店のホームページでのオンライン販売を利用することで、品物を購入できる。仕事をするときには、テレビ会議システムや社外で安全にデータ共有することができるVPNサービスを利用することで、自宅で会社の同僚と会議や資料の共有を行うことができる。特に、在宅勤務やサテライトオフィス、SOHOと呼ばれるテレワークの環境は、企業の業務形態の変化や政府の推奨体制 [5] によって、整備されてきている。さらに、コミュニケーションをするときには、テレビ電話やSecond Life [6] に代表されるオンライン仮想空間を利用することで、遠く離れた場所にいるときでも今まで対面で行っていたコミュニケーションができるようになってきている。

遠隔地間でのコミュニケーションサービスの現状を見ると、テレビ会議システムなどを筆頭に、議題や時間などをあらかじめ決めて会議室で行われるフォーマ

ルコミュニケーションを支援するサービスがほとんどである。これらのサービスは、企業での業務や一般人の遠隔地間のコミュニケーションの手段として広がりつつある。一方で、話題、タイミング、場所や参加者などが未定であるインフォーマルコミュニケーションは、廊下での立ち話やデスク周辺での会話において会議で行われる重要な決定の下準備が事前に行われるなど、その重要性が知られている。しかし、現在、遠隔地間のインフォーマルコミュニケーションを支援するためのサービスは提供されていない。加えて、普及しているフォーマルコミュニケーションシステムをインフォーマルコミュニケーション支援に適用する場合、人が遠隔にいる相手と話すときに心理的な壁を感じるため、インフォーマルコミュニケーション支援システムとして活用することは難しい。しかし、その心理的な壁を取り除くことができれば、人は遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーションをコミュニケーション手段の1つとして利用でき、対面でなくても自然なインフォーマルコミュニケーションを行いたいという欲求を満足させることができる。

本研究ではこの点に着目し、映像や音声の品質向上やフォーマルコミュニケーション支援システムとは異なる観点から、遠隔地間のインフォーマルコミュニケーションの支援方法を検討し、発話者と受話者がストレスなく遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーションを行えるシステムについて研究を行った。本論文では、会話を始めるときに先に声を出して話しかける人を発話者と呼び、発話者の呼びかけを受けて会話に参加する人を受話者と呼ぶ。

本章では、以後、本研究の背景となる先行研究とそれに対する本研究の方針について述べ、最後に本論文の構成を示す。

### 1.1 遠隔インフォーマルコミュニケーション支援

遠隔インフォーマルコミュニケーション支援とは、遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーションを支援することを意味する。本研究では、対面で行われているインフォーマルコミュニケーションを遠隔地間でも実現することを目指している。

対面でのコミュニケーションを遠隔地間でも実現することを目指した遠隔コミュ

コミュニケーションの研究には大きく2つのアプローチがある。1つは映像音声通信システムで利用する映像音声データの高品質化である。高精細な映像を流すことによって対面で人が知覚している刺激と類似した視覚刺激や聴覚刺激を与え、対面と同じようなコミュニケーション環境を実現するアプローチである。しかし、このアプローチでは、高品質な情報通信によってフォーマルコミュニケーションとしての利用満足度は上がるが、対面コミュニケーションでやり取りしている映像や音声以外の情報を伝えることができず、対面コミュニケーションと同じように自然なインフォーマルコミュニケーションを支援することは難しい。

もう1つのアプローチとして、映像音声通信システムで提供されていなかった情報の伝達を支援する検討が行われている。触覚、嗅覚、味覚情報や、対面コミュニケーションで感じる相手の雰囲気などの感覚的な情報が伝達の対象である。その中でもコミュニケーションを行うにあたって重要な「自分の周辺で誰が誰と話し、誰が発話者や受話者の周辺にいるか、また彼らはどのような行為をしているか」を表す情報として定義されるアウェアネス(2.4.1, 2.4.2節に詳述する)をいかに遠隔地間で共有するか、ということに着目して多くの研究が行われている。

アウェアネスは、遠隔コミュニケーションを開始する前に互いの情報を提供することでコミュニケーションが成立する可能性を高める効果やコミュニケーションを円滑に開始する効果を提供してきた。しかし、インフォーマルコミュニケーションの会話のモデルを考慮した場合、アウェアネスによって会話が始まる前の状況を伝え合うだけでなく、その情報を得た後の適切な会話の開始や会話を支援することが重要である。そこで本稿では、アウェアネスだけでなくその情報を得た後の適切な会話の開始や会話を支援することに着目して、遠隔インフォーマルコミュニケーション支援の検討を行った。

## 1.2 本論文の構成

本論文は本章を含め7章構成である。第2章では、インフォーマルコミュニケーション支援に関連する研究について概観し、本研究で取り組む領域を明らかにする。第3章では、本研究での目的を整理し、解決すべき問題、提案するアプロー

チ, システム要件や実装例について詳述する. 第4章では, 遠隔インフォーマルコミュニケーションの促進に重要である, 適切な発話音量制御のための機能を, 提案する視覚フィードバックが備えているかを実験によって検証する. 第5章では, 視覚フィードバックの基本的な機能の検証で得られた課題に基づき, 遠隔インフォーマルコミュニケーションを効果的に支援するための要素を追加するために, 視覚フィードバック提示箇所, および, 遠隔インフォーマルコミュニケーションの実利用シーンを考慮した実装形態に関して検討を行う. 最後に第6章にて遠隔インフォーマルコミュニケーション支援システムに関して考察し, 第7章で結論として本研究の総括及び将来的展望を述べる.

## 第2章

# インフォーマルコミュニケーション 支援に関する先行研究

本章では、まずインフォーマルコミュニケーションの定義と特徴について述べる。次にインフォーマルコミュニケーション支援に関連する先行研究について紹介し、それぞれの研究が支援する対象領域について論じる。また、先行研究の対象領域と、次章以降で述べる本論文で想定する遠隔インフォーマルコミュニケーション支援の対象領域を、表にまとめて比較する。

### 2.1 インフォーマルコミュニケーション

近年、テレビ会議システムを含めた映像・音声通信サービスの市場は大きくなり、特にビジネスや教育の分野での需要が増大している [7]。これらのシステムが主に支援するコミュニケーションの形態は、あらかじめスケジュールや議題、参加者が既知であるフォーマルコミュニケーションである (図 2.1 左) [8]。フォーマルコミュニケーションは目的もはっきりしているためにシステムが支援すべき対象がわかりやすく、会議のアウトプットに対する効果が把握しやすいという側面があるため、従来、遠隔会議支援や共同作業支援 (Computer Supported Cooperative Work(CSCW)) の分野で盛んに研究が行われてきた。

一方で、廊下での立ち話でプロジェクトの重要な決定が行われることや、デスク周辺での会話から良いアイデアが生まれること、日常の業務に影響を与える人間関係の構築が休憩室で行われることは多い。これらのコミュニケーション形態

は、スケジュールや議題、参加者が未知であるため、フォーマルコミュニケーションに対してインフォーマルコミュニケーションと呼ばれる(図2.1右) [8], [9], [10]. インフォーマルコミュニケーションの特徴は、話題、タイミング、場所や参加者などが偶発性を持つことである。「重要な情報のやりとりは、会議室の外で交わされる非公式なおしゃべりによって行われており、それによって実際の決定がなされている」ことを指摘している論文 [11] からわかるように、多くの研究者が遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーションの重要性を認識している [12]. その認識を元に MediaSpaces [13], [14] などの遠隔インフォーマルコミュニケーションシステムが提案されているが、実用化されているものはまだない.

テレビ電話やテレビ会議システムなどの、遠隔フォーマルコミュニケーションを支援するサービスは、市場が大きく充実しているため、遠隔フォーマルコミュニケーション支援システムを遠隔インフォーマルコミュニケーション支援に適用する発想もある. しかし、フォーマルコミュニケーションとインフォーマルコミュニケーションではそれぞれの形態の特性が大きく異なるために、インフォーマルコミュニケーション支援に必要なシステム要件とフォーマルコミュニケーション



図 2.1 フォーマルコミュニケーションと(左)とインフォーマルコミュニケーション(右)

支援のシステム要件は一致していない。

システム要件の違いを明確にするために、フォーマルコミュニケーションとインフォーマルコミュニケーションの特性の違いを2つの側面に着目して考える。1つは、フォーマルコミュニケーションでは時間や場所があらかじめ決まっているために、参加者同士のコミュニケーションが成立するまでの過程を支援する必要がない点である。それに対してインフォーマルコミュニケーションでは時間や場所が決まっていないため、インフォーマルコミュニケーションの成立を支援するシステム要件として、コミュニケーション行為に要する労力や作業、心理的抵抗感などを減らすことで、行為を行う敷居を下げるといった機能が重要になる。その機能は従来のフォーマルコミュニケーション支援システムでは提供されてこなかった。もう1つの側面は、フォーマルコミュニケーションでは議題や参加者があらかじめ決められているため、会議の目的も明確であり、参加者が目的意識を共有していることが想定できる点である。その結果、事前に最善の準備を許容する機能や参加者の高いモチベーションを前提とした支援機能がシステム要件として重視され、コミュニケーション中の発話者や受話者の快適さは目的達成に直結しないために軽視される傾向がある。しかし、インフォーマルコミュニケーションでは、事前の準備をするための時間はなく、逆に参加者のコミュニケーションに対するモチベーションを上げることや、参加者に快適なコミュニケーション環境を提供することが重要なシステム要件となる。このようにインフォーマルコミュニケーション支援システムの要件はフォーマルコミュニケーション支援システムと異なるため、遠隔フォーマルコミュニケーションシステムによって遠隔インフォーマルコミュニケーションを適切に支援することは難しい。

システム要件検討の観点からインフォーマルコミュニケーションを考えた場合、インフォーマルコミュニケーションは、次の2つの開始パターンに分けることができる。1つは、時間や場所を予定していないが、相手に呼びかけて話をしようと思ひ、意図して相手に呼びかける場合である。これを“意図のあるインフォーマルコミュニケーション”と呼ぶ。もう1つは、会話に参加する両者とも特に話をしようと思っていなかったが、その場で偶然に出会ったことによって挨拶などから会話が始まる場合である。これを“偶然のインフォーマルコミュニケーション”と呼ぶ。

ン”と呼ぶ。意図のあるインフォーマルコミュニケーションでは、発話者の話す相手である受話者も話す目的も決まっているので、支援するためのシステム要件は、発話者と受話者にストレスを感じさせないことが重要である。これは遠隔インフォーマルコミュニケーション支援の研究の主なフォーカスである。一方で偶然のインフォーマルコミュニケーションを支援するためのシステム要件としては、意図のあるインフォーマルコミュニケーションと同じく、話しかける際に両者にストレスを与えないことが重要であるとともに、偶然の出会いを生み出す会話のきっかけをお膳立てすることも重要である。この後者の要件は、対面インフォーマルコミュニケーション支援の研究の主なフォーカスである。

本章の以下の節では、まず対面でのインフォーマルコミュニケーション支援の先行研究を紹介し、次に遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーションの中でも特殊な、仮想空間でのインフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究を紹介する。最後に、実空間で行われる遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーション支援における先行研究を紹介し、本論文で想定する遠隔インフォーマルコミュニケーション支援の対象領域について述べる。

### 2.2 対面でのインフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究

インフォーマルコミュニケーションと一般的に呼ばれるのは、対面コミュニケーションにおけるインフォーマルコミュニケーションである。対面でのインフォーマルコミュニケーションを支援する研究は、インフォーマルコミュニケーションが日常のコミュニケーションにおいて重要な役割を担っていることに着目し、それをより活性化させることを目指している。これらの取り組みでは、人が適切なコミュニケーションスキルを持っていることを前提としており、偶然の出会いを生み出す会話のきっかけを適切に支援することで適切な対面インフォーマルコミュニケーションが行われるとみなしている。つまり、偶然のインフォーマルコミュニケーションに主なフォーカスがある。

### 2.2.1 話題提供支援

偶然のインフォーマルコミュニケーションにおける話題や参加者が不確定な状況でも参加者がストレスを感じないように支援するために、偶然でありながらもコミュニケーションが成立しやすい話題を提供することや、共通の話題を持つ参加者を引き合わせることに着目している先行研究として次のものがある。

インタレスト・コンシェルジェ[15]は、エレベータホールに居合わせた人々に対して、それぞれのプロフィール情報を参照することで発見される共通の話題を提供することで、会話を誘発するシステムである。これは、会話の話題を提供するために、エレベータホールというインフォーマルコミュニケーションが起きやすい空間において、偶然出会った人同士の共通の話題を提示する基本的なアプローチである。また、Silhouettell [16]は共通の話題を Web 上から選定し、大型ディスプレイに提示することによってユーザが容易に会話を始めることができる仕組みを提供している。これによって、初めて出会う人々が集まる場所で、それぞれの知っていることをきっかけとしてインフォーマルコミュニケーションが起こることを目指す。

HuNeAS [17]は、インフォーマルコミュニケーションが起きやすい場所に、自分が求めている情報を周囲の人に対して提示することによって、インフォーマルコミュニケーションの活性化と、その結果としての情報共有の効率化を目指したシステムである。このシステムは、各自の質問や求める情報を共有空間であるリフレッシュスペースに設置された大型ディスプレイに提示することで、そのディスプレイの周囲を通る人がディスプレイを見たときに、その場にいる人が求めている情報を知ることが支援する。これによって、求めている情報に対する答えやコメントを持つユーザは、情報を求めているユーザに対する話題を得ることになり、ユーザ間のインフォーマルコミュニケーションが促進されることに繋がる。Attractiblog [18]は、HuNeAS と同じく情報共有を支援するシステムであるが、Blog から各自の求める情報を抽出することを特徴としており、ユーザの主体的な情報入力を必要としないシステムである。これによって、日ごろの Blog に書いている内容に基づいて自動的に会話のきっかけとなる情報を提供できる。

これらの話題を提供する検討では、提供する話題によって会話が制限を受けて

しまい、本来の自然なインフォーマルコミュニケーションの形態を崩しかねないという問題がある。その観点から、サイバー囲炉裏 [19] は、強制的に会話に対して話題を提供することを避け、“なぜだかわからないが会話が続く、盛り上がる”といった知的触発を与えるシステムを提供している。ユーザがその場に居心地よくいることができることを目指し、その場に行く理由やその場にいるための理由として、触れたり注視したりするものを休憩室などの共有空間に設置することで、人が集まり、インフォーマルコミュニケーションが促進される場を提供している。

### 2.2.2 コミュニケーション生起支援

また、偶然のインフォーマルコミュニケーションにおいてはコミュニケーションが生起する場所やタイミングも不確定であるため、参加者同士が漠然とインフォーマルコミュニケーションに対するモチベーションを持っていたとしても生起することが少ない。これを改善しインフォーマルコミュニケーションを促進するために、コミュニケーションが生起する可能性の高い場所やタイミングを共有することに着目している先行研究として次のものがある。

AwareHome プロジェクト [20] は、家庭内の日用品によって生活者を支援するプロジェクトである。その1つである Meeting Pot [21] は、分離された各部屋にコーヒーアロマ発生器を設置し、談話室でコーヒーが作られるとその情報を匂いとして各部屋にいるユーザに発信することで、談話室に集まることを促す。

Travering cafe [22] は、人の移動とともにコミュニケーションが生起する場所の動的な遷移を提示することによって、MeetingPot のように一定の場所でのコミュニケーションの生起を支援するのではなく、各個人のデスク周辺をコミュニケーションが起こりうる場所の候補として扱い、周囲の人を巻き込んだインフォーマルコミュニケーションを支援することを目的としている。具体的には、コミュニケーションに参加しうるユーザの位置情報や長時間コップが空であるので休憩時間が近いというユーザの状況情報を推定してユーザに提示することによって、コミュニケーションが生起する確率の高い場所やタイミングをユーザに提示する。

### 2.2.3 アウェアネス強化支援

一方で、意図のあるインフォーマルコミュニケーションにおいては、話題や参加者は決まっているので、適切なタイミングでインフォーマルコミュニケーションを行うために、相手のアウェアネスを把握することが重要である。

対面コミュニケーション支援は、支援がなくても基本的に発話者の能力によってアウェアネスの把握が可能であるという前提で検討されているものが多い。しかしその中でも、2.4.1, 2.4.2 節に述べる遠隔コミュニケーション支援でのアウェアネスの影響を受けて、対面コミュニケーション支援においても、より簡易で詳細にアウェアネスを把握することが重要だと考え、アウェアネス強化支援を行う先行研究が出てきた。

MediaCup [23] は、マグカップにセンサを組み込み、そのマグカップの傾き具合や飲み物の温度をセンシングすることにより、在席中や会議中などの個人の作業状態を提示する。この MediaCup のようなセンサを利用して互いのアウェアネスを把握することで、インフォーマルコミュニケーションの生起率が高くなる。

### 2.2.4 対面での先行研究の特徴

このように対面のインフォーマルコミュニケーション支援では、主に偶然のインフォーマルコミュニケーションに着目して、話題やタイミング、場所、参加者に関して、適切なお膳立てや情報提示を支援している。これらの支援は、適切な話題やタイミング、場所、参加者が設定されれば、その後はそれぞれの人の持つコミュニケーションスキルによって会話が活性化されるという前提のもとに成り立っている。実際に対面コミュニケーションにおいてはその前提は正しく、それぞれの効果が検証されている。一方、遠隔インフォーマルコミュニケーションではこの前提が成り立たないため、単純にこれらの研究成果を遠隔インフォーマルコミュニケーション支援に適用することはできない。

## 2.3 仮想空間でのインフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究

遠隔インフォーマルコミュニケーションの中でも、特殊な支援形態として仮想空間でのインフォーマルコミュニケーションがある。実空間ではなく仮想空間において実世界のコミュニケーション環境を再現、もしくは、擬似を目的とした研究である。仮想空間という言葉は現実にはない空間すべてを指すが、ここではインフォーマルコミュニケーションに主眼を置いている研究例として、バーチャルリアリティのような感覚にフィードバックする機能がある研究ではなく、メタバース (Metaverse) [24] のような、アバターと呼ばれる自分の分身を介して仮想空間内を歩いたり他の利用者とコミュニケーションをとることができる、インターネット上に存在する3次元空間を取り上げる。パソコンの前に座り仮想空間の環境にマウス・キーボード等を用いて入り込む必要があるが、実世界のコミュニケーションそのものを目指しているため、偶然のインフォーマルコミュニケーションも意図のあるインフォーマルコミュニケーションも支援対象となっている。

### 2.3.1 メタバースに関連する研究例

仮想空間で会話を含めた生活行為ができることを目指した InterSpace [25] では、発話音声ではないが、現実世界での呼びかけが近寄った場合に聞こえるという単純なメタファを利用し、距離に応じて入力したチャットが提示される方式を取り入れている。現在、多くのインターネットユーザの注目を浴びている SecondLife [6] やオンラインゲームでは、これと同様の文字入力によるチャット方式が主流である。

また、インフォーマルコミュニケーションにおいて重要なコミュニケーションをしていない状態から呼びかけを行ってコミュニケーション状態へ遷移する状況を支援するために、現実世界で近寄ってから話しかけるという人間の自然な呼びかけ行為における距離感のメタファを仮想空間内に取り入れたシステム [26] もある。仮想空間内での距離感に加えて実世界の空間構造を正確に模擬して音声を制御することで、発話者が会話しやすいように支援するシステムとしては、Voiscap [27]

## 2.4. 遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究

や MASSIVE [28] を始めとし、幾つかの検討が行われている [29], [30]。これらのシステムでは、人間が実空間で音響情報を空間的に知覚できるという聴覚能力を生かして、ユーザが仮想空間内の 3 次元音響を知覚することで、他のユーザと実世界と同様に自然に会話することを支援している。

### 2.3.2 仮想空間での先行研究の特徴

実空間の音伝播を完全に再現できれば、遠隔地間でもコミュニケーションをしやすい環境が構築できるが、これらの研究は仮想空間という音響的に理想的な環境下を前提としており、本研究で想定している実世界での環境では、ノイズや音伝播の歪みなどの実世界の音響環境との関係により、音響的に複雑であるため実現は難しい。また、パソコン等のシステムに縛られた状態で利用する前提であるこの技術をそのまま利用するのは、日常生活での自然なインフォーマルコミュニケーションの支援には向かない。

## 2.4 遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究

次に、遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーション支援に関連する研究を紹介する。

### 2.4.1 遠隔コミュニケーション支援研究からの流れ

1980 年代後半より映像通信によるコミュニケーションの研究が盛んに行われた。多くは遠隔会議支援や共同作業支援 (CSCW) を目的とした研究であったが、MediaSpace [13], [14], IIF [31] のように遠隔インフォーマルコミュニケーション支援を目的とした研究もあった。その中の 1 つである VideoWindow の検討によって、Fishらは映像音声処理技術や通信技術の発展だけでは乗り越えられない壁があることを示した [32]。この検討では、高品質な映像音声通信システムを研究所

の休憩所に設置し、インフォーマルコミュニケーションが行われる様子を観察した。これにより、対面インフォーマルコミュニケーションの生起率が41%であるのに対して、VideoWindowを介する遠隔インフォーマルコミュニケーションの生起率が17%であり、非常に低いことが観察された。これはシステムを介することによる“壁”が問題であると述べられている。この“壁”の存在にはさまざまな原因があると考えられ、取り除くために研究が進められた。

遠隔コミュニケーションに関する検討の中で、映像音声通信システムを利用した研究者たちは、日常的に無意識に得ていた情報が欠落している世界を体験した。人は日頃からさまざまな情報を知覚しながら生活をしており、その中の一部に、“周りに他の人がいるのかいないのか”、“人がいるならば、話をしているのか”、“話は電話越しでしているのか、対面でしているのか”、“話を誰としているのか”、あるいは“集中して本を読んでいるのか”、“寝ているのか”、という自分とその周囲の人に関わる情報がある。これらの情報は意識的に知覚する場合もあるが、大抵の場合は無意識に知覚している。これらの情報は他の人と共に生活をする場合に、非常に重要な情報となっている。例えば、これらの情報を取得できない空間を想像した場合、誰かに話しかけようとするたびにその人が今いるのかどうか、話しに応じることができるかどうかを確認しなければならないだろう。研究者たちは、これらの情報が欠落しているコミュニケーションであることに気づき、その結果、映像や音声を送受信しあうだけでは伝わらない情報を補うシステムの研究を行った。Dourishらはこれらの情報をアウェアネス「自分の活動や状況に関わる他人の活動や状況を示すもの」と定義した [33]。

### 2.4.2 アウェアネス支援

前述したように、意図のあるインフォーマルコミュニケーションにおいては、話題や参加者は決まっているので、適切なタイミングでインフォーマルコミュニケーションを行うために、相手やその周囲の人のアウェアネスを把握することが重要である。アウェアネスによって、相手がコミュニケーションに対してどのような状況であるかを伝え合い、遠隔地間のコミュニケーション開始を直接的に支援しようとする研究としては以下のものがある。

## 2.4. 遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究

Bellcore の CRUISER [34] は、仮想的な世界を歩き回りながら話をする相手を探すというソーシャルブラウジングを実現し、ソーシャルブラウジング中に邪魔されたくない場合の意思表示として画像にブラインドを下ろすという方法を提供した。この CRUISER を用いた実験的研究 [35] の中で、プライバシーの観点から仮想的に覗かれる事を嫌うユーザに対する配慮や、会話の開始や終了の状態遷移を自然にできるように支援することが重要な課題として挙げられている。類似研究として、足音の提示により他のユーザの近接を表現するシステム VENUS [36] や、他者の様子を表す代理物としてデスクの上に置いてある人形がこちらを向けばその人がコミュニケーション可能な状況になったことを意味するシステム Peek-a-boo [37] をはじめ、アウェアネスの提示を支援する研究が多数ある [38], [39]。

その中の 1 つである音声通信にアウェアネスを適応したシステムとして、Visiphone [40] がある。Visiphone は音声のみを用いる通信支援システムであり、遠隔地間に設置されたシステムのマイク入力の音量が相手側システムの画面上に表示されるが、単に相手側の発話を再生するだけでなく画面上の視覚フィードバックとして過去の履歴も含めて発話の音量を表現することが可能である。断続的なコミュニケーションが起こる状況を想定して、音によるアウェアネスを提示することによって、遠隔インフォーマルコミュニケーションを活性化することを目指している。

また、アウェアネスの中でも、本研究の狙いとは少しずれるが、視線一致を実現することで対面コミュニケーションと同じ自然な発話を実現するシステム ClearBoard [41] や、それぞれのユーザの位置関係を保持し、かつ、接続された両方の空間の対称性を保つシステム T-room [42] などもある。さらに、同じアウェアネスであっても、互いの状況を直接的に示さない曖昧な情報を伝え合うことで、コミュニケーションのきっかけを間接的に生み出して、偶然のインフォーマルコミュニケーション促進や心理的な人間関係の形成や維持を目指した研究がある [43], [44]。

### 2.4.3 発話音量制御支援

2.4.2節では、呼びかけや発話の前に相手の状況を知るための、また、呼びかけや発話の後の相手の反応を知るためのアウェアネスを提示する先行研究について紹介した。しかし、相手の状況や反応を適切に把握できたとしても、その情報を活用して適切な発話音量制御を行わないと、コミュニケーションは成立しない。対面コミュニケーションでは、人がアウェアネスを把握することや適切に発話音量制御を行うことをほとんど意識しないのは、人が対面での発話を日常的に行っているために慣れており、無意識で適切に制御しているからである。そのため、対面のインフォーマルコミュニケーション支援の取り組みでは、人が適切なコミュニケーションスキルを持つことを前提としている。遠隔インフォーマルコミュニケーションにおいて適切な発話音量制御を明示的に支援している先行研究はないが、適切な発話音量制御を行う可能性の高いシステム設計になっている先行研究はある。

MirrorSpace [45] は、鏡を模した映像音声通信システムであり、映像を写すディスプレイにはカメラが組み込まれており、実物の鏡と同じように正面に立った人の顔が映る。ただし、写るときに遠隔の相手側のシステム前に立った人の顔が、相手のシステムに対する距離に応じた透明度で重畳して表示される。ユーザはシステムに対する自分の近接と相手の近接の度合いを知ることができ、その近接を意識しながらシステムに歩み寄り遠隔の相手と会話を行うことができる。遠隔地間にいるユーザがそれぞれシステムに近づき、互いの映像が低い透明度で見えるタイミングで相手との会話を始めるため、明示的に支援しているわけではないが、システムの前にいるユーザに聞こえるように発話音量制御を行う可能性が高いシステム設計になっている。しかし、受話者側で発話者の声が再生されるスピーカのボリュームや受話者側の部屋の暗騒音がわからないため、発話者は自分の声がどこまで伝わるかを推測することは難しく、意図して呼びかけや発話のときに発話音量を制御することはできない。誰に伝播しているかわからない状況では話しづらくなるという知見 [46] より、このシステムによってユーザが心理的負担を受ける可能性がある。

Well [47] は井戸の形状をした、水平方向の映像ディスプレイを備えた映像音声

通信システムである。システムに近づくまでは遠隔地側の映像を見ることはできないが、システムの周囲に立ち映像提示面を覗き込むと遠隔地側で覗き込んでいるユーザの映像を見ることができ、会話ができる。システムを覗き込んだユーザ同士で互いの声が聞こえる設計になっているため、MirrorSpace と同様、覗き込んだユーザ同士で会話ができるが、発話者は自分の声がどこまで伝わるかを推測できず、意図して発話音量制御することはできない。しかし、井戸の形状をしたシステム構成のため、ユーザは誰に伝播しているかわからないという状況を強く意識しない可能性が高い。ただし、Well のシステム設計はユーザがシステムに立ち寄ることを前提としているため、システムに近づき覗き込むまで相手側の様子をみることができない。つまり、システムを覗き込むという高いモチベーションを持ったユーザしか支援することができない。一方で、対面コミュニケーションや MirrorSpace のような垂直方向の映像ディスプレイを持つ映像音声通信システムでは、相手と会話をする距離感に至るまでにある程度の距離が離れているため、相手やその周囲の人のアウェアネスを得ることができる。本研究でも、会話開始の前に相手やその周囲の人のアウェアネスを得ることで、ユーザがインフォーマルコミュニケーションに対する高いモチベーションを持っていなくても、システムの周囲を歩くときにインフォーマルコミュニケーションが促進される支援を目指す。

## 2.5 本研究の想定する遠隔インフォーマルコミュニケーション支援

インフォーマルコミュニケーション支援に関する研究を紹介してきたが、それらを対象領域ごとにまとめて図 2.2 に示す。

対面インフォーマルコミュニケーション支援は、呼びかけや会話がそれぞれの人のコミュニケーションスキルによって適切に行われるという前提で検討されており、話題の提供やコミュニケーションが生起しやすい可能性の可視化、また、適切な話し始めのタイミングを知らせるアウェアネス強化の観点で支援が行われてきた。これは意図のあるインフォーマルコミュニケーションの支援ではなく、偶

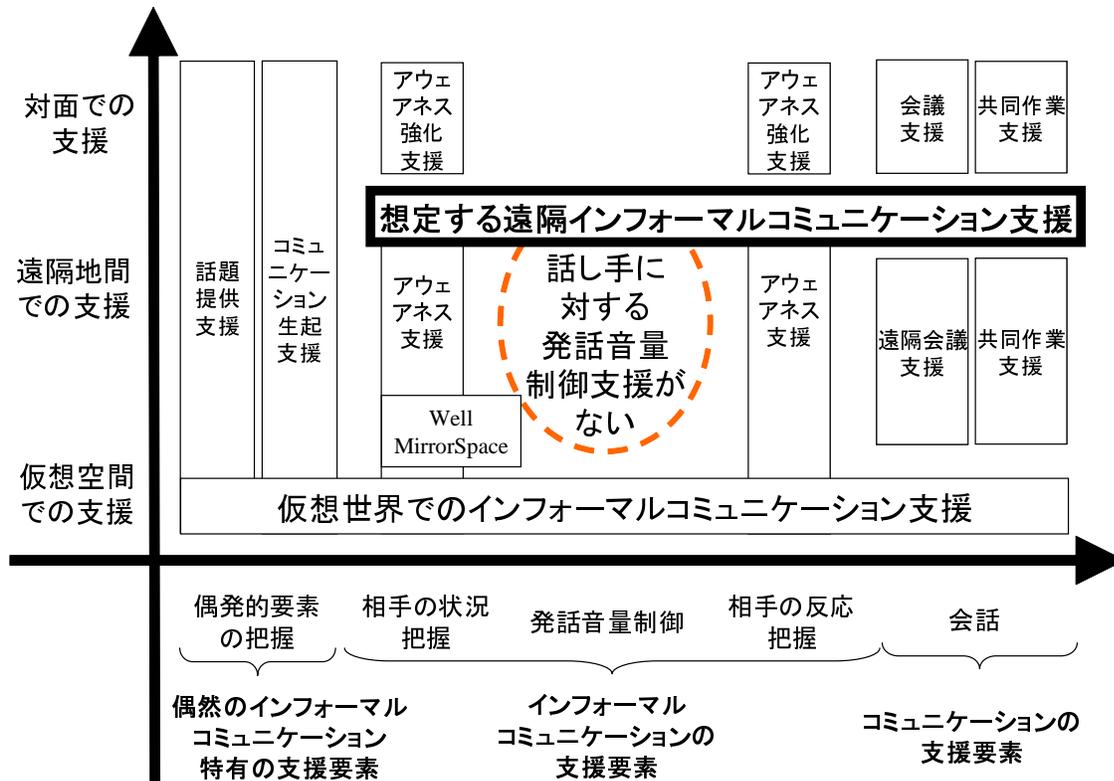


図 2.2 従来のインフォーマルコミュニケーション支援研究と本研究の想定する遠隔インフォーマルコミュニケーション支援

然のインフォーマルコミュニケーションの一要素に対する支援になる。また、仮想空間というコンピュータ内に閉じた特別な環境でのコミュニケーション支援は、対面コミュニケーションの再現を目的としたものであり、意図のあるインフォーマルコミュニケーション、偶然のインフォーマルコミュニケーションの両方を支援するが、日常生活での自然なインフォーマルコミュニケーションの支援には向かない。

従来の遠隔インフォーマルコミュニケーション支援には「意図のあるインフォーマルコミュニケーションを支援するために、会話や呼びかけを始める前の相手の様子を把握するための情報であるアウェアネスを提示することを目的としたもの」と、「会話が開始された後の会話の進行や作業の支援を目的にしたもの」がある。

しかし、相手の状況や反応を適切に把握できたとしても、その情報を活用して適切な発話音量制御を行わないと、コミュニケーションは成立しない。先行研究では、アウェアネスを得た後の適切な発話音量制御を支援する方法は用意されていない。

ところが、遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーションを行う際の心理的な抵抗感は、実際に発話者が声を出すときに感じるものである。例えば、テレビ電話で会話をする場合、相手側の周囲に不特定多数の人がいる場面では、話しづらいつと感じる。また、対面コミュニケーションであっても、誰に伝播しているかわからない状況では、話しづらくなる可能性が高いということが従来研究で報告されている [46]。そこで本研究では遠隔インフォーマルコミュニケーションを適切に支援するために、アウェアネスを得た後の発話音量制御行動も含めた検討を行い、遠隔インフォーマルコミュニケーション支援システムの構築を目指す。本検討では、ユーザの意図のあるインフォーマルコミュニケーションに着目し、発話者と受話者がストレスを感じずに遠隔インフォーマルコミュニケーションが促進されることを目指して、システム要件の検討や検証実験を行った。



## 第3章

# 遠隔インフォーマルコミュニケーション支援のシステム要件

本章では、先行研究では十分に着目されてこなかった、アウェアネスを得た後の発話音量制御も含めたインフォーマルコミュニケーションの成立過程に着目してシステム要件を検討し、適切に遠隔インフォーマルコミュニケーションを支援するためのアプローチについて述べる。

### 3.1 本研究の目的

本研究では、発話者の自然なコミュニケーションを妨げず支援するため、できる限り特別な指示や作業を発話者に与えないことをシステムの設計指針とする。この設計指針より、発話者は対面コミュニケーションと同じ感覚で発話するだけで、その他の操作を求められることなく、システムによって支援されるこれによって、発話者は、対面コミュニケーションで培ってきたコミュニケーションスキルを活用することができる。

本章では、アウェアネスを得た後の発話音量制御も含めたインフォーマルコミュニケーションの成立過程に着目し、一般的な人の発声モデルから検討を始めて、遠隔インフォーマルコミュニケーションを支援するためのシステム要件を整理する。この検討によって、対面コミュニケーションのように、発話者が呼びかけや会話の際に心理的抵抗感を感じず、遠隔にいる受話者やその周囲の人、自分の周囲の人にも配慮できるコミュニケーション支援システムの実現を目指す。このシ

システムを利用することで、テレビ会議の受話者側に複数の方がいる場面で話しづらいという問題や、音量設定のゲインが小さいために自分の声を受話者に聞こえない問題、音量設定のゲインが大きく受話者にうるさく聞こえてストレスを与える問題を解決することができる。その結果、VideoWindow [32] で指摘されていた問題の解決や、遠隔インフォーマルコミュニケーションの生起率の向上が期待できる。

## 3.2 インフォーマルコミュニケーションにおける発声モデル

2.5 節で述べたように、遠隔インフォーマルコミュニケーションにおいて、発話者は声を出すときに心理的抵抗感を持つ。この心理的抵抗感を減らすために、インフォーマルコミュニケーションにおける人の発声モデルの検討を通じて、適切な遠隔インフォーマルコミュニケーション支援のアプローチを探索する。

まず、一般的な人の発声モデルについて説明する。Speech Chain [48] は、音響音声学や聴覚音声学の分野で古くから利用されている発声モデルであり、近年も拡張版 [49] が提案されるなど、音声学の分野に影響を与えている。Speech Chain は聴覚に着目して発声の過程を捕らえたモデルである。本節では、このモデルを元に、視覚にも着目し、インフォーマルコミュニケーション支援における理想の発声モデルを検討する。

Speech Chain(図 3.1)によると、人の発声は常に聴覚的なフィードバックループを受けながら行われていることがわかる。以下、順に発声に至るまでの過程について述べる。まず、発話者は大脳の前野において何を発話するかを意識する。そして、その意識に基づき具体的な言語の生成を行う。この時、準言語的特性である音声のピッチや音量、音色なども決定される。前野で生成された言語が運動野に伝達され、運動野において運動指令が神経パルスとして音声器官に伝達される。そして音声器官で発声が行われ、音声波として発信される。ここで発信された音声波が受話者に伝わり、受話者の受聴行為が開始される。それと同時に、音声波を発信した音声器官の振動が、骨導で発話者の聴覚器官にフィードバック

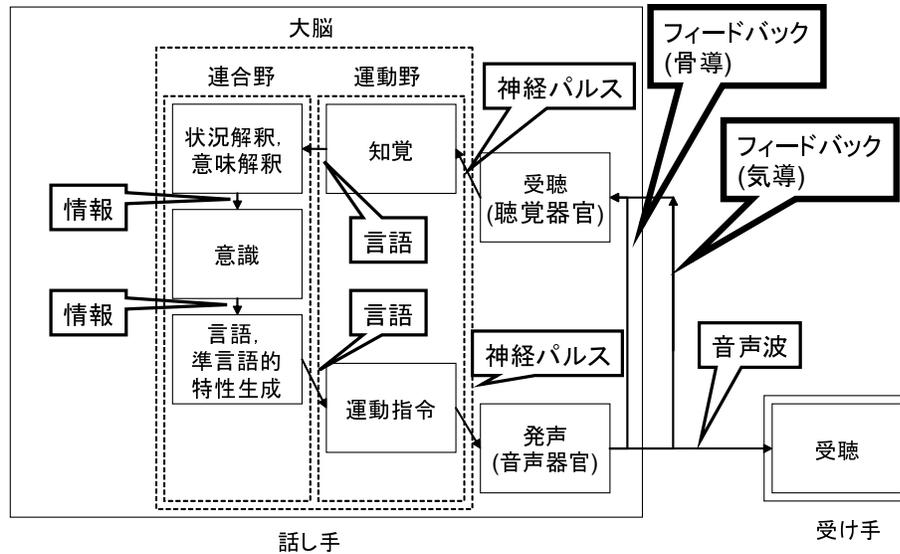


図 3.1 聴覚に着目した発声モデル：Speech Chain

され、また同時に、体外に向けて発信した音声波が気導で発話者の聴覚器官にフィードバックされる。骨導とは外耳を経由せずに頭蓋骨を通して内耳に音の振動が伝達される音の伝導であり、気導とは外部の音刺激が通常のように外耳から内耳を経由する音の伝導である。ちなみに、骨導フィードバックは基本的に発話者の体内を伝わってくるのでほぼ1つの信号とみなせるが、気導フィードバックは音声器官から聴覚器官に直接伝わる経路だけでなく、周囲の壁や物や人に反射した反射波も同時に伝わるため、遠隔インフォーマルコミュニケーション支援を検討する際には発声モデルにおける気導フィードバックの違いに注意する必要がある。発話者は発話を行いながらこの2種類のフィードバックを聴覚器官で受け取っている。そのフィードバック信号を大脳の運動野で知覚し、自分の声が小さすぎる、適切である、あるいは、大きすぎることに気付く。例えば、周囲の雑音で自分の声が聞こえにくいと連合野で判断したときは、運動野で声を大きくする指令を音声器官に伝える。

発話者は会話を始めるとき、音声の大きさ、高さ、音色、タイミングなどの準言語的特性や身振りや表情などの非言語情報を、聴覚器官からの情報だけでなく、視覚器官からの情報も含めたさまざまな情報を元に、決定している。Speech

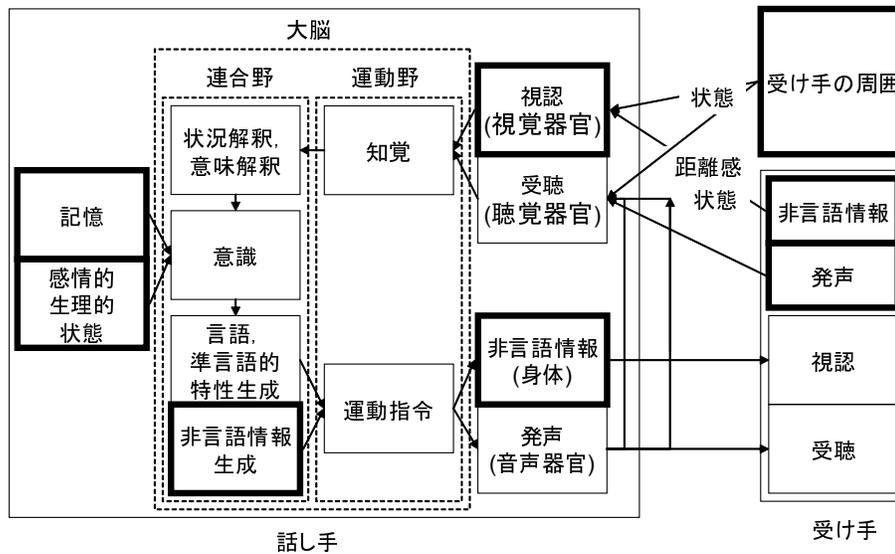


図 3.2 聴覚と視覚に着目した会話における発声モデル

Chain にこれらの情報を加えた，会話における発声モデルを図 3.2 に示す．準言語的特性や非言語情報は，過去の記憶を元に受話者に対する人間関係や用件の重要度，視覚器官で視認された発声や非言語情報，距離感，周囲の人の状態を統合的に把握し，また，自身の感情的状態や生理的状态に影響を受けて決定される．これらを意識的に，時には無意識的に処理し，発声を行い，またその発声に対するフィードバックを受けて，その情報を含めて処理し，次の発声を行うというループを繰り返す．例えば，対面コミュニケーションで周囲に人がいる場合に，その人だけに伝わる音量で声を抑えて話すことができるのは，自分の声に対する音のフィードバックや経験則に基づく自分と受話者との物理的距離感，あるいは，受話者の反応などから自分の声がどれだけ伝わっているかを推測できるためである．

次に，インフォーマルコミュニケーション支援において必要な要素を探るため，フォーマルコミュニケーション，インフォーマルコミュニケーションを含めた一般的な会話における発声モデルである図 3.2 を参考に，理想的なインフォーマルコミュニケーションを行うときに重要となる要素を 3 つのフェーズに整理した．図 3.3 は，図 3.2 の上にその 3 つのフェーズとフェーズ間の流れを追記したものである．これらの 3 つのフェーズはフォーマルコミュニケーションのときにも利用

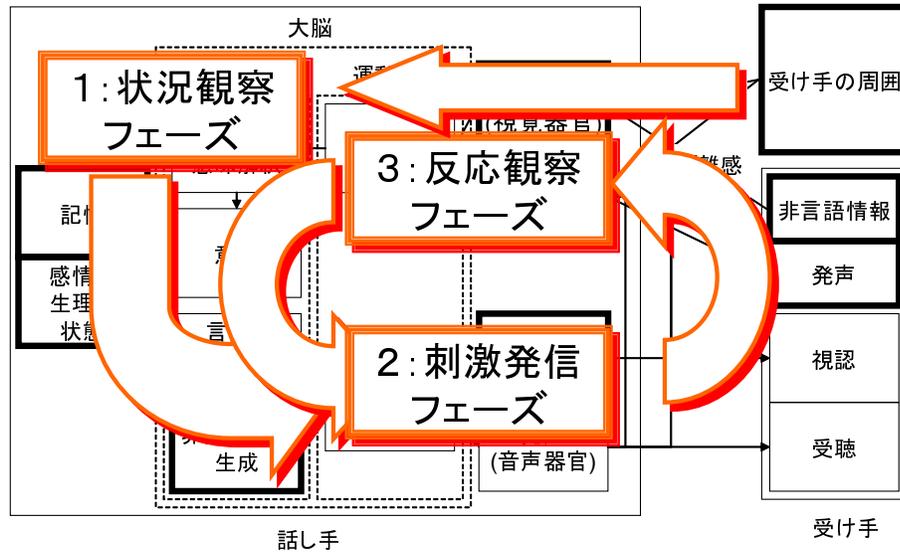


図 3.3 インフォーマルコミュニケーションにおける発声モデルの重要なフェーズ

されるが、3つのフェーズの重要性は低い。なぜなら、フォーマルコミュニケーションではコミュニケーションを行う目的が明確であるため、受話者の状況や刺激発信に対する反応を把握しなくても、発話者も受話者もストレスを感じるものが少ないためである。このインフォーマルコミュニケーションにおける発声モデルは、発話者が受話者に話しかけるという、1対1での意図のあるインフォーマルコミュニケーションを想定している。ただし、複数人での意図のあるインフォーマルコミュニケーションや、偶然のインフォーマルコミュニケーションに対しても適用可能である。

まずインフォーマルコミュニケーションを開始するときに重要なのが、「状況観察フェーズ」である。発話者が伝えたい用件の重要度や、発話者が受話者に対して持つ親密度、受話者の状態から判断される忙しさやその周囲の人々の状態などの情報を取得し、把握する。それらの情報を元として、受話者の状況に配慮して適切な刺激発信を行うために、受話者に対して刺激発信するタイミングやその刺激の強さ、および刺激を与える手段を決定する。

次はインフォーマルコミュニケーションを実質的に開始するために重要な「刺激発信フェーズ」である。状況観察フェーズで複数の刺激発信に関連する要因に

ついて意識的に、あるいは無意識的に検討を行った結果、発話者が刺激発信を行うべきと判断した場合、状況観察フェーズで決定されたタイミング、刺激の強さ、手段により受話者に刺激を与える。

最後に、インフォーマルコミュニケーションをコミュニケーションとして成立させるために重要なフェーズが「反応観察フェーズ」である。発話者から発信された刺激が受話者に届いた場合、受話者が何らかの反応をする可能性がある。また、受話者に届かなかった場合は届かないという反応を得ることができる。その反応を観察し、受話者と会話を開始することが可能かどうかを確認する。同時に、反応観察フェーズでは、骨導フィードバックや気導フィードバックを含めた音響的なフィードバックや、周囲の人の反応も捕らえることで、今後の会話の進行に関わる重要な情報を得て、次の刺激発信フェーズにおいて活用する。

これらの3つのフェーズは無意識的に処理される場合も多いが、本研究で対象とする意図のあるインフォーマルコミュニケーションでは、状況観察フェーズと反応観察フェーズは時間をかけて意識的に行われることが多い。また、反応観察フェーズと刺激発信フェーズは、高速にそのループを繰り返して処理される。

### 3.3 発声モデルに基づく遠隔インフォーマルコミュニケーション不成立の原因

インフォーマルコミュニケーションが行われる場合、発話者が受話者に対して配慮できるかどうか、ストレスのないコミュニケーションになるかどうか大きく影響する。配慮のある発話者によってコミュニケーションが適切に行われた場合、前節で述べた理想的な発声モデルに基づいたインフォーマルコミュニケーションが行われ、ストレスなく会話が成立する。しかし、配慮することの難しい設計である映像通信システムを利用する場合や、映像通信システムの利用時に配慮しないことに慣れてしまい、配慮することを意識しない場合は、理想的な発声モデルから外れた発話が行われるため、遠隔インフォーマルコミュニケーションがうまく成立しない場合がある。以下に、インフォーマルコミュニケーション不成立の原因となる問題を分析する。

### 3.3. 発声モデルに基づく遠隔インフォーマルコミュニケーション不成立の原因

#### 3.3.1 状況観察フェーズ・反応観察フェーズ欠落による問題

1つは状況観察フェーズ・反応観察フェーズの欠落による問題である。例えば、隣の席の人が、自分の忙しい様子を知ることができる環境であるにもかかわらず、配慮なくいきなり話しかけてくる場合、相手に対してストレスを感じる。また、集中して会議や仕事をしている時に突然電話のベルが鳴り出すと、受話者は集中力を削がれ、作業が中断するなど、ストレスを感じる。電話は、受話者の状況を観察することなく呼びかけを開始させるシステムの設計であるため、状況観察フェーズが欠落しており、遠隔インフォーマルコミュニケーションがうまく成立しない。このように遠隔インフォーマルコミュニケーションでは、発話者が配慮の必要性を感じている場合でも、システムの設計によってフェーズの省略が起こる。その他にも、反応観察フェーズの欠落によって、受話者に呼びかけが届いているかどうかを把握できず、呼びかけに対する受話者の反応を考慮して会話を始めることができないことが挙げられる。

ここでの問題は、状況観察フェーズや反応観察フェーズを省略して呼びかけると、受話者の状況に対して不適切なタイミングや刺激の強さで呼びかける可能性が高くなり、受話者にストレスを与えることである。映像通信システムを用いて互いの状況を伝え合うことで、これらの問題を緩和することができ、また、先行研究の2.2.3節や2.2.3節で述べたアウェアネスの提示によって支援できる。

しかし、図3.1において述べた発声モデルにおける気導フィードバックを得ることは、先行研究では検討されてこなかった。気導フィードバックによる情報は、発話者が刺激発信を行ったときに発生する情報であり、受話者やその周囲の人からの情報を受け取るというアウェアネスとは異なる特徴を持つ。気導フィードバックは、発話音量制御を行うときに、発話者の意識だけでなく無意識にも影響を与えるため、適切な呼びかけや発話の支援に重要である。

#### 3.3.2 刺激発信フェーズ欠落による問題

遠隔インフォーマルコミュニケーションがうまく成立しないもう1つの問題は、刺激発信フェーズの欠落によるものである。このため、発話者は任意の強さ

で受話者に対して刺激発信ができない。遠隔コミュニケーションでは同じ空間に発話者と受話者がいないため、発信した刺激がその通信の間にどのように歪められるか推定することは難しい。つまり、前節で述べた状況観察フェーズや反応観察フェーズが適切に機能する場合であっても、受話者に適切に届く刺激発信の強さを把握していないと、発話者がインフォーマルコミュニケーションを適切に成立させることはできない。具体的には、映像音声通信システムを利用する場合、映像から受話者の状況や受話者との大体の距離感を把握できるものの、自分の声の伝達の度合いを推定することは容易でない。例えば、受話者側のスピーカのボリュームが大きく設定されている場合、自分が小さな声で話しても、受話者側の周囲の人に会話の内容を聞かれてしまうことがある。すなわち、必要な受話者へのみ、情報を安心して伝えることが困難である。

「誰に伝播しているかわからない状況では話しづらくなる可能性が高い」という知見 [46] より、発話者は受話者に適切に届く強さで刺激発信できないため、遠隔インフォーマルコミュニケーションを行うときに心理的抵抗感を感じる。一方、受話者は、適切でない刺激を知覚させられる可能性が高いため、遠隔インフォーマルコミュニケーションでのストレスを感じる。先行研究では刺激発信フェーズの検討は行われておらず、発話者が任意の強さで発話音量制御できるための支援は重要である。

#### 3.3.3 遠隔インフォーマルコミュニケーション不成立の原因

以上より、遠隔インフォーマルコミュニケーションが成立しにくい原因は、発話者が受話者の状況や発話時の気導フィードバックを得ることができないという、状況観察フェーズと反応観察フェーズの欠落による問題と、発話者が任意の強さで発話音量制御ができないという、刺激発信フェーズの欠落による問題によることがわかった。遠隔インフォーマルコミュニケーション支援には、気導フィードバックの欠落と発話音量制御支援の欠落は致命的であり、先行研究で述べられている課題 [32] はこの問題によるものであると考えられる。

次節において、気導フィードバックの情報の欠落と、発話音量制御支援の欠落を解決するためのアプローチについて検討する。

## 3.4 遠隔インフォーマルコミュニケーション支援のアプローチ

### 3.4.1 3つのフェーズを支援するためのシステム要件

前節までの発声モデルに関する検討と遠隔インフォーマルコミュニケーション不成立の原因分析の結果，遠隔インフォーマルコミュニケーション支援のシステム要件は以下の2つである．

システム要件の1つは，受話者の状況や反応の情報を得ることのできる状況観察フェーズ・反応観察フェーズを実装することである．これは，状況観察フェーズ・反応観察フェーズが欠落していることにより，受話者に対して適切な呼びかけを行うための情報が得られず，受話者にストレスを与えてしまうという問題を解決する．特に，発話者が対面コミュニケーションにおいて，受話者が聞く発話者の発話音量を把握するために知覚していた，気導フィードバックの欠落を補う必要がある．ここで言う気導フィードバックには，発話された音声は空気を介して耳に伝わるフィードバックと，発話された音声は周囲の環境に反射されて耳に伝わるフィードバックの2つがある．システムによって気導フィードバックの情報を再現するためには，部屋の温度や湿度，環境を構成する物体に関する位置と音響特性（物体が音に対して反射，透過，吸収する性質の度合い）などの多くの情報が必要となる．また，「人はわずかに遅延した自分の音声を聞くと発話しにくくなる」という報告 [50] から，精度の高いフィードバック制御が求められる．このように，気導フィードバックで得る効果を遠隔コミュニケーションで得るためには複雑なシステムが必要となる．そこで発想の視点を変えて，気導フィードバック以外の方法で，受話者が聞く発話者の発話音量を把握する効果を得る方法を検討する．つまり，受話者が聞く発話者の発話音量を推定して発話者にフィードバック提示することで，気導フィードバックに代わる情報を与えるアプローチをとる．

もう1つのシステム要件は，任意の刺激の強さで発信できる刺激発信フェーズを実装することである．これは，刺激発信フェーズが欠落しているために，受話者に適切に呼びかけるための情報を得ても，任意の強さで受話者に対して刺激発

信できず、受話者にストレスを与えてしまう、あるいは自分がストレスを感じてしまうという問題を解決する。発話によって任意の強さで受話者に刺激を発信するためには、状況観察フェーズと反応観察フェーズで必要な情報を取得できることと、それを元に任意の音量で発話できることが必要である。前者は、前述したとおり気導フィードバックに代わる情報を含めた情報取得によって実現できる。後者は、人が行う自然発話を利用できる環境によって、対面コミュニケーションで人が培ってきたコミュニケーションスキルを活用することで実現できる。

まとめると、刺激発信フェーズという任意の強さで受話者に刺激を知覚させることのできる機構、状況観察フェーズという受話者側の状態を把握するための機構、そして、反応観察フェーズという発話者の発話に対する反応や影響も含めて把握するための機構が必要である。以下に、それぞれのフェーズを支援するシステム要件を、概要と複数の詳細項目に分けて列記する。

- 状況観察フェーズの要件：互いの姿と周囲の人の状態が認識できる映像音声通信システムによって実装すること
  - － リアルタイムコミュニケーションを支援するため、発話者と受話者の間の情報伝達はリアルタイムであること
  - － 発声モデルで必要とされた複数の状況情報（受話者の発声、非言語情報を含めた状態、受話者との距離感、受話者の周囲の人の状態）が提示されること
  - － 状況を観察をするために、特殊な情報取得作業や、情報認識能力を要しないこと
  - － 受話者だけでなく、その周囲の人も含めた複数人の状態情報が提示可能であること
- 反応観察フェーズの要件：状況観察フェーズの要件に加えて、発話者の発信刺激に対する受話者の知覚のリアルタイムな関係性の提示を、フィードバック情報の提示によって実装すること
  - － 刺激発信に対する受話者の知覚をシステムが検出するための要件を満たすこと（詳細は3.4.2節に記載）

### 3.4. 遠隔インフォーマルコミュニケーション支援のアプローチ

- 受話者の知覚の度合いを発話者に提示するための要件を満たすこと (詳細は 3.4.2 節に記載)
- 刺激発信フェーズの要件：システムの設計指針と前節での発声モデルの検討結果より，発話による刺激発信と，映像音声通信システムによる受話者への発信刺激の伝達によって実装すること
  - 自然なコミュニケーションを妨げずに支援するため，発話者にできる限り特別な操作や作業を与えず，対面コミュニケーションのように，発話者がこれまでに培ってきたコミュニケーションスキルを活用できる発話によって利用可能なシステムであること
  - 反応観察フェーズで提示されるフィードバック情報を活用して，発話者が任意の強さで刺激発信できること
  - リアルタイムにコミュニケーションを支援するため，発信刺激はリアルタイムで受話者に伝わること

発話者の刺激発信に対する受話者の知覚として，受話者が感じる主観量を抽出するアプローチがある．しかし，本検討では，一般的な知覚能力を持つ受話者が知覚できる客観量である，マイクによって検出される音圧レベルを利用する．これを把握することで，刺激発信に対して受話者が知覚する主観量を推定することができる．客観量が「刺激を大きくしていく段階で人が最初に知覚できる最も小さい刺激量」である最小知覚閾値以上であった場合に，フィードバック情報を発話者に提示する．

#### 3.4.2 フィードバック情報を提示するためのシステム要件

自然発話を活用するというシステム要件の設計指針，反応観察フェーズの要件，刺激発信フェーズの要件を踏まえて，フィードバック情報を提示するためのシステム要件を検討する．

発話を用いることより，前節で述べた最小知覚閾値は「発話を大きくしている段階で，発話に意識を向けている人が発話を認識できる最も小さい音量」と定義

される最小可聴値となる。また、音に対する可聴の判別にはその場の暗騒音を取得することが必要である。発信刺激に対する受話者の最小可聴値は、それぞれの受話者によって微妙に異なるが、一般的な成人の最小可聴値を利用する。

提示刺激としては視覚刺激と聴覚刺激、触覚刺激が考えられる。触覚情報は、刺激のリアルタイム提示は可能であるが、装置を携帯する必要があることが、日常での利用としては敷居が高い。また、触覚刺激は、刺激に対する感度が人によって大きく異なるため、刺激の強さをユーザに伝達することや、空間に情報をマッピングする情報のような、多数の情報を提示することが難しい。よって、触覚刺激はアプローチとして採用しなかった。ただし、限定されたグループ内での特殊な遠隔インフォーマルコミュニケーションに対して、刺激提示装置として広く普及している携帯電話やPDAを利用することは実用的である。聴覚情報は、情報を変換せずにそのまま利用できる可能性を持っており、フィードバック提示として適している。しかし、発話行動中のフィードバック提示であることから、前述したとおり「人はわずかに遅延した自分の音声を聞くと発話しにくくなる」という報告 [50] を踏まえると、本研究が扱うリアルタイムの会話支援には適さないと考える。視覚刺激は、リアルタイム提示可能であり、対面コミュニケーションで行われている発声モデルの状況観察フェーズ、反応観察フェーズに対する親和性も高い。また、多人数に対しても刺激の提示範囲を変えることで容易に対応可能である。よって、本研究は、視覚刺激をフィードバック提示の刺激として採用する。本論文では、視覚エフェクトを用いた視覚刺激を視覚フィードバックと呼ぶ。

以下に、刺激発信として発話を用いた、遠隔インフォーマルコミュニケーションを支援する視覚フィードバック情報提示のためのシステム要件を、前節の反応観察フェーズのシステム要件を踏まえて列挙する。

- 発話者の発話が、受話者が聞こえる音量で受話者の位置に届いたかというフィードバック情報を検出するために、以下の要件を満たすこと
  - － 受話者側にいるそれぞれの人の位置での、暗騒音に対する一般的な最小可聴値（発話を大きくしていく段階で、発話に意識を向けている人が、最初に発話を認識できる最も小さい音量）を事前に取得すること
  - － 受話者側にいるそれぞれの人の位置での暗騒音を、事前に、あるいは

リアルタイムに取得すること

- 受話者の位置において、受話者が最小可聴値以上の刺激を知覚できるかをリアルタイムに判別すること
- 受話者の位置において、受話者が刺激を知覚するタイミングをリアルタイムに取得すること

- 視覚フィードバックを発話者に提示するために、以下の要件を満たすこと
  - 視覚フィードバックを提示することによって、発話者が任意に発話音量を制御できること
  - 受話者側の空間の背景色とコントラストが大きく、見えやすい色と形状で視覚フィードバックを提示すること
  - 受話者の位置と視覚フィードバックの位置の対応を、直感的に理解可能な提示をすること
  - 視覚フィードバックは、受話者が発話者からのコミュニケーションを受ける意思のある行動範囲を網羅して提示すること
  - 視覚フィードバックの提示密度が、人間と人間が自然にとる立ち位置の間隔以上であること
  - 視覚フィードバックの提示密度が、発話者がそれぞれの視覚フィードバックを混同して取得しない間隔以上であること

#### 3.4.3 支援システムの実装例

前節でのシステム要件を踏まえて、以下に示すシステム構成で実装を行う(図3.4)。

状況観察フェーズと刺激発信フェーズのシステム要件より、互いの姿と周囲の人の状態が認識でき、受話者と視覚フィードバックとのリアルタイムな関係性を、発話者が知覚できるよう、映像音声通信システムを用いる。

また、反応観察フェーズと刺激発信フェーズのシステム要件より、発話者にフィードバック情報を提示する。フィードバック情報提示に用いる視覚エフェクトとしては、音の伝播の表現であると直感的に認識しやすい、波紋型の視覚エ

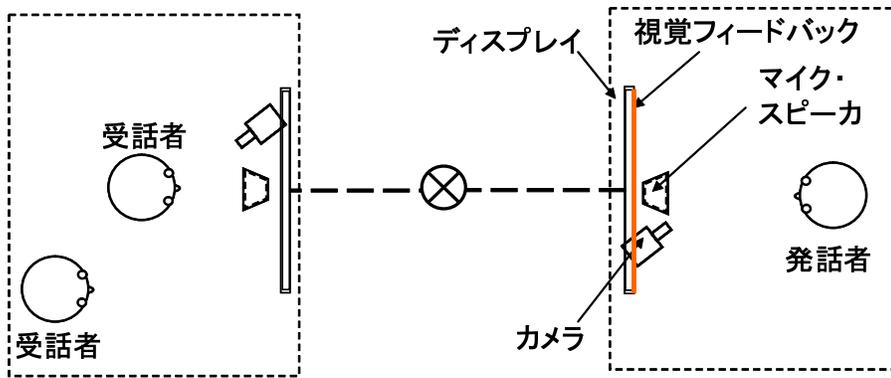


図 3.4 支援システムの構成



図 3.5 波紋型の視覚エフェクトの表示例 (左：左側にいる受話者に声が十分に届いていない場合，右：左側にいる受話者に声が十分に届いている場合)

フェクトを用いた (図 3.5) . 視覚エフェクトの形状は他にも考えうるが，基本的なフィードバック情報提示の効果を検証するために，波紋型の視覚エフェクトで検討を進める . 発話者側の映像音声通信システムのディスプレイ上に，受話者のいる位置と視覚フィードバックの表示される位置を，画面上で重畳提示した表示例を，図 3.5 に示す . 左右の図のそれぞれの，右下に位置するスピーカより出ている曲線の視覚エフェクト群が，波紋型の視覚フィードバックである . 視覚フィードバックによって，発話者は自分の発話に対して，受話者側の空間の，どの受話者が自分の発話が聞こえる範囲にいるのかを把握することができ，自分の次の発

話の制御のための参考情報を得て、適切な音量で発話することができる。図 3.6 に、発話者側と受話者側の、それぞれのシステム利用風景を示す。



図 3.6 受話者側 (左) と発話者側 (右) のシステム利用風景

暗騒音の検出のためにマイクを利用し、また、受話者の位置で発話者が知覚する受話音量検出のためにマイクを利用する。最初のプロトタイプシステムでは、あらかじめ取得した音響モデルを組み込んだプログラムによって、入力される音声信号を処理することで、音声の伝播を推測するアプローチをとった。実験を行う空間の音響環境や受話者の位置が固定であるため、あらかじめ取得されるべき音響モデルは、キャリブレーション機能などの動的な検出を用いず、経験則的に調整して決定する。具体的には、実験において発話者と受話者の位置が固定の場合を想定し、発話者の発話音量に応じて、受話者側の空間のどの位置に、どの程度の音量で届くかというデータをあらかじめ取得しておく。これによって、発話音量に対して提示すべき視覚フィードバックは一意に決まるため、発話者の映像音声通信システムのマイク入力を検出することで、その発話音量に対応する視覚フィードバックを提示することができる。

音響環境が動的に変化しないという仮定の元、プロトタイプシステムでは、視覚フィードバックと受話者側での音の聞こえとの関係性を経験則的に決定する。その結果、受話者側の人々が最小可聴値で音が聞こえる位置と、視覚フィードバックの提示位置との誤差は、受話者側の空間で 0.5m 未満、発話者側の映像音声通信システムの画面上で 1cm 未満で実装された。また、それぞれのプロトタイプに

おける，最小可聴値で音が聞こえる位置と，視覚フィードバックの位置の関係は，以下の通りである．4章の実験に利用したプロトタイプシステムでは，受話者の耳の高さの水平面上の位置に立つ受話者が音を聞くととき，視覚フィードバックがその位置に重畳提示されるように実装する．5.1節の2つのプロトタイプシステムの比較実験では，両システムともに，床面の高さの水平面上の位置に立つ受話者が音を聞くととき，視覚フィードバックがその位置に重畳提示されるように実装する．

発話者の発話を受話者に届いたタイミングについては，発話に対する視覚フィードバックをリアルタイムに提示することにより，発話者は受話者に届いたタイミングを推測することができる．受話者の聞こえの度合いを発話者に直感的に理解させるため，音響モデルより得た最小可聴値以上の音量で受話者が聞くことのできる位置と，視覚フィードバックを提示する位置を，対応づけて重畳提示する．この方法によって，受話者が，受話者側の空間のカメラの撮影範囲内のどこにいても，適切な視覚フィードバックを提示することができる．また，受話者側の空間の全面を覆う視覚エフェクトを用いることで，複数人の受話者も対応できる．

実利用シーンとして想定されるオフィスなどにおいて，視覚フィードバックを発話者に見えやすく提示するために，空間の背景色として想定した青色と灰色に対して，コントラストが大きいオレンジ色と黄色を利用する．視覚フィードバックの提示間隔に関しては，次の2点を考慮して決定する．1つは，人間と人間が自然にとる立ち位置の間隔として，文化人類学者であるエドワード・ホールが示す，人間と人間が自然にとる間合である，個体距離 1.2m [51] を参考にし，それよりも小さい間隔であることである．もう1つは，発話者がそれぞれのフィードバック情報を混同して取得しない間隔以上の間隔であることである．密な間隔で視覚フィードバックを提示することによって，映像音声通信システムのカメラの設置時の俯角が小さい場合，隣り合う視覚フィードバックが混同して見える場合がある．そこで，個体距離 1.2m を参考にしつつ，視覚フィードバックを構成する個々のエフェクトを，発話者が混同せずに見分けられる間隔に設置する，あるいは，映像音声通信システムのカメラの設置時の俯角を大きくすることで対応する．

最後に，発話者が提案システムを利用するときの処理の流れについて説明する．

### 3.4. 遠隔インフォーマルコミュニケーション支援のアプローチ

---

発話者が発話を行うと、映像音声通信システムを通じて音声を受話者側の空間で再生される。システムが、その再生された音声や受話者側で個別に発生している音源、環境の音響特性を含めた受話者側の音響環境と、その変化を取得する。そのデータを元に、受話者にどの程度聞こえているかをシステムが推定し、発話者に視覚フィードバックを提示する。発話者は視覚フィードバックを取得することで、対面コミュニケーションのように、遠隔地の受話者に対して適切に発話音量制御を行うことができる。

本節で述べた実装を行ったプロトタイプシステムを用い、発話音量制御の機能や、遠隔インフォーマルコミュニケーションに対する有効性を検証するための実験を行ったので、次章に述べる。



## 第4章

# 視覚フィードバック提示による発話支援機能

本章では、提案する視覚フィードバックが、遠隔インフォーマルコミュニケーションの促進に重要である、発話音量制御の機能を持つかを、実験によって検証する。本研究では、意図のあるインフォーマルコミュニケーションを対象として支援システムを検討するため、発話者の役割をする被験者には話題やタイミングを指示し、受話者の役割をする被験者には待つことを指示して、偶然性の高い会話状況を用意した。

### 4.1 発話音量制御機能の検証

3章において提案した視覚フィードバックが、発話音量制御機能を持つか検証する実験を行った。遠隔インフォーマルコミュニケーションでの実利用を想定した場合、会話を用いた検証を行うべきであるが、会話を行う状況では会話における発声モデル(3.2節)で述べたように、単純に発話者の音量制御の意思の影響だけでなく、イントネーションや強調発話、笑い声などの会話中の感情の影響など、複雑な要因が関わってくる。そのため、まずは発話者に単語を発話させる実験によって発話音量制御機能を検証した。また、単語の発話よりも複雑な会話発話についても音量制御の効果があるかを検証するため、まず、発話音量制御が難しく視覚フィードバックの効果が大きいと予想される、会話の呼びかけの部分に着目した実験を行い、続いて、会話における実験を行った。

本論文における実験は、インフォーマルコミュニケーションで重要な発声モデルにおける、刺激発信フェーズのシステム要件より音声通信と、状況観察フェーズのシステム要件より映像通信を用いる。基本的に、実験での被験者は、発話者(発話を行う役割、もしくは発話を始める役割)と受話者(発話者の発話を聞く役割、もしくはその発話を受けて会話に参加する役割)で構成される。発話者と受話者は、互いに遠隔地間にいながら映像音声通信システムによってコミュニケーション可能な設定であった。その他に、実験タスクに応じて、2番目の受話者や受話者の役割を持たずに存在する第3者を用意した。

実験被験者は、発話者の役割と受話者の役割を共に行い、発話者の役割を先に行う被験者群と、受話者の役割を先に行う被験者群に分けて実験を実施した。

実験において、発話者が受話者に話しかけるタスクを採用した。これは、本研究が偶発的に発生するインフォーマルコミュニケーションの中でも、意図のあるインフォーマルコミュニケーションに着目しているためである。発話者には会話の話題やタイミングをあらかじめ指示したのに対して、受話者にはただ待つように指示することで偶発性の高い会話の状況を用意し、意図のあるインフォーマルコミュニケーションを再現した。ただし、意図のあるインフォーマルコミュニケーション支援の検討で得られた効果は、2章で述べた話題提供支援やコミュニケーション生起支援などと連携することによって、偶然のインフォーマルコミュニケーション支援を行うことも可能である。

また、視覚フィードバックを実装する際に必要となる最小可聴値は、人によって異なる数値であるが、一般的に年齢に依存してほぼ一定の値であるとみなし、今回の実験ではできるかぎり20代前後の同世代の被験者を利用し、また、事前に被験者に対して聴力検査を行うことで聴力健常者であることを確認した。そして、その被験者によって、視覚フィードバックの最小可聴値を決定するための微調整を行うことで、被験者に適切な視覚フィードバックを提示した。ちなみに、聴力検査としては、125Hz、250Hz、500Hz、1,000Hz、2,000Hz、4,000Hz、8,000Hzの7周波数において30dBで聞き取ることができた場合、聴力健常者であると判定した。

本実験では、視覚フィードバックによる発話音量制御の機能を検証するため、

発話音量制御が必要な状況を恣意的に作り出すこととし、映像音声通信システムの音量設定を2つ準備した。具体的には、発話者の発話音量が遠隔地では小さく再生され、適切な音量で発話するためには発話者は大きな声で話す必要がある抑声条件と、発話者の発話音量が遠隔地では大きく再生され、適切な音量で発話するためには発話者は小さな声で話す必要がある拡声条件を用意して、発話音量制御の効果を比較した。ただし、実験タスクによっては異なる音量設定を利用せず、自然な発話で相手と会話が行える設定も利用した。

#### 4.1.1 単語発話を用いた実験

3.4.3 節で述べた、発話者側の映像音声通信システムのディスプレイ上に視覚フィードバックを重畳させるシステム(画面提示システム)を利用して、単語発話を用いた実験を行った。被験者の位置関係とシステムの構成を図4.1に示す。それぞれの部屋の暗騒音は34dBであった。発話者の実験環境、受話者の実験環境は、それぞれ図4.2の通りである。単語発話の音量を制御させるために、本実験では受話者1の後ろに受話者2を置いた。発話者は受話者1、受話者2とは離れた部屋におり、マイク・スピーカとカメラ、ディスプレイによって受話者1、受話者2と会話をする事ができる。

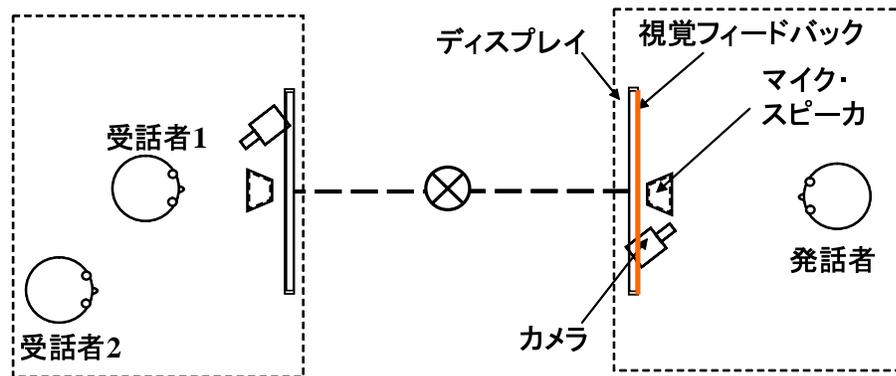


図 4.1 単語発話を用いた実験でのシステム構成



図 4.2 発話者側 (左) と受話者側 (右) の実験環境

実験条件は、

- 提案する視覚フィードバックと、従来の映像音声通信システムで用いられる入力メータの比較

である。入力メータとは、映像音声通信システムなどのマイクに発話音声を入力するときに、その入力音量を提示するメータである。発話者側のマイク入力音量に応じて動作するのは視覚フィードバックと同じであるため、入力メータと視覚フィードバックの違いは、音量の反応するエフェクトの位置が、最小可聴値以上の音量で聞くことのできる受話者側の空間にいる人の位置と対応しているかどうかという点のみである。実験中、発話者は受話者側の映像と入力音量メータ、あるいは視覚フィードバックが重畳した受話者側の映像を見ることができた。実験での入力メータの形状は一般的な入力メータと同様とし、画面の下方に複数の長方形のエフェクトが横棒状に設置された。発話者側のマイク入力音量があった場合、左側の長方形エフェクトから表示され、音量に応じて順次に右側の長方形エフェクトが表示される。入力メータのうち最も左側の長方形エフェクトが表示される音量と視覚フィードバックの最もスピーカに近いエフェクトが表示される音量は同じであり、入力メータのうち最も右側の長方形エフェクトが表示される音量と視覚フィードバックの最もスピーカから遠いエフェクトが表示される音量も同じである。また、それぞれの両端にあるエフェクトに挟まれる複数のエフェク

表 4.1 実験で用いた単語の例

オヤモト	ケイサツ	ジツブツ
ソラミミ	ツナガリ	ニンニク
ヒキダシ	ヤマカジ	リャクダツ
ミジンコ	....	....
....	....	....

トの数，エフェクトが表示されるとき音量も同じである．

音量設定は，拡声条件のみを利用した．これは，発話者は意識的に小さく話さないと受話者 2 に聞こえてしまう設定であり，発話音量 40dB 付近で発話した場合に，受話者 1 のみに聞き取れる音量で制御できる設定であった．

被験者は視覚フィードバックの基本機能検証であるため 30 代の男女 2 名（それぞれ発話者 A，B とする）で行い，実験タスクは発話者が受話者 1 だけに聞こえ，受話者 2 には聞こえないように発話することであった．

実験手順を以下に示す．

1. 事前に提案手法である視覚フィードバックと入力メータ，映像音声通信システムに関して説明を行った．
2. 映像音声通信システムを通じて受話者 1 にのみ聞こえ，受話者 2 には聞こえない音量で，1 分間あらかじめ与えられた単語のリストを順に読み上げるよう発話者に指示した．発話者の読み上げる単語（表 2）は「難聴者のための単語了解度試験用単語リスト」[52] より抜粋した．
3. システム上は受話者側からも発話者側に音声やジェスチャーで応答することができるが，実験では発話者が自分の声を制御するための要素の 1 つとして，受話者の応答を利用することを避けるため，受話者 1，2 には発話者の単語の読み上げに対して応答することを禁止した．
4. 受話者 1，2 には，単語の読み上げに対して 単語の聞き取りのみを行うよう指示した．単語を聞き取った場合「聞き取った内容」欄にその単語を記入し．音は聞こえたものの単語は聞き取りにくかった，または聞き取れない

かった場合、「聞きとりにくかった」欄にチェックを入れさせた。

5. 実験終了後、実験中の発話や行動に関する主観アンケートに回答させた。

評価は、映像音声通信システムのマイクに対する発話者の発話音量と、受話者1, 2の単語聞き取りの結果によって行った。発話者が視覚フィードバックを利用して適切な音量で受話者1のみに聞こえ、受話者2に聞こえないように発話した場合、発話音量は40dB付近となり、受話者1だけが単語を聞き取る数が多くなる。

#### 4.1.2 単語発話における効果検証

図4.3, 4.4は、それぞれ発話者A, Bの入力メータと提案手法における発話音量の推移を示す。各グラフの横軸は時間(sec)を示し、縦軸は発話者の発話音量(dB)を示す。

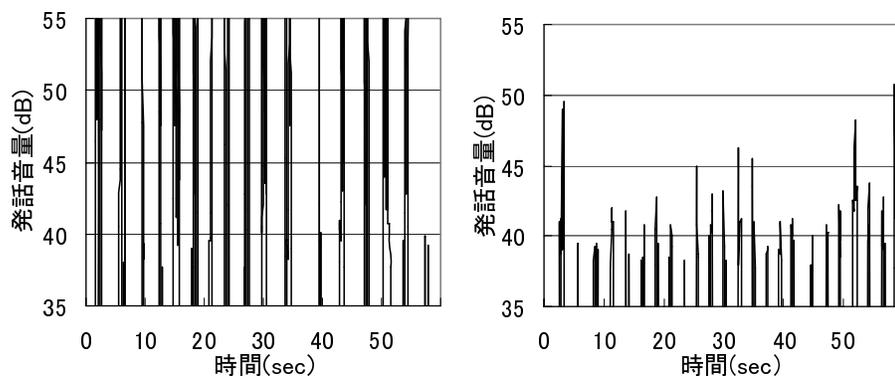


図 4.3 発話者 A の発話音量 (左：入力メータ，右：提案手法)

入力メータにおける結果より、入力メータの使用時の発話音量は適切な音量よりも大きいことがわかる。これは発話音量制御ができなかったことを示している。一方、提案手法における結果より、発話音量は40dB付近であり、視覚フィードバックの使用時、音量が受話者1だけに届く音量で抑えられており、発話者が発話音量制御できていたことがわかる。

視覚フィードバックは、受話者側の映像に波紋を重畳することによって音の伝

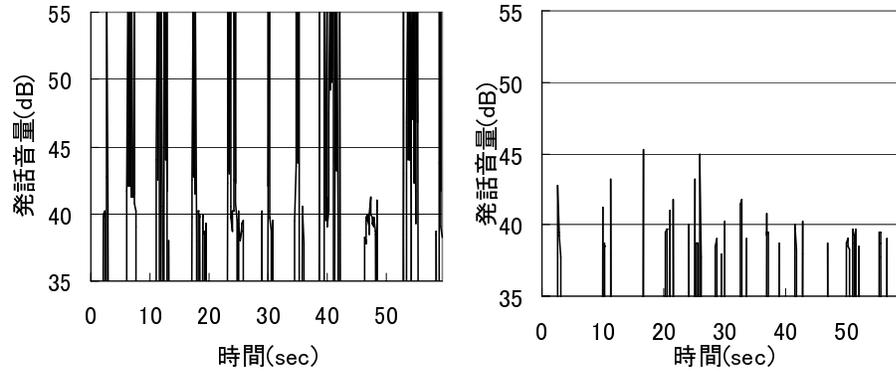


図 4.4 発話者 B の発話音量 (左：入力メータ，右：提案手法)

播と受話者側の空間との関係を発話者に提示しているので、発話者は発話に対する視覚フィードバックの反応によって、受話者 1、受話者 2 に聞こえているかを知ることができる。提案手法ありの条件において、発話者 A が実験開始から視覚フィードバックを用いて、適切に発話音量を制御するまでの過程に着目すると、1 度目の発話で発話音量が 45dB を越えた後、すぐに発話を抑えて発話音量を下げようとした行動が見られる。つまり、発話に対する視覚フィードバックの反応を一度見るだけで、ユーザは発話音量制御ができたことがわかる。

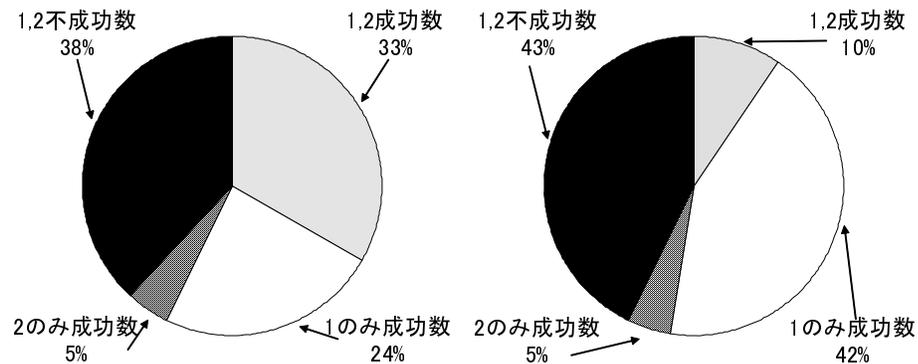


図 4.5 発話者 A 発話時の受話者 1, 2 による聞き取り数 (左：入力メータ，右：提案手法)

図4.5は発話者Aの発話聞き取り数のデータを表す。各グラフは時計回りに、全発話数に対する、受話者1と受話者2が聞き取った数の割合(1,2成功数)、受話者1のみ聞き取った数の割合(1のみ成功数)、受話者2のみ聞き取った数の割合(2のみ成功数)、受話者1も受話者2も聞き取れなかった数の割合(1,2不成功数)を示す。聞き取り数の結果より、入力メータの使用時より視覚フィードバックの使用時のほうが、受話者1のみ聞き取った割合が高く、受話者1と受話者2が聞き取った割合は低い結果が見られる。これは視覚フィードバックでは発話音量制御ができた場合が多く、入力メータでは制御ができた場合が少なかったことを示している。

実験では受話者1と受話者2のスピーカに対する位置関係より、受話者2のみ聞き取った割合は0%であるべきだが、実験結果では入力メータ、視覚フィードバックともに5%を示した。これは、人が聞き取るという行為をタスクとしたことの影響だと考える。物理的に考えると、スピーカに近い受話者1が聞き取れずにスピーカから遠い受話者2が聞き取れるということは考えにくいだが、それぞれの役割を人間が行ったために、聴力の良し悪しや聞き取りやすい周波数の違い、カクテルパーティー効果などの聴覚の個体差が影響した結果、稀に受話者2のみが聞き取った結果となったと考える。受話者1も受話者2も聞き取れなかった割合は、発話音量制御が適切にできていた場合、0%に近づくはずだが、実験結果では入力メータ、視覚フィードバックともに40%前後と大きな値を示した。受話者1も受話者2も聞き取れなかった確率が40%前後であった理由としても、まず上で述べた聴覚の個体差の影響が考えられる。また、単語を正確に聞き取ることが難しいタスクであったことが挙げられる。単語を正確に聞き取るには単語の一音一音を聞き取る必要があり、一音一音が一定音量以上で聞き取れた場合に単語を聞き取ることができる。しかし、本実験では人間が発話時にある単語の各文字を全て一定の音量で話したわけではなく、各文字に対して音量のばらつきがあったために、単語として聞き取りを行うのが難しい状況もあった。

以上より、単語発話を用いた実験の結果、入力メータを用いる場合よりも視覚フィードバックを利用することによって、発話者は適切に発話音量を制御できていることがわかった。発話音量は揺らぎがあるため完璧に制御することは難しい

が、発話者の音量を大きくしたい、小さくしたいという意思は反映できていた。

### 4.1.3 会話発話の開始部分における実験

単語発話を用いた実験によって、視覚フィードバックの発話音量制御機能が確認できたため、続いて会話発話の開始部分における効果を検証する実験を行った。

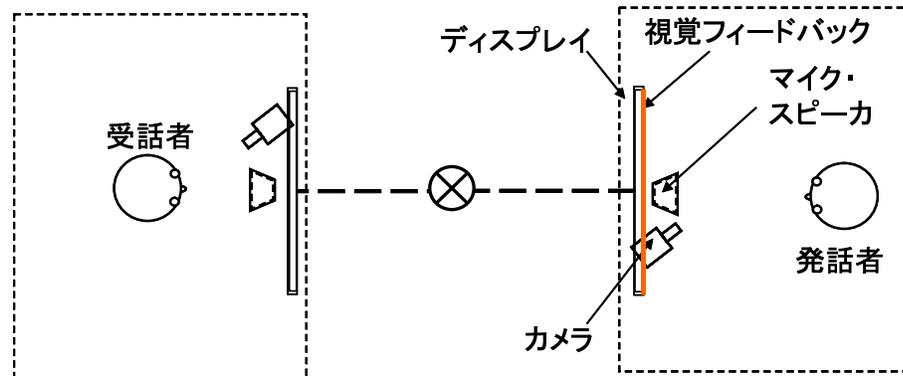


図 4.6 会話発話の開始部分における実験でのシステム構成

本実験では、前節と同様に視覚フィードバックによる画面提示システムを利用して会話発話を用いた実験を行った。被験者の位置関係とシステムの構成を図 4.6 に示す。それぞれの部屋の暗騒音は 34dB であった。

実験条件は、

- 提案する視覚フィードバックの有無の比較
- 配慮状況と急用状況
- 急用状況での抑声条件と拡声条件の音量設定

であった。

被験者は視覚フィードバックの基本機能検証であるため 30 代の女性 2 名であり、実験タスクはそれぞれ配慮状況、急用状況として与えられる指示を実施することであった。配慮状況は、受話者に配慮して情報を伝える状況であり、“あなたは以前相手との会話に出たおいしいレストランに、相手を誘って一緒に行こう

と思いましたが、急な要件ではないので、タイミングを見計らって『今週末、一緒にレストランに行きませんか?』と相手に伝えてください”という文章を指示用のディスプレイに表示した。急用状況は、急用として情報を伝える状況であり、“急用です! 30秒以内で相手に『5分後に会議が始まります!』を伝えてください”という文章を指示用のディスプレイに表示した。また、呼びかけを待っている受話者の状態としては、なにもしない状態を指示した。

実験の手順は以下の通りであった。

1. 事前に提案手法である視覚フィードバックと映像音声通信システムに関して説明を行った。
2. 実験前にそれぞれの自分の趣味について記述するよう指示した。
3. 受話者は映像音声通信システムから3m離れ、背を向けて発話者から呼びかけられるまでは振り向かないよう指示した。
4. 受話者が開始合図待ちの状態において、開始ボタンを押して実験を開始するよう発話者に指示した。
5. 開始後、発話者にタスクが表示され、一定時間後にタスクを開始する指示を表示した。
6. 発話者が呼びかけ、情報伝達を行い、受話者にタスクとして与えられた用件を伝え終わったときに実験を終了させた。
7. 実験終了後、実験中の発話や行動に関する主観アンケートに回答させた。

評価は、発話者が呼びかけて受話者が反応するまでの発話の回数によって行った。

### 4.1.4 会話発話の開始部分における効果検証

図4.7に、提案手法ありの場合と提案手法なしの場合の、発話者の呼びかけ回数の平均と標準偏差を示す。

配慮状況は、相手の状況を配慮するように指示されたタスクである。指示によって発話者は適切な音量で発話することを心がけたため、提案手法なしの場合、適切な音量を掴むことが難しく呼びかけ回数が多くなった。それに対して、提案手



図 4.7 受話者が反応するまでの発話回数の平均と標準偏差 (左：配慮状況，中央：[拡声条件，急用状況]，右：[抑声条件，急用状況])

法ありの場合，視覚フィードバックによって適切な音量を掴むことができ話し始めが早くなった。

また，[拡声条件，急用状況] は，急いで伝える必要がある状況であったが，受話者側に声は大きく伝わるため，用件は提案手法の有無に関わらずすぐに伝えることができた。しかし，[抑声条件，急用状況] では大きく発話しないと受話者に伝わらないので，適切に発話音量制御しなければ，タスクを遂行することが難しい条件であった。そのため，提案手法なしのとき，多くの回数の発話が必要とされ，そのため情報の本題を伝えることが遅れた。それに対して提案手法ありの場合は，発話者は発話音量制御の参考情報として視覚フィードバックを利用することができ，受話者に適切に呼びかけを行った。これより，視覚フィードバックが適切に呼びかけるための参考情報として有効であることがわかった。

また，“発話音量をちょうど良い状態にコントロールするのに時間がかかった。例えば，視覚フィードバックがないとき，繰り返し自分の声の大きさを受話者に確認していた。”という配慮状況の実験後のコメントは，視覚フィードバックの有効性を示している。これは発話者が受話者に配慮して情報を伝える条件でのコメントであり，発話者は適切な発話音量で受話者に発話しようとしていたことがわかった。具体的には，提案手法なしの条件のとき，“声は大き過ぎないですか？”，“小さ過ぎないですか？”という発話が多く見られた。これは従来の映像音声通信システム利用時によく起こる発話であるが，本実験では，提案手法なしの場合によく起こり，提案手法ありの場合にはほとんど起こらなかった。

### 4.1.5 会話発話を用いた実験

会話発話の開始部分における実験での視覚フィードバックによる呼びかけを早める効果検証に続いて、一般的な会話発話における効果を検証する実験を行った。実験システムの構成は4.1.3節の会話発話の開始部分における実験と同じであり、実験条件は以下の通りであった。

- 提案する視覚フィードバックの有無の比較
- 抑声条件と拡声条件の音量設定

被験者は20～40代の女性22名であり、実験タスクは1分間の会話をするのであった。実験の手順は以下の通りであった。

1. 事前に提案手法である視覚フィードバックと映像音声通信システムに関して説明を行った。
2. 実験前にそれぞれの自分の趣味について記述するよう指示した。
3. 受話者は映像音声通信システムから3m離れ、背を向けて発話者から呼びかけられるまでは振り向かないよう指示した。
4. 実験開始の合図により、発話者に会話を開始させた。
5. 1分後、会話を終了させた。
6. 実験終了後、実験中の発話や行動に関する主観アンケートに回答させた。

評価は、発話者の会話の音声より発話区間を抽出し、その区間ごとの発話音量を比較して行った。音声が400ms以上の空白によって分割されている場合を発話の区切りとし、それぞれの発話区間におけるRMS(Root Mean Square: 平均二乗根)値を算出して、その平均値を該当する発話区間の発話音量とした。特に、1番初めの呼びかけの発話(第一発話)とその次の発話(第二発話)に着目して分析した。第一発話とは、全く何の情報もない状態で受話者に向けて発話をするという条件であり、第二発話とは、提案手法ありの場合はフィードバックを受けた後の発話である。

## 4.1.6 会話発話における効果検証

それぞれの実験条件での第一発話と第二発話における発話音量の平均 (dB) と標準偏差を比較した (図 4.8) .

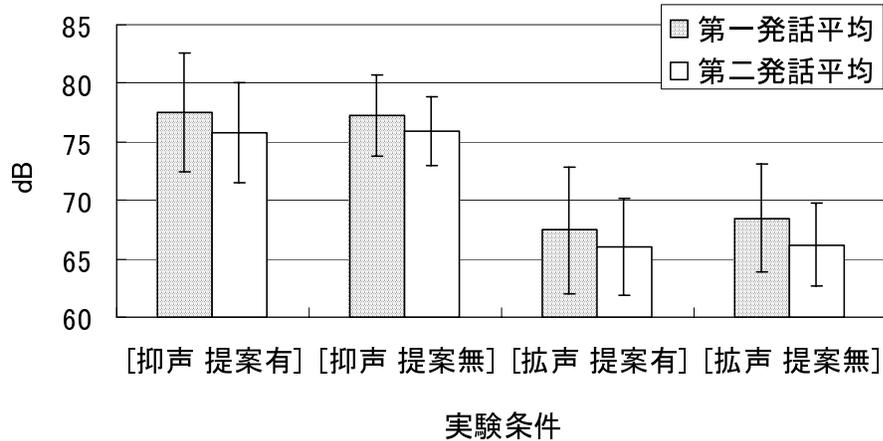


図 4.8 会話における提案手法の有無による発話音量の平均 (dB) と標準偏差

表 4.2 各条件における両側検定

	抑声条件	拡声条件
第一発話	有意差なし : $t(32) > -0.39, p < 0.05$	有意差なし : $t(32) > 1.32, p < 0.05$
第二発話	有意差なし : $t(32) > 0.30, p < 0.05$	有意差なし : $t(32) > 0.35, p < 0.05$

t 検定の結果, 抑声条件, 拡声条件ともに, 提案手法なしと提案手法ありの差分は優位ではなかった (表 4.2) . 平均値を比較した場合も大きな差はなく, 単語の発話や会話開始の呼びかけでは効果があったものの, 会話としての一連の流れの中の発話での影響の度合いは見られなかった . ただし, 標準偏差の値に注目すると, 抑声条件, 拡声条件ともに, 提案手法なしよりも提案手法ありの場合に標準偏差の値が大きくなっていることがわかる . このことは, 視覚フィードバックによって各発話者ごとに発話音量がばらついたことを示している . さらに, 発話

者の主観アンケートより、視覚フィードバックに対して有用だと感じた発話者と感じなかった発話者がいたことから、視覚フィードバックによって適切に発話音量を制御することができた一部の発話者が、小さい発話音量での会話をを行い、一方で、適切な発話音量制御ができなかった残りの発話者が、大きい発話音量で会話を続けたことが推測できる。この推測より、一部の発話者に対してのみであるが、第一発話によって視覚フィードバックより情報を得た発話者が、第二発話を行う際に発話者が適切に発話を抑えて音量を制御できている可能性を確認した。

### 4.1.7 発話者に対する心理的効果検証

前節までの発話に対する視覚フィードバックの効果について、主観アンケートにより発話者、受話者のコメントを収集した。その結果、発話者の心理的側面の変化に着目すると、視覚フィードバックが発話音量制御時に発話者の心理を安心させる効果を持つことがわかった。分析によって得た視覚フィードバックの特徴を項目ごとに述べる。

- 視覚フィードバックがある場合の発話者のコメント
  - 視覚フィードバックを見ることで、適切な声量で呼びかけることができていると思えた。
  - 視覚フィードバックを参考にすることできちんと声量調節できていると感じた。映像上の受話者のいる位置にちょうど波紋が重なるように音量を調節できた。
  - 声が聞こえているのがわかるので、安心して話すことができた。
  - 視覚フィードバックが反応していると、自分の声が相手に届いているという証明になって、自信を持って会話を続けることができた。
  - 会話の途中で相手の声が聞こえなかったので、視覚フィードバックで確かめられ、役に立った。
  - 自分の声が相手に聞こえていないときは、視覚フィードバックが反応していれば壊れていないんだと安心できる。
  - 声の大きさが目に見えて分かるように感じた。

- 慣れてきたら、受話者の方と視覚フィードバックと両方見れるので安心して話すことができた。
- 相手の位置と画面上の視覚フィードバックの関係性が理解しにくく、適切な調節が難しかった。
- 聞こえて欲しくない人にまで声が届いているようで不安だった。

視覚フィードバックがある場合の発話者のコメントは全体的に肯定的であった。発話音量を用いた分析によっても発話者が適切な音量で発話音量制御をできたことを検証したが、心理的にも受話者に対して適切な音量で発話できていると発話者が感じていることがわかった。さらに、安心して発話できた、自信を持って会話を続けることができた、という発話者のコメントより、視覚フィードバックによって2.5節で述べた遠隔コミュニケーションにおける発話者の心理的な抵抗感を取り除く効果があったことを確認した。特に受話者の声が聞こえないとき、受話者に声が届いていないという発話者と受話者の間の音声のやり取りに問題が起きるときに、視覚フィードバックは効果的に活用されたことがわかる。実験開始前に“波紋は受話者の映像を見るのに邪魔なので必要ないと思う。”とコメントした発話者も、実験後に“安心して発話できた。”とコメントしたことより、視覚フィードバックに対する最初の印象にかかわらず効果があることがわかる。

また、“目に見えて分かる。”というコメントより、発話者の直感的な情報取得に効果的である可能性がある。また、“相手の位置と画面上の視覚フィードバックの関係性が理解しにくく、適切な調節が難しかった。”というコメントより、適切な発話音量制御を行えた発話者であっても、その制御に難しさを感じていたことがわかる。これは発話者が適切な制御が行えなかった理由の1つでもあるので、直感的に視覚フィードバックの位置と最小可聴値で聞くことのできる受話者の位置の関係を理解できるようにする検討は必要である。

最後に、“聞こえて欲しくない人にまで声が届いているようで、不安だった。”というコメントは、視覚フィードバックの設計において注意すべき点を示唆している。視覚フィードバックは受話者が聞こえる発話音量を可視化することで発話者の発話が届いていることを明示的にして適切な発話を支援した。しかしそれと同時に、発話者の発話が適切でないことも明示的に知らせるシステムとなるため、

発話者が適切でない発話を行った場合、その可視化の結果に対して不安感やストレスを感じる可能性がある。このことから、常に視覚フィードバックを提示するのではなく、発話者が発話がどの程度届いているかと言うフィードバックを明示的に知らせて欲しい状況でのみ、視覚フィードバックを提示する機能も必要である。

- 視覚フィードバックがない場合の発話者のコメント

- 参考にする情報がないために自分の声量が適切かどうか不安になったので、視覚フィードバックが必要だと思った。
- 視覚フィードバックがない場合は、受話者がどの程度自分の声を聞いているのかわからない。
- 自分の勘で声を出して喋るので、相手に伝わりにくい。
- 小さい声で話さなければいけない時に奥の人に聞こえているのではと思い、やたらと小さい声になってしまった。結果的に手前の相手にも届かない時が多かった。
- 相手に自分の声が聞こえているか明確にする手立てがないため、声を張り上げるように会話してしまった。
- 自分の声の目安が相手の反応と視覚フィードバックだけなので、視覚フィードバックが表示されない条件のときでも視覚フィードバックに反応して欲しいと思った。

一方で、視覚フィードバックがない場合の発話者のコメントは、ほとんどが否定的であり、発話者は受話者側の空間での自分の発話音量を制御できないことに不安を感じていたことがわかる。参考にする情報がない状態であるため、発話者は自分の推測のみで発話音量制御を行い、そのため、相手に伝わりにくい、小さい声になりすぎた、声を張り上げて話したという結果になった。以上より、視覚フィードバックがない条件において発話者が適切な発話音量制御ができなかったときの心理状態の一部が把握できた。視覚フィードバックがないことによる不安感や発話音量制御の失敗した結果、視覚フィードバックに対して“反応していて欲しい”と感じる発話者が多かった。

- 受話者のコメント

- 視覚フィードバックのおかげか、相手の声が聞きやすく会話もしやすかった。
- 声をもっと大きくして欲しいが、なかなか相手に伝えにくかった。
- 視覚フィードバックが提示されているようなのだが、発話者が適切な音量調整を行ってくれない。

また、受話者のコメントは、その時の発話者の発話音量制御の結果によって、良い場合も悪い場合もあった。良いコメントとしては、“相手の声が聞きやすく会話もしやすかった。”というものがあつた。悪いコメントは、発話者が制御に失敗してるときのコメントで、“視覚フィードバックが提示されているようなのだが、適切な音量調整を行ってくれない。”のように漠然と発話者の適切な発話音量制御を希望するコメントもあれば、“声をもっと大きくして欲しいが、なかなか相手に伝えにくかった。”のように発話者に声の大きさの不足を伝える手段を求める声もあつた。

- 視覚フィードバックを使う状況に関するコメント

- 相手に声が届いているかどうかの目安にするとき。
- 雑音の多い駅のホームなどでテレビ電話を使うとき、相手に届いているか一目で分かると便利である。
- 距離がある人と話すときに、声が届いているかどうかを確認するとき。
- 耳の聞こえがあまりよくない人に対して話すとき。
- 相手に小さな声で話をしなければいけないとき。
- 他の人に聞こえないように話したい内容のとき。
- 相手の声が聞こえないとき。

最後に、視覚フィードバックを使いたい状況やタイミングについては、騒音下や相手との距離がある状態のような、相手に届く音量を推定するのが難しい音響環境において利用したいという要求が多かつた。一方、声が必要以上に届いてしまうことに対して不安を感じる状況として、小さい声で話すべき状況や、必要な

人以外に聞かれない内容の場合が挙げられた。また、直接的な原因ではないが、相手の声が聞こえないとき、発話者は自分の声が聞こえてないかもしれないという不安を抱く。携帯電話やテレビ電話で相手の声が聞こえないと大声を出してしまうという行為がその典型例である。このような状況であっても、視覚フィードバックが、自分は適切に発話音量制御をできているが相手ができている状況であることを把握させ、落ち着いてその状況に対応させることを支援できる可能性を持っている。

## 4.2 発話における配慮行動促進機能の検証

### 4.2.1 第3者を含む環境における実験

これまで発話者の受話者に対する発話音量制御について検証を行ってきたが、誰に伝播しているかわからない状況では話しづらくなる可能性が高いという知見 [46] より、会話に参加せずに別の作業に集中している第3者を加えた状況における検討も必要であると考えた。

そこで、視覚フィードバックが会話に参加しない第3者に対する発話者の発話行動に与える影響について分析する実験を行った。具体的には、視覚フィードバックがある場合に、第3者に関する実験条件の違いによって、発話者の発話における配慮行動に変化があるか観察した。

被験者の位置関係とシステム構成を図 4.9 に示す。3つの部屋の暗騒音は34dBであった。それぞれ3つの部屋のカメラで撮影した映像は、他地点の2部屋の映像を2画面構成として、それぞれの部屋にあるディスプレイ上に表示された。第3者が集中する作業は、目の前にシステム構成図に示された機材とは別に用意されたパソコンでのタイピングであった。

実験条件は表 4.3 の通りである。発話者に対する受話者の状態としては、対面する状態（受話対面）と、遠隔地間で映像音声通信システムを介して相対する状態（受話遠隔）、さらにその状態で視覚フィードバックを提示する状態（受話提案）を用意した。発話者に対する第3者の状態としては、対面する状態（第3者

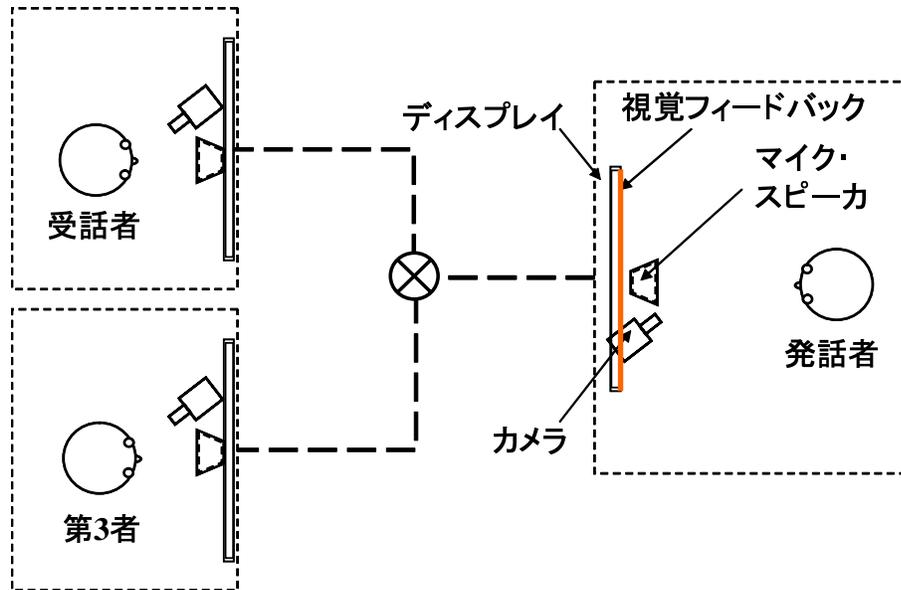


図 4.9 第3者を含む環境における実験でのシステム構成

表 4.3 受話者状態と第3者状態の組み合わせによる全実験条件のパターン

	受話対面	受話提案	受話遠隔
第3者対面	試行 1	試行 2	試行 3
第3者提案	試行 4	試行 5	試行 6
第3者遠隔	試行 7	試行 8	試行 9
第3者なし	試行 10	試行 11	試行 12

対面) と、遠隔地間で映像音声通信システムを介して相対する場合(第3者遠隔)、さらにその状態で視覚フィードバックを提示する状態(第3者提案)、第3者が存在しない状態(第3者なし)を用意した。本実験では、上記の受話者の3状態と第3者の4状態より、1人の発話者に対して計12通りの試行をランダムに行った。音量設定は、抑声条件や拡声条件は用いず、普通の発話音量でコミュニケーション可能な設定とした。

被験者は10～30代の男女32名であり、実験タスクはそれぞれの条件において発話者は受話者の趣味に関して受話者と1分間会話をすることであった。

実験手順は以下の通りである。

1. 事前に実験中の発話者と受話者の会話をはずませるため、自分の趣味を記述させた。
2. 事前に提案手法である視覚フィードバックと映像音声通信システムに関して説明を行った。
3. 発話者は受話者と会話をし、同時に第3者の作業を妨げないように指示した。
4. 第3者は1分間の会話の前後、常にタイピングをし続けるよう指示した。
5. 会話開始の合図によって、発話者は受話者の趣味に関して受話者に話しかけ、2人で1分間会話をさせた。
6. 会話終了の合図によって、発話者と受話者の会話を終了させた。
7. 実験終了後、実験中の発話や行動に関する主観アンケートに回答させた。

評価は、映像音声通信システムのマイクに対する発話者の発話音量によって行った。発話者の発話音量より音量制御行動の変化を分析し、主観アンケートの結果を交えて心理状態の変化を分析した。音声は400ms以上の空白によって分割されている場合を発話の区切りとし、それぞれの発話区間におけるRMS値を算出して、その平均値を該当する発話区間の発話音量とした。また、1試行における全ての区間の発話音量の平均値を該当試行における平均発話音量として利用した。

### 4.2.2 第3者に対する効果検証

図4.10に典型的な結果を示したある発話者Aの各受話者条件における平均発話音量を、図4.11に発話者Aの受話者対面・第3者提案条件での発話音量の推移をそれぞれ示す。

受話者に対して発話音量制御を行う傾向は多かったものの(図4.10)、実験前に受話者と会話することと同様に第3者に配慮することを教示したにもかかわらず、発話者が第3者に対して発話音量制御を行う傾向は少なかった。主観アンケートでは5%の発話者が第3者を意識して発話音量制御をしたと答えたのみだった。

しかし、主観アンケートで第3者を意識しなかった、あるいは、意識しようとしてもできなかったと答えた発話者の発話音量の推移を分析すると、図4.11に示

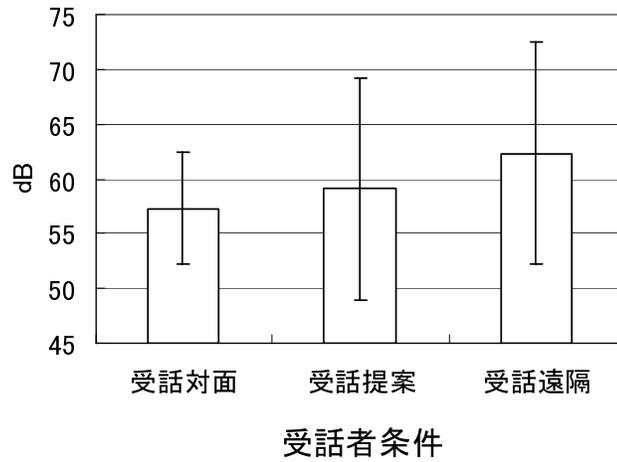


図 4.10 各受話者条件における各平均発話音量 (dB)

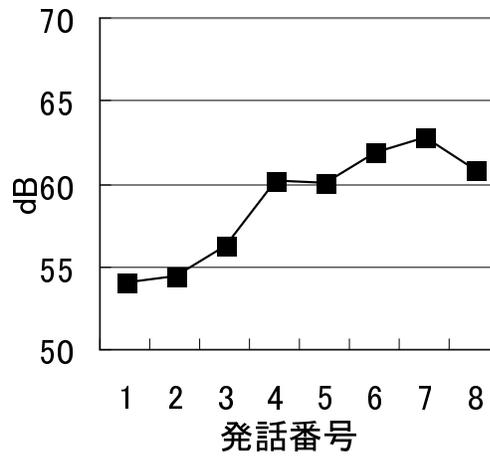


図 4.11 受話対面・第3者提案条件における発話番号順の発話音量の推移 (dB)

すように発話の冒頭において音量が小さく徐々に音量が上がっていく傾向が見られた。これは受話対面条件であり、かつ、第3者対面条件、もしくは、受話対面条件であり、かつ、第3者提案条件でのみ見られた。これは、受話対面条件のように、受話者の状況を把握しやすい状況が影響していると考えられる。さらに、

第3者対面条件，あるいは，第3者遠隔条件のように，第3者に届く音量が推定できる環境であった場合にのみ，第3者に対して配慮して音量を小さくするという行動が現れるものと考えられる．しかし，受話者との会話，第3者への配慮という2つのタスクを発話者に教示したにもかかわらず，会話するという能動的な行動を強制する指示と同時に，配慮するという意識レベルでの指示を与えられた場合，発話者は同時に指示に対応し続けることは難しかったと思われる．その結果，発話音量を冒頭で小さくしても徐々に音量が大きくなってしまった．

以上の結果に関連した，“若干気は使ったが話すことに精一杯になって，結局行動は変えなかった”，“第3者側の視覚フィードバックが反応しているということは，第3者にも話は聞こえていると思った”というコメントからも，第3者への発話音量の影響は把握しているが，配慮ある行動をし続けることは難しかったことがわかる．

### 4.3 考察

本章では，視覚フィードバックの基本効果検証として，受話者へ伝わる発話音量制御機能の検証するために，受話者側に伝わる音の伝播情報を表す視覚フィードバックを用いる実験を行い，発話音量制御における効果を検証した．その結果，発話者は視覚フィードバックによって受話者空間で発話が聞こえる範囲を把握し，発話音量制御できることがわかった．これらの実験より，視覚フィードバックが遠隔インフォーマルコミュニケーション促進に重要な，発話音量の制御が支援できていること，また，インフォーマルコミュニケーションで起こる頻度の高い呼びかけが円滑に行えることを検証できたことより，遠隔インフォーマルコミュニケーション支援の可能性が確認できた．

加えて，主観アンケートより，インフォーマルコミュニケーションが促進されない問題の1つであった，発話者の心理的不安に関して，視覚フィードバックの発話者の心理面に対する影響も大きく，安心して発話できる，自信を持って発話できるなど，心理的な抵抗感を取り除く効果が確認された．

以上より，提案手法である視覚フィードバックの提示が，発声モデルにおける

遠隔インフォーマルコミュニケーションで重要なフェーズである、刺激発信フェーズでの発話音量制御に対して効果があり、遠隔インフォーマルコミュニケーション支援に有効であることを検証した。

また、会話に参加しない第3者に配慮する受話者の行動を分析する実験を行った結果、発話者の発話音量の推移を分析すると、受話者でない第3者に対して配慮ある行動をとる効果を部分的に確認した。フォーマルコミュニケーションと異なり、第3者を含んだパブリックな場所で行われる可能性の高いインフォーマルコミュニケーションの支援において、その場にいる全ての人の総体的なストレスの軽減を考慮することは、重要な要素である。今回の検証実験ではその効果は大きなものではなかったが、配慮の効果を高めることで設置可能な場所の種類が増え、ひいては、遠隔インフォーマルコミュニケーションの社会的な普及促進につながるものと考えている。この相手に対して配慮する行動を促進させるという効果は、今後、情報機器が広い分野で利用され、社会の一部として機能する状況において、人間の良好な関係性の維持や人間の能力改善のために重要であると考えられる。



## 第5章

# 遠隔インフォーマルコミュニケーション支援に向けた機能拡張

本章では、前章の視覚フィードバックの発話音量制御機能の検証で得られた課題に基づき、遠隔インフォーマルコミュニケーションを効果的に支援するために、視覚フィードバック提示箇所、および、遠隔インフォーマルコミュニケーションの実利用シーンを考慮したシステムの実装形態に関して、システムを構築してその効果を検証する。

### 5.1 視覚フィードバック拡張機能の検証

本検討では最初のプロトタイプシステムとして、波紋型の視覚エフェクトを画面に提示する画面提示システムを採用したが、画面提示システムの要件が適切であるかを検討し、遠隔インフォーマルコミュニケーション支援システムとして有効性の高いシステムを構築する。まず、視覚フィードバックの発話音量制御機能の検証を行った結果より得られた、以下に示す2つの問題の解決に取り組んだ。

- 問題1：視覚フィードバックを画面上に提示するため、相手側にいる受話者の位置と画面上の視覚フィードバックが示す音伝播範囲との関係性が理解しにくい
- 問題2：視覚フィードバックによって発話者の発話音量制御のみを支援しているために、受話者に対する配慮が欠けている発話者の発話が受話者にス

### トレスを与える

問題1は、受話者の映る映像と視覚フィードバックを重畳させただけでは関係性がわかりにくいという問題だった。4章で得た発話者のコメントより、発話者の受話者位置と視覚フィードバックの位置の関係の把握の仕方には、大きく2つのタイプの発話者がいたことがわかる。1つは、“映像中の受話者の耳の位置に視覚フィードバックの到達するときに、受話者に発話者の声が聞こえる”と考えた発話者であり、もう1つは、“受話者の足の位置に到達するとき”と考えた発話者である。実験の事前説明では、“映像中の受話者の耳の位置に視覚フィードバックの到達するときに、受話者に発話者の声が聞こえる”と発話者に説明した。しかし、視覚フィードバックの表現が直感的でなかったために、誤解をした発話者がいたことがわかった。これを踏まえて、どの発話者も受話者の位置と視覚フィードバックの位置の関係をとり違えない提示方法が必要である。

問題2は、配慮のない発話者による不適切な発話音量制御が問題だった。4章で視覚フィードバックの機能検証を行ったが、その機能の効果が確認できたことと、視覚フィードバックを利用できる発話者が受話者に配慮して適切に話すこととは別である。受話者が発話者に適切に話して欲しいと感じるとき、システムの支援によって視覚フィードバックを効果的に活用できる仕組みがあることは重要である。そこで、受話者に配慮しない発話者を想定した支援方法の検討が必要である。

以上より、画面提示システムの問題を解決するためのシステム要件は、

- 発話者が発話しやすい環境であるために、視覚フィードバックと受話者の位置関係が直感的に把握できること
- 受話者が発話者の発話音量制御を支援できる環境にすること

である。

位置関係の直感的な把握のために、受話者の位置と視覚フィードバックの位置関係を取り違えない提示を行い、受話者が発話者の発話音量制御を支援するために、発話者と受話者に視覚フィードバックを共有させる方法を検討した。その結果、図5.3に示す受話者側の床面に視覚フィードバックを提示する床面提示シ



図 5.1 床面に投影される視覚フィードバック:受話者側の実験システム

システムを構築した。具体的には、受話者側に設置されたプロジェクタによって床面に視覚フィードバックを提示した。視覚フィードバックと受話者側空間での発話音量の最小可聴値との関係性は、画面提示システムと同様、発話者と受話者の位置関係が一定であると想定した音響モデルを用いることで、経験則的に決定した。その構成において、発話者のマイクに対する発話音量に応じて、対応する視覚フィードバックを受話者側の床面に提示した。受話者側空間にいる受話者が最小可聴値で発話者の発話を聞くことができる場合、視覚フィードバックのうち最もスピーカから遠いエフェクトがプロジェクタによってその受話者の位置に投影されるように設定した。3.4節で述べたシステム要件を踏まえて、視覚エフェクトの色は黄色を採用し、カメラは画面提示システムと同じく俯角を伴って受話者と視覚フィードバックを斜め上方から捕らえる位置に設置し、波紋の間隔は画面提示システムと同じ1.2mとした。

## 5.1.1 視覚フィードバック提示箇所検討実験

前節で述べた受話者側の空間の床面に波紋型の視覚フィードバックを投影する床面提示システムと、3.4.3節で述べた波紋型の視覚フィードバックを画面に重畳させる画面提示システムを比較検討することで、受話者と視覚フィードバックの対応関係の把握のしやすさによる効果を検証した。また、床面提示システムの利用方法を観察することにより、発話者と受話者が視覚フィードバックを共有することの効果を検証した。

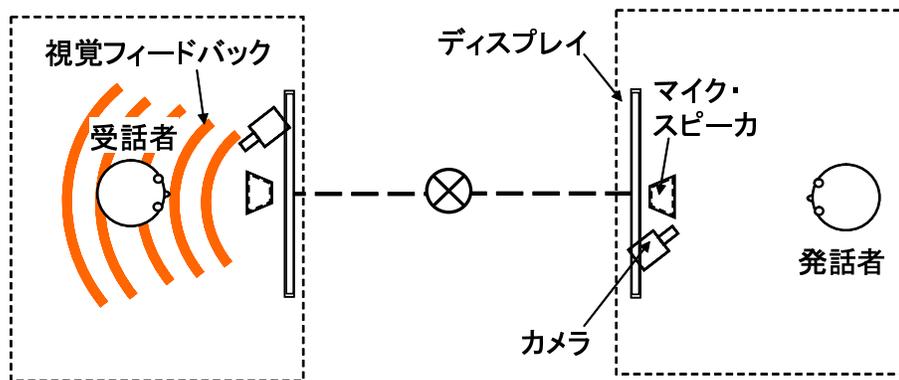


図 5.2 視覚フィードバック提示箇所検討実験でのシステム構成

被験者の位置関係とシステムの構成を図 5.2 に示す。それぞれの部屋の暗騒音は、発話者の部屋 (図 5.3) が 48.6dB、受話者 (図 5.1) の部屋が 48.2dB であった。実験条件は、

- 床面提示システムと画面提示システムの比較
- 抑声条件と拡声条件の音量設定

である。画面提示システムの視覚フィードバックは、床面提示システムで受話者側の床面に投影される視覚フィードバックと同じ位置に発話者の視点から見える位置に、映像通信システムのディスプレイ上に重畳して表示した。

音量設定は抑声条件と拡声条件を用意した。抑声条件では適切な音量で発話するために発話者は大きな声 (72dB) で話すことが必要であり、拡声条件では適切な音量で発話するために発話者は小さな声 (51dB) で話すことが必要である。



図 5.3 発話者側の実験システム

被験者は20～40代の女性22名であり、実験タスクはそれぞれの条件下で、事前に記述させた受話者の趣味に関して発話者が受話者と話をすることであった。実験手順は以下の通りである。

1. 実験中の発話者と受話者の会話をはずませるため、実験前に相談させて2人の被験者にとって話しやすい話題を記述させた。
2. 事前に提案手法である床面提示システムと画面提示システムの視覚フィードバックと映像音声通信システムに関して説明を行った。
3. 会話開始の合図によって、発話者に受話者の記述した趣味に関して受話者と1分間会話をさせた。
4. 会話終了の合図によって、発話者と受話者の会話を終了させた。
5. 実験終了後、実験中の発話や行動に関する主観アンケートを行わせた。

評価は、映像音声通信システムのマイクに対する発話者の発話音量を比較して行った。発話者の発話音量の変化を分析し、主観アンケートの結果を交えて心理状態の変化を分析した。音声で400ms以上の空白によって分割されている場合を発話の区切りとし、それぞれの発話区間におけるRMS値を算出して、その平均値を該当する発話区間の発話音量とした。また、1試行における全ての区間の発話音量の平均値を該当試行における平均発話音量として利用した。

発話音量の変化を分析するにあたり、以下を定義した。

- 標準発話音量は聴力健常者が 1m の間隔で対面して会話する時に利用する標準的な発話音量である。
- 番号付けされた発話 (例：第一発話，第二発話) は，複数の単語で構成され 400ms 以上の途切れがない一連の発話であり，実験開始時より順序番号が付与される。ただし，感嘆詞やためらいなどによる極端に音量の小さい発話や笑い声などの極端に音量の大きい発話は含まない。第二発話以降の発話の平均値も分析対象の数値として用いた。
- 番号付けされ，かつ，受話された発話 (例：第一受話発話，第二受話発話) は，番号付けされた発話のうち，発話時の受話者の受け答えや反応を参考にして，受話者に聞こえたとみなすことのできる発話である。

### 5.1.2 発話者に対する効果検証

図 5.4 に，各発話者の床面提示システムの平均発話音量から画面提示システムの平均発話音量の差分をとった数値より求めた平均と標準偏差を示す。

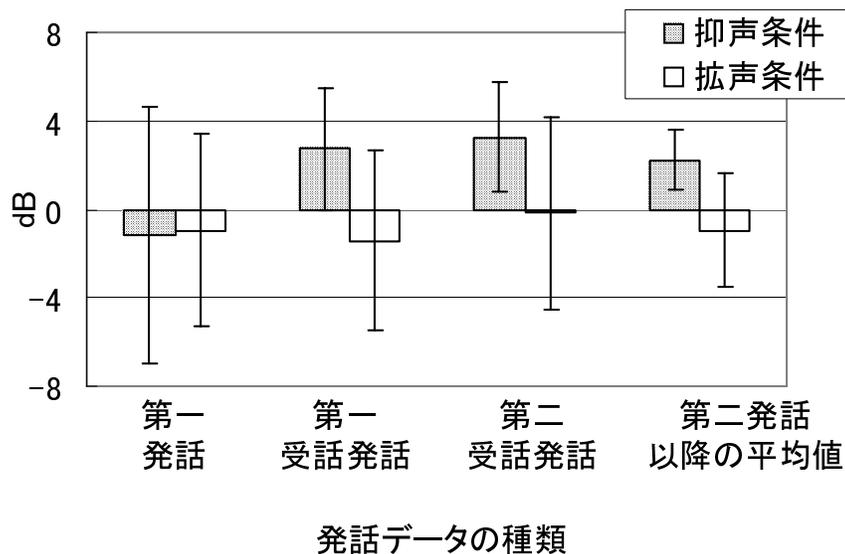


図 5.4 床面提示システムと画面提示システムの平均発話音量の差分値に対する平均と標準偏差

表 5.1 各条件における画面提示システムと床面提示システムの平均発話音量の差分値に対する両側検定

	抑声条件	拡声条件
第一発話	有意差なし： $t(42) > -1.28, p > 0.5$	有意差なし： $t(42) > -0.96, p > 0.5$
第一受話発話	有意差あり： $t(42) > 6.35, p < 0.05$	有意差なし： $t(42) > -0.99, p > 0.5$
第二受話発話	有意差あり： $t(42) > 8.30, p < 0.05$	有意差なし： $t(42) > -1.44, p > 0.5$
第二発話以降の発話の平均	有意差あり： $t(42) > 10.88, p < 0.05$	有意差なし： $t(42) > -0.18, p > 0.5$

t検定の結果を表 5.1 に示す。抑声条件では、床面提示システムと画面提示システムの差分は優位であった。つまり、発話者は画面提示システムの時よりも床面提示システムのために、適切な音量に近い音量で発話した。また拡声条件では、床面提示システムと画面提示システムの差分は優位ではなかった。第一発話に関しては、抑声条件と拡声条件ともに優位な差分はなかった。

図 5.5, 5.6 は抑声条件, 拡声条件それぞれにおける, 典型的な発話者の発話音量の推移を示す。横軸は発話の番号を表し, 縦軸は発話音量 (dB) を表す。太線 (図 5.5 における 72dB と図 5.6 における 51dB) は最小可聴値を示す。点線で示される標準発話音量は, 発話者である女性の対面会話時の標準的な発話音量 (63.4dB) [53] を用いた。第二受話発話以降の発話音量の平均値は, 第一受話発話の位置から始まる直線として示す。

抑声条件の結果 (図 5.5) では, 床面提示システムと画面提示システムそれぞれにおいて, 実験で取得した典型的な発話者 A, B のそれぞれのデータを折れ線として示した。床面提示システム A と画面提示システム A の結果が示すように, 発話者 A は第二発話から受話者に聞こえる適切な音量に近い音量で発話できた (第二発話 = 第一受話発話)。それに対して, 床面提示システム B と画面提示システム B の結果が示すように, 発話者 B は第三発話からしか第一受話発話は現れなかった。このように発話者によって第一受話発話の現れるタイミングは異なった。これは, 発話音量制御を行う際の発話者の行動の性質が, 大胆であるか慎重であるかに依存したようである。

第一受話発話の現れるタイミングは異なったものの、それぞれの発話者ごとに発話音量を比較すると、第一受話発話、第二受話発話、第二受話発話以降の平均音量において、画面提示システムよりも床面提示システムにおいて発話音量が小さく、発話者は最小可聴値に近い音量で発話できたことがわかる。これは、画面提示システムよりも床面提示システムによって、発話者が視覚フィードバックと受話者の位置関係を把握しやすかったためであると考えられる。特に、第二受話発話以降の平均音量においては、画面提示システムでは発話音量が最小可聴値を大きく超えたのに対し、床面提示システムでは発話音量は最小可聴値とほぼ等しかった。これは床面提示システムが、画面提示システムの問題点を解決し、視覚フィードバックと受話者の関係を把握しやすくなったためと考えられる。図 5.5 の床面提示システムにおける第一受話発話の結果は、発話者が受話者の反応を聞く前に適切な音量で発話できたことを示している。また、表 5.1 の標準偏差より、

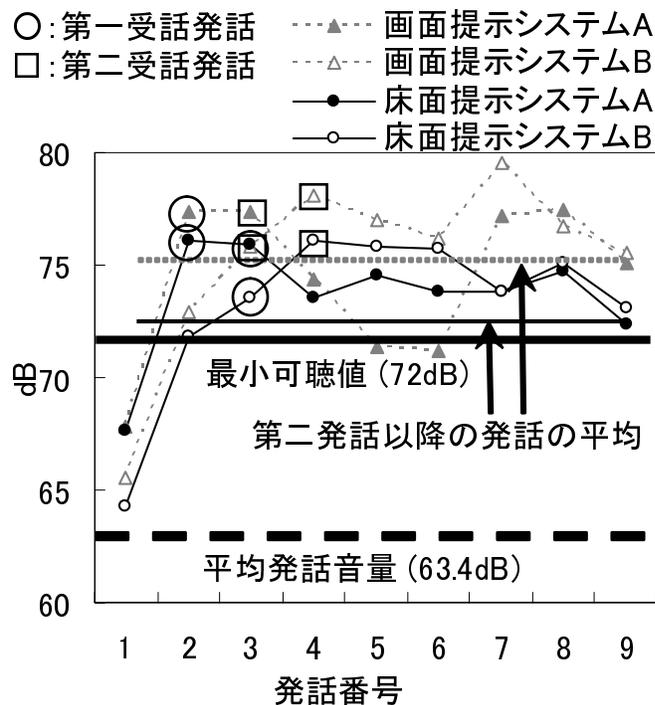


図 5.5 抑声条件における典型的な発話者 A, B の発話音量の推移

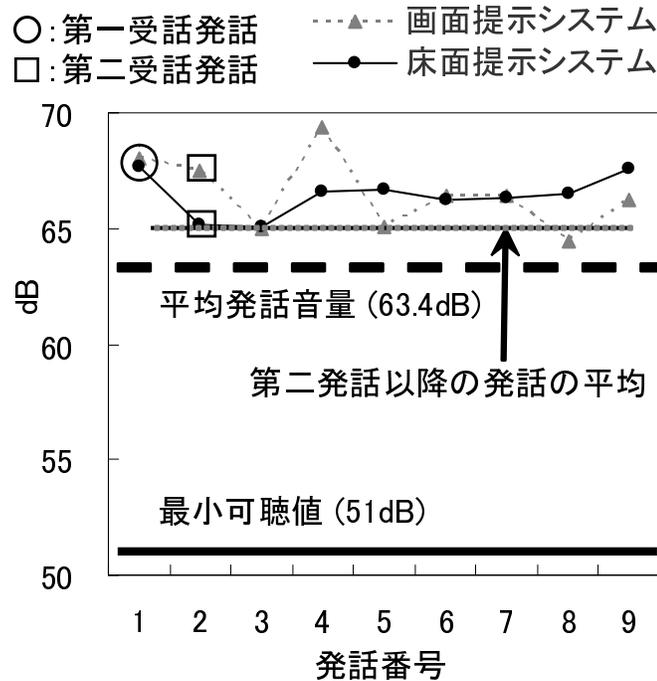


図 5.6 拡声条件における典型的な発話者の発話音量の推移

抑声条件では床面提示システムにおける視覚フィードバックの影響は画面提示システムよりも強かったことがわかる。

拡声条件では図 5.6 の結果より、床面提示システムと画面提示システムの結果はほぼ同じであり、発話音量は標準発話音量に近かった。これは標準発話音量で発話することが発話者にとって自然であり簡単であったためである。つまり、実験において発話者は視覚フィードバックを利用し最小可聴値で話すための必要性を持っていなかったためと考えられる。普通の会話の状況において、視覚フィードバックを受話者に適切な音量で話しかけるために利用することは可能であるが、実験では発話者の適切な音量で話しかけるといふ行為を促進することはできなかった。

以上より、床面提示システムは画面提示システムより視覚フィードバックと受話者の位置関係が直感的に把握しやすく、その結果、発話音量制御に対して効果

が大きいことを確認した。

### 5.1.3 受話者に対する効果検証

受話者のアンケート結果より、視覚フィードバックを共有することで、発話者と受話者は、2人が会話可能な程度のスピーカの音量設定になっているかどうか、受話者に発話者の声が聞こえているかどうか、を把握することができ、受話者が発話者の発話音量調整を支援できることがわかった。典型的な受話者のコメントとして、

- 視覚フィードバックによって客観的に発話者の音量が十分でないことがわかったので、発話者に声を大きくするように指示しやすかった。
- 同じ視覚フィードバックの情報を見ているので、自分が聞こえない状況を発話者も見ているはずなので、聞こえていないことを伝えやすかった。

があった、これらは、床面提示システムによって受話者が自信を持って発話音量制御の要求を伝えることができていることを示している。

発話者の役割を先に行った被験者の内90%の受話者は、受話者の役割を行うとき自分の空間の床面に提示される視覚フィードバックに気づき、その他の受話者の役割を先にした被験者と、発話者の役割を先にした残り10%の被験者は、会話に集中していたために視覚フィードバックに気づかなかった。視覚フィードバックの存在に気づいた被験者にとって、視覚フィードバックが見えることが会話の妨げにならないのかという懸念がある。しかし、受話者のコメント“視覚フィードバックに集中してはいなかったが、視覚フィードバックが自分に到達したときは周辺視野でそれを把握することができた”より、会話の妨げにはなっていないと考えられる。

以上より、床面提示システムによって発話者と受話者は視覚フィードバックの情報を共有することができ、その結果、発話音量制御に対して、受話者が効率的な補助的行動を取れる可能性があることが確認できた。

## 5.2 視覚フィードバック実装形態の検証

### 5.2.1 LEDマイク一体型システム

5.1節の検討で、視覚フィードバックによって、発話者と受話者の遠隔インフォーマルコミュニケーションを効果的に支援することに成功した。しかし、これまでの検討で構築したシステムは、フィードバック情報生成に必要な音響モデルの推定を経験則的に行っており、また、フィードバック情報提示に必要な空間を、特殊な実験室において確保していた。そのため、これまでのプロトタイプシステムを遠隔インフォーマルコミュニケーション支援に実用することは、利用環境での制約があるため難しい。

そこで本節では、遠隔インフォーマルコミュニケーションの実利用シーンの1つとして想定するオフィスや会議室、家庭に設置しやすい視覚フィードバック表現手法の検討として、以下の要件を満たすシステムを検討する。

- 映像音声通信システム越しに、視覚フィードバックの情報が遠隔の相手に知覚されること
- 一般的なオフィスや会議室、家庭のような家具や装飾品がある環境においても、システムが設置可能であること
- 波紋型の視覚フィードバックでは奥行き方向の表現が難しいためカメラに大きく俯角をつけて設置する必要があったが、俯角が小さい一般的な会議システムのカメラでも利用可能であること

遠隔インフォーマルコミュニケーションの実利用シーンを考慮したシステム要件より、画面提示システムで採用した空間の、すべての位置に対応する音響モデルを構築してから視覚フィードバックを生成し提示するのではなく、空間内のそれぞれの位置での音響モデルを独立で決定し、独立した音響モデルに基づき、視覚フィードバックを生成し提示することで、どの空間に設置されてもその機能を果たす手法を目指した。その簡易な実装形態として、一对の集音デバイスと視覚刺激提示デバイスを用いる独立したシステムでの視覚フィードバック提示を検討した。

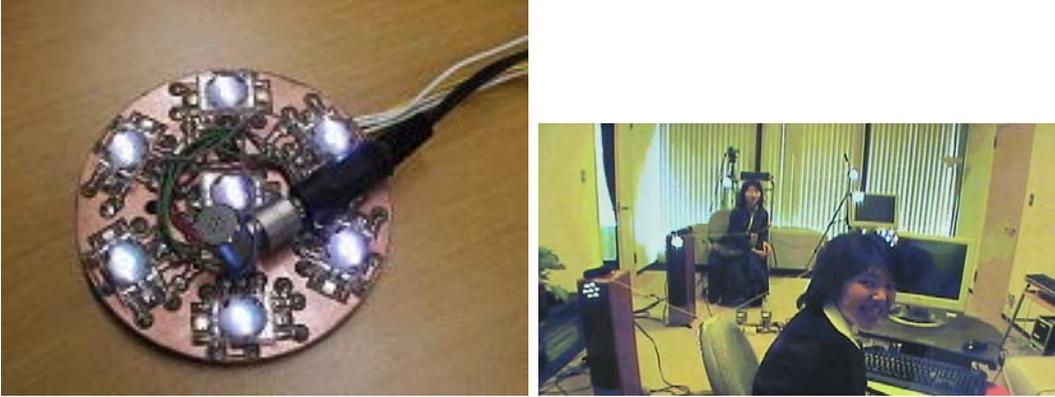


図 5.7 LED マイク一体型システム (左：システム概観，右：システム設置例)

具体的には，輝度の高いLEDデバイスと一般的なマイクをPCに接続する構成でLEDマイク一体型システムを構築した(図5.7)．理想としては，PCを利用せず代わりにマイクロプロセッサを用いることで独立したデバイスとして実装すべきある．しかし，検証実験を行うにあたっては，PCを利用したシステムでも検証すべき効果に違いがないことと，実験システムとして簡易なパラメータ設定が必要であることより，PCを利用したシステム構成を選択した．LEDマイク一体型システムは，任意の空間の任意の位置に設置することが可能である．システムのLEDデバイスが点灯するのは，システムのある位置に受話者がいると仮定したときの，最小可聴値よりも大きい発話音量がマイクに入力された場合である．システムのマイクに入力される発話音量が一定時間，最小可聴値以下であった場合，LEDデバイスの輝度は線形に小さくなり，消灯する．本実験で利用したシステムでは，最小可聴値以下であった場合の消灯までの時間を1秒として設定した．

複数のLEDマイク一体型システムを空間に配置することにより，ユーザは互いに相手の空間に，どの程度の音量で自分の発話が伝わっているのかを把握することができる．波紋型の視覚フィードバックを用いたプロトタイプと同量の視覚刺激を与えるためには，多数のLEDマイク一体型システムを置く必要があるが，床面提示システムのシステム要件でも述べたように，受話者側の空間に視覚フィードバックを提示することで，受話者の位置と視覚フィードバックの位置関係が明

確になることが重要である。よって、実験システムの実装では、受話者側の空間の、受話者が立ち寄る範囲を LED マイク一体型システムによって覆う位置関係で設置した。この実装によって、発話者は受話者側の空間内に分散して配置された LED マイク一体型システムからのフィードバック情報を補完して、それぞれを受話者の位置での情報を推定することができるので、受話者側の空間には LED マイク一体型システムをそれほど多く設置する必要はない。

### 5.2.2 実利用シーンを考慮した環境における実験

遠隔インフォーマルコミュニケーションの実利用シーンを考慮したシステム形態である LED マイク一体型システムが、従来のプロトタイプシステムと同様の発話音量制御の効果があるかを検証するため、発話者と受話者が会話を行う状況において、発話者が LED マイク一体型システムの視覚フィードバックによって適切な発話音量制御ができるか確認し、最終的にストレスの少ない遠隔インフォーマルコミュニケーションを支援できるか検証した。

遠隔インフォーマルコミュニケーションでの利用を想定した場合、会話を用いて検証すべきであるが、会話を行う状況では単純に発話者の音量制御の意思が影響するだけでなく、イントネーションや強調発話、笑い声などの会話中の感情の影響など、複雑な要因が関わってくる。そこで、まずは発話音量制御機能について、発話者に単語を発話させる実験によって検証した。またその後、単語の発話よりも複雑な会話における発話においても音量制御の効果検証実験を行った。

被験者の位置関係とシステムの構成を図 5.8 に示す。発話者の部屋の暗騒音は 51.7dB であり、受話者側の空間の手前に座る受話者 1 と、奥に座る受話者 2 がいる部屋の暗騒音は 56.4dB であった。図 5.9 は発話者側の部屋から受話者側の部屋を撮影した実験の様子を示す。

実験条件は、

- 提案手法である LED マイク一体型システムの有無
- 抑声条件と拡声条件の音量設定
- 指示される会話の相手が受話者 1、もしくは受話者 2

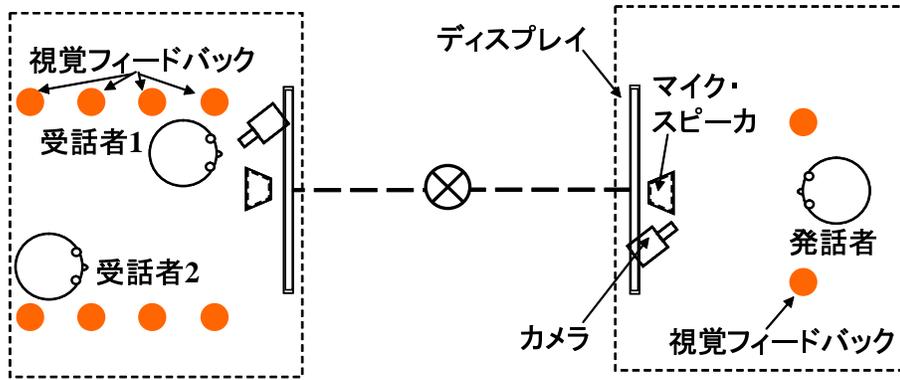


図 5.8 実利用シーンを考慮した環境における実験システム構成



図 5.9 発話者側から見た実験風景

であった。

被験者は20～40代の女性26名であり、実験タスクは指示された会話の相手(受話者1, もしくは受話者2)に対して、指定された単語を伝える、あるいは、1分間会話をすることであった。

実験の手順は以下のとおりであった。

1. 事前に提案手法であるLEDマイク一体型システムの視覚フィードバックと映像音声通信システムに関して説明を行った。
2. 実験前にそれぞれの自分の趣味について記述するよう指示した。
3. 単語発話を用いた実験

- (a) 実験開始の合図により，発話者は与えられた単語を指示された受話者に聞こえる音量で話しかけさせた．
- (b) 与えられた1つの単語につき5回(a)を行わせた．
- (c) 受話者1,2は，発話者の単語を聞き取れた場合にはその単語を書取り，何か聞こえるが単語として認識できない場合には斜線を入れ，全く聞こえなかった場合には記入をしないよう指示した．
- (d) 受話者1,2は，単語が聞こえたかどうかを発話者に悟られないように，できるだけ動かずに記入するよう指示した．

#### 4. 会話発話を用いた実験

- (a) 実験開始の合図により，発話者は，指示された受話者に聞こえる音量で，指示された話題(指示された受話者の趣味)に関して，任意の音量で話しかけ，会話を1分間行うよう指示した．

#### 5. 実験終了後，実験中の発話や行動に関する主観アンケートに回答させた．

単語発話を用いた実験では，実験1の指示で発話者に同じ単語を5回発話するように指示したため，視覚フィードバックの効果は5回目の発話にもっとも影響していると考えられる．よって，単語発話に対する評価は，5回目の発話に注目して，単語発話の発話音量のRMS値に対して，提案手法ありの場合と提案手法なしの場合の発話音量の差分に着目して有意差検定を行った．

会話発話に対する評価は，発話者の会話の音声より発話区間を抽出し，発話音量を比較して行った．音声は400ms以上の空白によって分割されている場合を発話の区切りとし，それぞれの発話区間におけるRMS値を算出して，その平均値を該当する発話区間の発話音量とし，提案手法ありの場合と提案手法なしの場合の発話音量の差分に着目して有意差検定を行った．また，主観アンケートによる評価も行った．項目としては，会話全体に対する印象を問う項目(全体印象)，呼びかけのタイミングでの発話のしやすさを問う項目(呼びかけ)，会話中の発話音量を調整したことを問う項目(調整(上)，調整(下))，会話中に発話音量を決定するのにLEDデバイスを利用したことを問う項目(LED利用)を用意した．

## 5.2.3 単語発話における発話音量制御機能の効果検証

提案手法ありと提案手法なしの単語発話における発話音量の差分より，次の統計量が得られた(表 5.2)．抑声条件での発話音量の差分，拡声条件での発話音量の差分とも有意であった．

表 5.2 単語発話実験の各条件における両側検定

	両側検定の結果
抑声条件	有意差あり： $t(52) > 5.30$ , $p < 0.01$ (平均 4.80dB, 標準偏差 6.46)
拡声条件	有意差あり： $t(52) > 3.28$ , $p < 0.01$ (平均 3.74dB, 標準偏差 7.55)

このようにLEDマイク一体型デバイスによっても，単語発話における視覚フィードバックの効果があることが確認できた．特に抑声条件での視覚フィードバックによる音量を上げさせる効果は，拡声条件での音を下げさせる効果よりも音量を上げさせる効果より大きかった．

抑制条件で音量を上げる効果が大きく，拡声条件で音量を下げる効果が小さかったのは，各条件のコミュニケーション障害に対する影響の違いによるものと考えられる．抑声条件では声が届かないと会話が成り立たないため，発話者の視覚フィードバック利用に対する意識は高まる．一方で，拡声条件では手前の受話者のみに聞こえる音量で発話するという実験指示が与えられているが声が大きくても会話は成り立つ．“視覚フィードバックがなくても会話のできたので，普通に話した”というコメントからも拡声条件では視覚フィードバック利用に対する意識が低かったことがわかる．ただし，単語発話のタスクではともに有意差があり，視覚フィードバックによって，音量を上げる制御も下げる制御も任意に可能であったことがわかる．

もう1つの理由として，視覚フィードバックシステムの構成の影響が考えられる．図 5.8 に示すように，受話者側の空間の1番手前に設置されたLEDデバイスが点灯したときに手前の受話者に音が届いていることがわかる．しかし，本実験でのシステム構成では，手前の受話者に音が届いたことはわかるが，手前の受話

者に音が届くまでの過程がわからず、ぎりぎり音を届く音量で制御することができない。そのために手前の受話者だけに聞こえる音量で発話を制御することが難しかったと考えられる。

#### 5.2.4 会話発話における発話音量制御機能の効果検証

提案手法ありと提案手法なしの発話音量の差分より、次の統計量が得られた(表 5.3)。抑声条件での発話音量の差分は有意であったが、拡声条件での発話音量の差分は有意でなかった。LED マイク一体型デバイスによって、抑声条件では会話における視覚フィードバックの効果があることが確認できたが、拡声条件では会話における効果の有意差はなかった。

表 5.3 会話発話実験の各条件における両側検定

	両側検定の結果
抑声条件	有意差あり： $t(52) > 3.12$ , $p < 0.01$ (平均 0.91dB, 標準偏差 2.07)
拡声条件	有意差なし： $t(52) > 1.35$ , $p < 0.01$ (平均 0.76dB, 標準偏差 4.0)

この理由の1つは、単語発話での実験において抑制条件で音量を上げる効果が大きく、拡声条件で音量を下げる効果が小さかった理由と同じであり、各条件のコミュニケーション阻害に対する影響の違いによるものと考えられる。その他の理由としては、複数の要因の影響を受ける発話区間ごとの RMS 値の平均によって、会話の分析をしていることが挙げられる。視覚フィードバックの有無による比較実験を行ったので視覚フィードバックの有無による影響がその大きな要因であることに違いはない。しかし、単語発話と異なり発話者の会話時の発話特徴や心理量などの、発話者ごとに、しかも動的に不規則に変化する要因の影響は無視できない。この影響を客観的な値として取得することは難しいので、今回は主観アンケートによって補完した。

また、各発話者ごとに提案手法ありと提案手法なしにおける発話音量の大小を調べたところ、抑声条件では 26 名中 17 名の発話者が、提案手法ありのときに提

案手法なしのときより大きな音量で、指定の受話者に届くように適切に発話していた。また、拡声条件では26名中18名の発話者が、提案手法ありのときに提案手法なしのときより小さな音量で、指定の受話者に届くように適切に発話していた。この結果より、拡声条件では有意な音量差分はなかったものの、視覚フィードバックにより発話音量制御が促進された可能性が見られる。

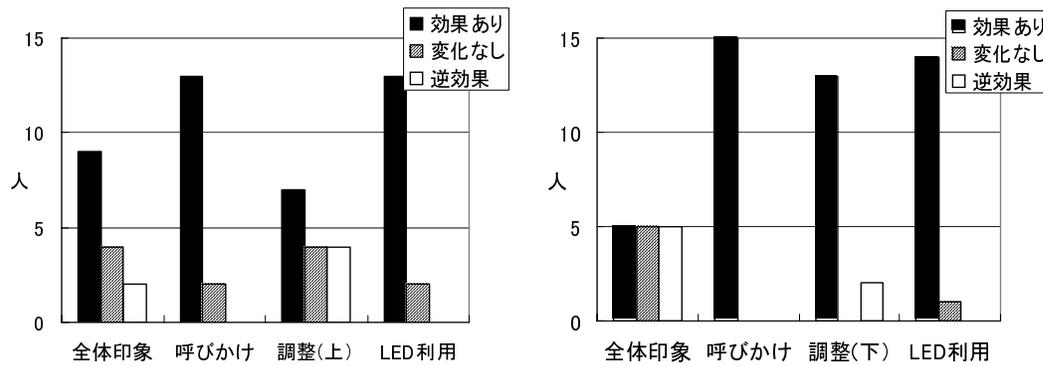


図 5.10 アンケート回答における視覚フィードバックの効果 (左：抑声条件，右：拡声条件)

有効回答数 15 名のアンケートの結果を図 5.10 に示す。抑声条件では、全ての項目において半数以上の発話者が視覚フィードバックの効果があったと回答した。全体的に発話がしやすい効果があることを確認した。特に呼びかけの場面で効果的であることがわかった。7名の発話者は音量調整を行えたと感じており、その7名のうち6名の発話者が、提案手法ありのときに、提案手法なしのときより大きな音量で、指定の受話者に届くように適切に発話していた。つまり、発話者が音量を調整できたと感じた場合、実際に発話音量調整は成功しており、視覚フィードバックは発話者の行動面だけでなく、心理面にも影響を与えた可能性がある。ほとんどの発話者が視覚フィードバックを利用したが、利用しなかった発話者も2名いた。“ 会話に集中してしまい、見る余裕がなかった ”というコメントがあったが、これは視覚フィードバックの情報を拒否したわけではなく、視覚フィードバックの情報を利用することが難しかったことを意味する。これより、会話に集中してしまう発話者に対する情報提示方法の検討も必要であることがわかる。

拡声条件では、全体印象以外の項目において8割以上の発話者が、視覚フィードバックによって効果があったと回答した。全体的な発話のしやすさの評価が高くなかった理由としては、単語発話実験と同様の理由が考えられる。手前の受話者のみに話す、という特殊な事前説明を行う実験ではあったが、発話者が呼びかけ時だけでなく会話中も音量を下げることを意識しながら発話し、そして実際に12名の発話者が音量を下げて発話できていた。この結果は、発話者に配慮ある発話行動を促すことにつながる結果であると考えられる。

以上より、LEDマイク一体型システムも、プロトタイプシステムで検証してきた視覚フィードバックの発話音量制御の効果があることを確認した。これにより、LEDマイク一体型システムは、発話音量制御機能を持ち、かつ、遠隔インフォーマルコミュニケーションの実利用シーンに簡単に設置できる、実用的な遠隔インフォーマルコミュニケーション支援システムであると言える。

### 5.3 考察

本章では、視覚フィードバック自体の利用しやすさを高めるためのフィードバック表現手法の検討として、床面提示システムの手法を取り入れることで、画面提示システムでの課題である、視覚フィードバックと受話者の位置関係を直感的に理解できるようにし、受話者が視覚フィードバックを利用して発話者の発話音量制御を支援できる効果を確認した。これによって遠隔インフォーマルコミュニケーション促進に重要な、適切な発話音量制御が、発話者側の視点からも受話者側の視点からも改善することができた。発話者は視覚フィードバックの発話音量制御によって、ストレスを感じずに遠隔インフォーマルコミュニケーションを行うことができ、受話者は発話者と共有された視覚フィードバックによって、発話者の発話音量制御が不適切な場合でも、ストレスを感じずに自信を持って指摘することができる。

また、遠隔インフォーマルコミュニケーションの実利用シーンを考慮したシステム形態を検討し、オフィスや家庭に設置しやすい形態である視覚フィードバック表現手法としてLEDマイク一体型のシステムを構築した。LEDマイク一体型

システムの発話音量制御における効果を検証した結果、視覚フィードバックの発話音量制御の効果があることを確認できた。つまり、LEDマイク一体型システムによって、適切な遠隔インフォーマルコミュニケーション支援が可能な実用的なシステムを実現できた。

## 第6章

# 遠隔インフォーマルコミュニケーション支援システムの考察

本章では、前章までにおいて検証した視覚フィードバックの効果を踏まえて、実利用に必要な検討の考察や、視覚フィードバックの機能を効率的に活用する方法、視覚フィードバックの効果を他の領域に適用する方法の考察を行う。これらの考察を行うことで、支援システムによって効率的に遠隔インフォーマルコミュニケーションが促進できるだけでなく、支援システムの社会への普及を促進することができると思う。

### 6.1 実利用に向けた検討

本研究では、遠隔インフォーマルコミュニケーションをストレスなく行えるように支援をするために、遠隔地間のコミュニケーションで把握することが難しい、受話者がどれだけの音量で聞いているのかという情報を、発話者にフィードバックすることによって、遠隔地間での自然なインフォーマルコミュニケーションの実現を目指した。その結果、提案システムを現在普及しているテレビ電話やテレビ会議システムに適用することで、遠隔インフォーマルコミュニケーションが行える場を構築し、ストレスのない遠隔インフォーマルコミュニケーションを支援できることを確認した。今後、提案した視覚フィードバック提示を実利用するのにあたって、以下の点を考慮し検討する必要がある。

今回の検討は、遠隔地間に離れた片側のユーザの発話音量制御を支援する目的

で、システム要件検討や実装、実験を進めた。非対称な支援システムによって、片側のユーザに対する視覚フィードバックの効果を確認できたため、対称に機能する視覚フィードバック提示によって、両側のユーザに対しても同等の効果があると推測する。しかし、両側のユーザを支援する場合に追加で検討すべき内容が発見されることも考えられるため、今後、双方向コミュニケーションにおける両側のユーザを支援した形態での効果の検証を行う必要がある。

また、理想的な遅延の少ない通信環境において実験を行ったため、通信遅延に関する検討は行っていない。本検討では通信遅延の影響が大きく異なる2つの実装を行ったので、それぞれについて通信遅延の影響と効果を議論する。

1つは、発話者側のディスプレイに視覚フィードバックが提示される実装方法である(4章で述べた画面提示システム)。この場合、映像音声通信が遅延の影響を受けるため発話者が受話者の反応を得ることにに対して遅延が生じるが、視覚フィードバックは発話者側のシステム内で推定して提示されるため遅延の影響を受けない。これによって、発話者は、受話者の聞こえたタイミングを視覚フィードバック提示より正確に知ることは難しくなるが、受話者が聞こえたかどうかの反応を行うよりも前に視覚フィードバックによって受話者に聞こえたかどうかを把握することができるため、遅延のある通信システムでの適切な発話音量制御の最適化を早く行えると推測できる。

もう1つは、受話者側の空間において視覚フィードバックが提示される実装方法である(5.1節で述べた床面提示システムと5.2節で述べたLEDマイク一体型システム)。この場合、視覚フィードバックの提示は直接遅延の影響を受ける。しかし、発話を聞いた受話者が示す反応が通信システムを通して伝わるタイミングと視覚フィードバックが通信システムを通して伝わるタイミングが一致するため、発話者は受話者が聞こえたタイミングを知ることができる。この遅延を伴った視覚フィードバックの表す情報を考えると、発話者の発話音量を表すだけでなく、通信遅延の度合いも含めて可視化していることがわかる。つまり、視覚フィードバックの情報を遅延情報としても利用し、受話者の反応を待つなど、会話の間合いをとるために活用して円滑に会話を行うことが可能である。

今回の検討では、1人の発話者の発話に対する視覚フィードバック提示のみを検

討してきた。しかし、実際の遠隔インフォーマルコミュニケーション支援システムは複数人によって利用される。リアルタイムに視覚フィードバックが発話に反応するシステムであれば、最小可聴値で聞こえる位置と視覚フィードバック提示位置の対応付けにより、誰の発話によって動作した視覚フィードバックであるかを、同時に聞こえる発話者の声を聞くことによって判断できると考える。ただし、発話者をわかりやすく特定するために、あるいは、リアルタイムに視覚フィードバックが動作しないシステムを補助するために、複数地点に分かれて利用する発話者を識別するよう、それぞれの遠隔地から発話に対して異なる色の視覚フィードバックを提示する方法や、1地点にいる複数の発話者を識別するよう、発話スペクトルより発話者ごとに異なる色の視覚フィードバックを提示する方法が考えられる。

これと関連して、今回は常時接続された2地点間の人々の遠隔インフォーマルコミュニケーション支援を想定して検討を進めた。しかし、オフィスが多地点間に分散している場合や、数人がモバイル環境から接続する場合などは、地点数に対応する数のディスプレイを設置する、ディスプレイ内を地点数分の画面領域に分割する、あるいは、ディスプレイ上に各地点の映像を時分割で提示するなどの方法が考えられる。このときに、接続する各地点にいるユーザの関係性を活用して画面領域の大きさや時分割のタイミング、提示時間の割合を決定することにより、遠隔インフォーマルコミュニケーションの促進を効率的に支援できる可能性もある。

以下、視覚フィードバック提示をより効率的に利用して遠隔インフォーマルコミュニケーションを支援する方法と、視覚フィードバック提示を他の技術と連携する、あるいは、異なる領域に適用することで効果を得る方法について考察を行った。

## 6.2 視覚フィードバック提示の効率化

今回、最初に視覚フィードバックのそのもの効果を検証するために、音の伝播をもっとも直感的に表すであろう波紋型のエフェクトによってシステムを構築し

た。しかし、波紋型の視覚フィードバックだけでなく、他の提示手法もあると考えている。例えば、各受話者が聞こえている音量を、遠隔地点の映像に写るすべての受話者の傍に棒型エフェクトを提示する方法がある。システム要件の範疇でのデザインの変更は、視覚フィードバックの基本効果に影響を与えないと考えるので、利用目的や設置場所、設置場所にいるユーザの行動(移動の頻度や動線、滞留時間など)に応じた適切なデザインの視覚フィードバックを提示することで、効率的な支援が可能である。

また、実験被験者の感想として、実験中の会話に視覚フィードバックが必要であると感じないという回答があった。主観アンケートでそのように回答した被験者は、受話者との会話や受話者の反応を見ることに専念していたと回答していた。今回の検討では実験中、常時、視覚フィードバックを提示していた。しかし、視覚フィードバックは、発話者が任意の発話音量制御ができないことによる心理的ストレスを感じる時に提示されることで、大きな効果がある。このことより、発話者が視覚フィードバックを求める度合いを抽出して、発話者が心理的不和を感じやすい場面など、発話者ごとに必要なタイミングにのみ動的に視覚フィードバック提示を制御する方法によって、効率的に発話者を支援できる。

次に、会話を行う映像通信システムのディスプレイの種類を考えた場合、一般的に大画面ディスプレイによる相手を等身大で見ることができ環境が効果的であるが、オフィスのデスク周辺で支援する場合は、休憩場所や廊下と異なり大画面ディスプレイの設置は難しい。20インチ以内の液晶ディスプレイが利用される可能性が高いことを考慮すると、小型のディスプレイを利用する場面を想定した視覚フィードバック提示の工夫が必要である。対応策としては、LEDマイク一体型システムによる音響環境を簡易に推定できる構成と、画面提示システムの発話者に確実に見える情報提示が可能な特徴を効果的に取り入れたシステムを利用する方法が考えられる。また、オフィスや家などの固定の場所に在席しないユーザに対しては、モバイル環境での支援が必要である。携帯電話のような小型ディスプレイを備えたデバイスに対しては、デバイスの持つマイクによる簡易な音響環境推定と画面提示システムの特徴を併せ持った支援が考えられる。

## 6.3 視覚フィードバック提示と他の技術との連携

提案手法の効果を活用する方法として、2章で述べた先行研究と連携することによって、効率的に目的を達成することが考えられる。例えば、先行研究として紹介したような話題を提供するシステムと連携し、話題や話のきっかけを与え、会話の開始のタイミングや会話中の支援を視覚フィードバックで行うことで、包括的に遠隔インフォーマルコミュニケーションを支援することができる。

また、本検討では主に映像通信によって担われていたアウェアネスの提示を、他のアウェアネス提示技術を併用することで、効率的な支援が可能であると考えられる。オフィス業務支援の場合、会話を行おうとするユーザだけでなく、オフィス内で関係のあるメンバー全ての位置情報や状況情報などを統合して管理することで、情報共有や人間関係維持の最適化を支援することもできる。例としては、1つの話題について話しているときに、現在参加していないAさんにもその話を聞かせたい場合、会話内容の音声をAさんのいる場所に聞こえるように自動的に音声再生を行う空間を拡大するとともに、視覚フィードバックを提示することによって、発話者はAさんに聞こえていることを確認しながら会話を続けることができる。

別の観点から考えると、視覚フィードバック提示を利用する場合の、発話者や受話者に対する情報提示が可能であるという環境を生かす方法がある。視覚フィードバック以外にも、例えば、会話をしているグループの中での自分の発話の割合や、誰に向けての発話が多いのか少ないのかという情報、問題提起や質問、コメントなどの発話の種類など、コミュニケーションを補助する情報を提示することで、ユーザの発話行動を支援することが可能である。

## 6.4 視覚フィードバック提示の音声通信への適用

今回、映像音声通信システムの利用を前提として検討を行ったが、映像に限らず音声通信のみで遠隔インフォーマルコミュニケーションを支援することも考えられる。その場合、アウェアネスを適切に支援する機能が必要となると同時に、視覚フィードバック情報の効果の範囲を示すための情報提示が別途必要となる。1

対1の遠隔インフォーマルコミュニケーション支援を想定する場合は、視覚フィードバックはその相手が受信する刺激強度のみ表現すればよい。よって、その実装例としては、携帯電話に付属する振動発生装置を利用した触覚情報によるフィードバック情報提示が考えられる。また、3人以上での遠隔インフォーマルコミュニケーション支援を想定する場合は、フィードバック情報の効果の範囲を示すための情報提示方法を別途準備する必要がある。受話者側の空間の仮想マップ上に受話者の位置を示す情報を付与する方法や、音源である発話者の位置からの騒音などを考慮した音声的な距離に応じて振動発生装置の刺激強度を変化させる方法が考えられる。これによって、映像通信によるネットワーク負荷の少ないシステム構成で、遠隔インフォーマルコミュニケーションを支援することができる。

## 第7章

### 結論

最後に、結論として本論文をまとめ、将来を展望する。本研究では、遠隔インフォーマルコミュニケーションの支援を目指し、受話者の聞く音量を発話者にフィードバックする視覚フィードバック提示手法を提案し、提案手法の効果を確認する遠隔地間のコミュニケーション支援実験を行った。

第1章では、本研究の背景として遠隔インフォーマルコミュニケーション支援が求められている現状と、支援を実現する本研究の方針について述べた。

第2章では、対面コミュニケーションと同等のインフォーマルコミュニケーション支援を遠隔地間で行うときに必要な要素を明らかにするために、従来の対面でのインフォーマルコミュニケーション支援や遠隔インフォーマルコミュニケーション支援の先行研究を検討し、本研究の位置づけについて述べた。

第3章では、アウェアネスの情報を受け取った後の発話音量制御行動を支援する機能が必要であることに着目して、インフォーマルコミュニケーションにおける発声モデルの検討を行った。その結果、発話者の発話音量が受話者にどの程度届いているのかわからないという、遠隔インフォーマルコミュニケーションにおけるストレスを緩和し、会話を促進できるシステム要件を整理した。その要件を踏まえて、発話者の発話音量制御を支援するため、遠隔地にいる受話者が聞く、発話者の音量を表す視覚フィードバックを提示する方法を提案し、波紋型の視覚フィードバックを映像音声通信システムのディスプレイ上に重畳する画面提示システムを構築した。

第4章では、画面提示システムによる発話音量制御機能の効果を確認するために、単語発話と会話発話を用いた実験を行い、発話者の発話行動を分析した。そ

の結果、視覚フィードバックが、遠隔インフォーマルコミュニケーション開始に重要な、呼びかけ時における適切な会話開始を支援する効果や、会話中の発話音量制御を支援する効果、発話者を心理的に安心させる効果を持つことを確認した。

第5章では、画面提示システムの検証実験で得た問題点を解決するために、効果的な遠隔インフォーマルコミュニケーション支援に向けた検討を行った。具体的には、視覚フィードバックと受話者の位置関係を直感的に把握しにくい問題と、配慮に欠けた発話者の発話が、受話者にストレスを与える問題を解決するシステムとして、受話者側の空間の床面に視覚フィードバックを直接投影する、床面提示システムを実装した。床面提示システムと画面提示システムの比較実験を行った結果、視覚フィードバックの情報取得のしやすさが向上したことを確認した。また、床面提示システムによって、受話者が発話者と視覚フィードバックの情報を共有することで、発話者の発話音量制御に対して効率的な補助行動を取ることができることも確認した。つまり、床面提示システムによって、遠隔インフォーマルコミュニケーションの促進に重要な発話音量制御を、効率的に支援することが可能となった。

さらに、遠隔インフォーマルコミュニケーションの実用的な利用シーンを考慮し、設置環境に対する制約のない形態として、マイクとLEDデバイスより構成されるデバイスを受話者側の空間に複数個設置する、LEDマイク一体型システムを構築した。単語発話と会話発話を用いた実験によって、視覚フィードバックの発話音量制御機能を検証した。その結果、LEDマイク一体型システムが、音量を上げる発話音量制御、音量を下げる発話音量制御の両方に効果的であることを検証した。つまり、LEDマイク一体型システムが、実用的な遠隔インフォーマルコミュニケーション支援システムである可能性を確認した。

以上より、本論文では、遠隔インフォーマルコミュニケーションの支援を目指し、受話者の聞く音量を発話者にフィードバックする手法を提案し、発話を用いた実験によって、発話者の適切な発話音量制御を支援する効果と、遠隔インフォーマルコミュニケーションの促進を支援する可能性を確認した。

今後の情報社会において、本研究で取り上げたフィードバック提示システムが実用化されることで、社会的に期待されているテレワークの実質的な促進と普及

---

に貢献し，単身赴任者などの離れ離れに暮らす家族間のコミュニケーション維持に活用されることを期待する．最後に，本研究を含む生活空間にあふれる情報機器が人の心を元気にし，暮らしやすい環境を提供するサービスにつながることを期待して，本論の結びとする



## 謝辞

本論文は、筆者が日本電信電話株式会社 NTT サイバーソリューション研究所 ヒューマンインタラクションプロジェクト在職中、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報処理学専攻 博士後期過程在学中に行った研究をまとめたものであります。本研究を進めるにあたっては多くの方よりご教授、ご支援をいただきました。簡単ではありますが、特にお世話になった方々を紹介し感謝の意を表したいと思えます。

主指導教員である奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 像情報処理学講座の千原 國宏 教授に心からの感謝の意を表します。千原先生の懇切なるご指導により、本研究をまとめあげることができました。博士前期課程在学中はもとより卒業後も常々お気遣いいただき、研究内容に対する直接のご助言だけでなく、研究に対する姿勢や研究者としてのあり方、生き方について、常にご教授いただいていたと感じています。特に、卒業後研究室に顔を出すたびに頂戴したお話は、社会に出て学生時代とは異なった視点を持った自分にとって新鮮であり興味深く、大いに刺激を与えていただきました。加えて、博士前期課程在学中の Finland の University of Oulu への留学は、Nordkapp への旅行の思い出とともに、筆者の人生にとって非常に有意義な経験でした。留学に際して、寛大な後押しをしてくださったことに大変感謝しております。

博士論文の執筆にあたり丁寧なご指導、ご教授を賜った本論文の指導教員である、視覚情報メディア講座の横矢 直和 教授に謹んで深謝の意を表します。本研究について、忌憚のないご意見を賜り、本研究をより良い形でまとめることができました。本研究をまとめるにあたり、直接的に指導してくださったのは像情報処理学講座の眞鍋 佳嗣 准教授です。博士前期課程から長年の間、研究の遂行にあたってご指導を賜りました。議論の度に筆者の見落とししている様々な可能性をご指摘していただき、研究内容を良い方向に発展させることができました。特に、博士後期課程在学中は遠隔地に在住するという不便な環境でありながら、テレビ

電話を利用した遠隔からの研究議論もしていただきました。その他にも論文執筆に関わるさまざまな面で、懇切丁寧なご支援をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。博士前期課程在学中の学生生活に加え、University of Oulu 留学中の生活においても公私共にお世話になり、研究に対するご指導はもちろんのこと、処世術、異文化交流術、運転技術も含めて人生の楽しみ方についてたくさんご教授賜りました像情報処理学講座 黒田 知宏 助手(現：大阪大学大学院 基礎工学研究科 准教授)に深謝の意を表します。博士前期課程在学中より研究活動や研究者としての考え方など、数多くのご指導、ご指摘をいただき、また、博士後期課程在学中は研究議論のみならず研究室訪問時の話し相手として心の支えになっていただいた像情報処理学講座 井村 誠孝 助教、安室 喜弘 助手(現：関西大学 環境都市工学部 情報システム工学科 准教授)、坂田 宗之 特任助手に深く感謝致します。遠隔からの学生生活において多大なるご協力をいただき、研究室訪問時はいつも笑顔で和ませていただいた像情報処理学講座 山田 真絵 秘書に深く感謝致します。研究議論を通じて刺激を与えていただき、学生生活を共に過ごす上で支えとなっていた像情報処理学講座の先輩、同期、後輩に深謝致します。

筆者が現在所属している、NTTサイバーソリューション研究所 岸上 順一 所長、小川 克彦 所長(現：慶応義塾大学 環境情報学部 教授 兼 政策・メディア研究科 委員)には、折に触れて励ましのお言葉をいただくとともに、本研究を遂行する機会と奈良先端科学技術大学院大学 博士後期課程への入学・通学という機会をいただきました。深く感謝いたします。本研究を始めるにあたっての方向付けや研究活動中における熱い熱いご指導と的確なご指摘をいただき、研究に対する模範的姿勢を示してくださいましたNTTサイバーソリューション研究所 ヒューマンインタラクションプロジェクト 下倉 健一郎 プロジェクトマネージャ(現：ATR 知能ロボティクス研究所 実証実験研究室 室長)に厚く御礼申し上げます。本研究に対して予算と場所・時間を与えてくださり、ビジネスを含めた幅広い観点からのご助言をくださいましたNTTサイバーソリューション研究所 ヒューマンインタラクションプロジェクト 加藤 洋一 プロジェクトマネージャ、林 泰仁 プロジェクトマネージャ(現：NTTサイバーソリューション研究所 部長)、児島 治彦 プロジェクトマネージャ(現：NTT 知的財産センタ 部長)に厚く感謝の意を表します。

---

入社当初から本日に至るまで、研究活動のみならず会社生活全般に対して、言い表すことができないほど懇切丁寧なご指導を賜りました小林 稔 グループリーダーに深く感謝致します。的確で意欲を湧かす表現によって研究のご指摘をいただき、また、确实で思慮の深い行動によって社会人としての模範をご教授賜りました。一つ一つに適切な意図と柔和な雰囲気が入められた発言や文章によって筆者に多くの刺激を与えてくださり、言葉を扱う人間の一人としてその経験は筆者の財産となっております。井原 雅行 主任研究員 (現：NTT コムウェア株式会社) には、筆者の指導者として、特に堅実な研究推進の方法や学術的文章の作成方法についてきめ細やかなご指導をいただきました。その中でも、海外研究者との積極的なコラボレーションに参加させていただき、研究者、社会人、人としての幅を広げる機会を与えていただいたことは、筆者の人生においてすばらしい経験となっております。深く御礼申し上げます。島田 義弘 研究主任 (現：NTT エレクトロニクス株式会社) には、筆者が本研究を始めたときから指導者として長年に渡り懇切丁寧なご指導をいただき、特に迅速な研究推進の方法や研究の枠に囚われない幅広い活動を、ご自身の行動をもってご教授いただきました。工学的な視点のみでなく感性的な視点が重要であることを、日々のやり取りを通じてご指導いただき、刺激をいただいたことが、筆者が研究以外にも幅広く活動を行っているきっかけになっています。ここに深く感謝の意を表します。細やかな気くばりで研究活動をご支援いただき、幅広い観点で研究に対するご議論をいただいた鈴木 由里子 氏、中山 彰 氏 (現：NTT コミュニケーションズ株式会社)、中茂 睦裕 氏、石井 陽子 氏、University of British Columbia の Meghan Deutscher 氏に深謝致します。世のトレンドを踏まえた刺激的な研究議論と活動的な人柄によって研究の楽しさを教えていただいた University of British Columbia の Sidney Fels 准教授に深謝致します。異なる研究グループに所属しているにもかかわらず、長年に渡り本研究の進展にご配慮いただき、研究活動と日常生活ともに丁寧なご支援をいただいた渡辺 昌洋 研究主任に厚く感謝の意を表します。

研究の議論や実験の補助など、研究に関わるだけでなく、会社生活や懇親の場において多くのご助言、ご指導をいただきました NTT サイバーソリューション研究所 ヒューマンインタラクションプロジェクトの皆様にも深く感謝いたしま

す。会社生活におけるご支援にとどまらず、実験の補助やデータ分析においても多大なご協力いただいた雙田 史子 秘書，三上 志保 秘書，中澤 恵 氏に深く感謝の意を表します。さらに，学会や研究会，講演会において多くの先生方，研究者の方々に様々なご指導をいただきましたことに厚く御礼申し上げますとともに，今後のご活躍をお祈り申し上げます。

最後に，大阪大学，奈良先端科学技術大学院大学 博士前期課程，University of Oulu 留学，奈良先端科学技術大学院大学 博士後期課程を含めた8年もの長い学生生活に理解を示し暖かく見守り続けてくださるだけでなく，さまざまな面で数えきれないほどのご支援，ご助言をくださった父，母に心から感謝の意を表します。幼少の頃より共に過ごし，京都を離れてから互いに刺激を与えあう存在であった妹の香織と紗也香に深く感謝いたします。

ここには書ききれませんが，本論文をまとめるにあたり，他にも数多くの方にご助力をいただいています。加えて，本論文に直接かわらずとも，多くの諸先輩方や友人達が筆者の研究や人生に関わる多種多様な刺激を与えてくださいました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。本研究はこのように多くの方々のご指導，ご協力のもとに行われました。ご支援いただいた皆様に，重ねて感謝の意を表します。

平成19年9月

## 参考文献

- [1] google, Inc. Google. <http://google.com/>.
- [2] NTT Resonant Inc. Goo. <http://goo.ne.jp/>.
- [3] Amazon.com, Inc. AMAZON. <http://amazon.com/>.
- [4] Rakuten, Inc. 楽天. <http://rakuten.co.jp/>.
- [5] 情報通信白書 平成 19 年版 コビキタスエコノミーの進展とグローバル展開. 総務省, July 2007.
- [6] Linden Research, Inc. Second Life.
- [7] テレビ会議/Web 会議/音声会議のビジネス利用実態調査 2007. 株式会社シード・プランニング, Feb. 2007.
- [8] R. Daft and R. Legnel. Information Richness : A new approach to managerial behavior and organization design. *Research in organizational behavior*, Vol. 6, pp. 191–233, 1984.
- [9] 松下温, 岡田謙一. コラボレーションとコミュニケーション. 共立出版, July 1995.
- [10] 垂水浩幸. グループウェアとその応用 ネットワークとマルチメディアトラック. 共立出版, Sept. 2000.
- [11] C. Egidio. Video conferencing as a technology to support group work : A review of its failures. in *proceedings of ACM conference on computer supported cooperative work*, pp. 13–24, Portland, Oregon, 1988.

- [12] R. Kraut, S. Lewis, and L. W. Swezey. Listener responsiveness and the coordination of conversation. *Journal of personality and social psychology*, pp. 718–731, 1982.
- [13] S. Bly, S. Harrison, and S. Irwin. Media Spaces : Bringing people together in a video, audio, and computing environment. *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 1, pp. 28–46, Jan. 1993.
- [14] W. Mackay. Media Spaces : Environments for informal multimedia interaction. *Computer supported cooperative work, Trend in Software*, Vol. 7, pp. 5–82, 1999.
- [15] 森田篤史, 山下邦弘, 國藤進. インタレスト・コンシェルジェ“ 待ち状況 ”に共通興味を案内する情報提供サービスシステム. インタラクション 2003 講演論文集, pp. 189–190, Mar. 2003.
- [16] 岡本昌之, 中西英之, 西村俊和, 石田亨. Silhouettell : 実空間での出会いにおけるアウェアネス支援. マルチメディア, 分散, 強調とモバイルシンポジウム講演論文集, pp. 701–708, 1998.
- [17] 松田完, 西本一志. 談話の杜: インフォーマルスペースにおける実世界での出会いを利用した効率的な情報共有システム. 情報処理学会研究報告 2002-GN-43, Vol. 2002, No. 31, pp. 109–114, 2002.
- [18] Y. Chiba and K. Nishimoto. Attractiblog : A bimodal informal communication support system based on an intrablog. in *proceedings of the 1st international conference on knowledge, information and creativity support systems*, pp. 72–79, 2006.
- [19] 松原孝志, 臼杵正郎, 杉山公造, 西本一志. 言い訳オブジェクトとサイバー囲炉裏: 共有インフォーマル空間におけるコミュニケーションを触発するメディアの提案. 情報処理学会誌, Vol. 44, No. 12, pp. 3174–3187, 2003.

- [20] C. D. Kidd, R. Orr, G. D. Abowd, C. G. Atkeson, I. A. Essa, B. MacIntyre, E. Mynatt, T. E. Starner, and W. Newstetter. The Aware Home : A living laboratory for ubiquitous computing research. in *proceedings of the 2nd international workshop on cooperative buildings*, pp. 191–198, Pittsburgh, Pennsylvania, 1999.
- [21] 椎尾一郎, 美馬のゆり. MeetingPot : アンビエント表示によるコミュニケーション支援. *インタラクシオン 2001 論文集*, No. 5, pp. 162–164, Mar. 2001.
- [22] 中野利彦, 亀和田慧太, 杉戸準, 永岡良章, 小倉加奈代, 西本一志. Traveling Cafe : 分散型オフィス環境におけるコミュニケーション促進支援システム. *インタラクシオン 2006 論文集*, Vol. 2006, No. 4, pp. 227–228, 2006.
- [23] M. Beigl, H. W. Gellersen, and A. Schmidt. MediaCups : Experience with design and sse of computer augmented everyday objects. Vol. 35, No. 4, pp. 401–409, Mar. 2001.
- [24] N. Stephenson. *Snow Crash*. Bantam Spectra Book, New York, 1993.
- [25] 清末悌之, 湯田佳文, 山名岳志, 加藤洋一, 正木茂樹, 一之瀬進. クライアントの性能とサービスの多様性に対応した3次元サイバースペースシステムの機能分散型サーバアーキテクチャの提案. *バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 4, No. 2, pp. 351–356, 1999.
- [26] J. Tang and M. Rua. Providing teleproximity for distributed groups. in *proceedings of ACM conference on human factors in computing systems*, pp. 37–43, Apr. 1994.
- [27] 金田泰. 仮想の“音の部屋”によるコミュニケーション・メディア Voiscapexにおけるポリシーベース・セッション制御. *電子情報通信学会技術研究報告 MVE2003-65*, Vol. 103, No. 352, pp. 1–6, 2003.
- [28] C. Greenhalgh and S. Benford. MASSIVE : A collaborative virtual environment for teleconferencing. Vol. 2, No. 3, pp. 239–261, Sept. 1995.

- [29] M. Cohen and N. Koizumi. Exocentric control of audio imaging in binaural telecommunication. No. 2, pp. 164–170, Feb. 1992.
- [30] R. Rodenstein and J. S. Donath. Talking in Circles : Designing a spatially grounded audio conferencing environment. in *proceedings of ACM conference on human factors in computing systems*, pp. 81–88, Hague, Netherlands, Apr. 2000.
- [31] B. Buxton and T. Moran. EuroPARC’s integrated interactive intermedia facility(IIIF) : Early experiences. in *proceedings of IFIP WG8.4 conference on multi user interfaces and applications*, pp. 11–34, Amsterdam, Netherlands, Sept. 1990.
- [32] R. S. Fish, R. E. Kraut, and B. Chalfonte. The VideoWindow system in informal communications. in *proceedings of ACM conference on computer supported cooperative work*, pp. 1–11, Los Angeles, California, Oct. 1990.
- [33] P. Dourish and S. Bly. Portholes : Supporting awareness in a distributed work group. in *proceedings of ACM conference on human factors in computing systems*, pp. 541–547, New Orleans, Louisiana, 1992.
- [34] R. W. Root. Design of a multi media vehicle for social browsing. in *proceedings of ACM conference on computer supported cooperative work*, pp. 25–38, Portland, Oregon, Jan. 1988.
- [35] R. S. Fish, R. E. Kraut, R. W. Root, and R. E. Rice. Evaluating video as a technology for informal communication. in *proceedings of ACM conference on human factors in computing systems*, pp. 37–48, New Orleans, Louisiana, 1992.
- [36] 松浦宣彦, 日高哲雄, 岡田謙一, 松下温. VENUS : Interest Awareness を支援したインフォーマルコミュニケーション環境. *情報処理学会論文誌*, Vol. 36, No. 6, pp. 1332–1341, 1995.

- [37] H. Kuzuoka and S. Greenberg. Mediating awareness and communication through digital but physical surrogates. in *proceedings of ACM conference on human factors in computing systems*, pp. 11–12, 1999.
- [38] Y. Nakanishi, K. Takahashi, T. Tsuji, and K. Hakozaki. iCAMS : A mobile communication tool using location and schedule information. in *proceedings of 1st international conference on pervasive computing*, pp. 239–252, Aug. 2002.
- [39] M. Wiberg and S. Whittaker. Managing Availability : Supporting lightweight negotiations to handle interruptions. *ACM transactions on computer human interaction*, Vol. 12, No. 4, pp. 356–387, 2005.
- [40] K. Karahalios and F. B. Viegas. VisiPhone. in *ACM SIGGRAPH 1999 conference abstracts and applications*, p. 184, Los Angeles, California, 1999.
- [41] H. Ishii and M. Kobayashi. ClearBoard : A seamless media for shared drawing and conversation with eye contact. in *proceedings of ACM conference on human factors in computing systems*, pp. 525–532, Monterey, California, May 1992.
- [42] Y. Shirai, K. Nakakoji, Y. Yamamoto, and E. Giaccardi. A framework for presentation and use of everyday interaction histories. in *proceedings of 1st korea japan joint workshop on ubiquitous computing and networking systems*, pp. 257–261, Jeju, Korea, June 2005.
- [43] 宮島麻美, 伊藤良浩, 伊東昌子, 渡邊琢美. つながり感通信人間関係の維持・構築を目的としたコミュニケーション環境の設計と家族成員間における検証. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 5, No. 2, pp. 171–180, 2003.
- [44] C. Wisneski, H. Ishii, A. Dahley, M. Gorbet, S. Brave, B. Ullmer, and P. Yarin. Ambient Displays : Turning architectural space into an interface between people and digital information. in *proceedings of international workshop on cooperative buildings*, pp. 22–32, Darmstadt, Germany, Feb. 1998.

- [45] N. Roussel, H. Evans, and H. Hansen. MirrorSpace : Using proximity as an interface to video mediated communication. in *proceedings of the 2nd international conference on pervasive computing*, pp. 385–388, Linz/Vienna, Austria, 2004.
- [46] H. H. Clark. *Arenas of Language Use*. University of Chicago Press & Center for the Study of Language and Information, 1993.
- [47] N. Roussel. Experiences in the design of the well, a group communication device for teleconviviality. in *proceedings of the 10th ACM international conference on multimedia*, pp. 146–152, Juan-les-Pins, France, 2002.
- [48] P. B. Denes and E. N. Pinson. *The Speech Chain*. Bell Telephone Laboratories, 1963.
- [49] 柏野牧夫. 「スピーチ・チェイン」と脳. 電子情報通信学会技術研究報告, 音声, Vol. 106, No. 332, pp. 23–26, 2006.
- [50] 橋本修, 井上勝夫, 佐々木禎枝. 発話音声のフィードバック音が「話しにくさ」評価に与える影響. 日本建築学会大会, 第 D-1 巻, p. 37, Mar. 2004.
- [51] E. T. Hall. *The Hidden Dimension*. Doubleday and Company, New York, 1966.
- [52] 坂本修一, 鈴木陽一, 天野成昭, 小澤賢司, 近藤公久, 曾根敏夫. 親密度と音韻バランスを考慮した単語理解度試験用単語リストの構築. 日本音響学会誌, Vol. 54, pp. 848–849, 1998.
- [53] H. Dunn and S. White. Statistical measurements of conversational speech. *journal of the acoustical society of america*, Vol. 11, pp. 278–288, 1940.

# 研究業績

## 論文

1. 木村篤信, 井原雅行, 小林稔: 発話音量制御支援のための視覚フィードバック提示方法の検討, 電子情報通信学論文誌 D, Vol.J89-D, No.10, pp.2183-2193, 2006. [3, 4 章]
2. 木村篤信, 黒田知宏, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: 動作学習支援システムにおける視覚情報提示方法の一検討, 教育工学会論文誌, Vol.30, No.4, pp.293-303, 2007.
3. Atsunobu Kimura, Tomohiro Kuroda, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara: Visualization methods for body movement training systems, Educational technology research, Vol.30, No.1-2, 2007(To appear).

## 国際発表

1. Yoshitsugu Manabe, Atsunobu Kimura, Yoshihiro Yasumuro, Kunihiro Chihara: MoShAS: Development of motion shadowing assistant system, in proceedings of HCI international 2003 on HCI, pp.145-146, Crete, Greece, 2003.
2. Atsunobu Kimura, Yoshihiro Shimada, Minoru Kobayashi, Ambient Pre-Communication - A study of voice volume control method on tele-communication -, in proceedings of ambient intelligence and everyday life, pp.5-14, San Sebastian, 2005. [3, 4 章]
3. Atsunobu Kimura, Masayuki Ihara, Minoru Kobayashi, Yoshitsugu Man-

- abe and Kunihiro Chihara, Visual feedback for starting conversation, in proceedings of the second IASTED international conference on HCI, Chammonix, pp.43-48, 2007. [3, 4 章]
4. Atsunobu Kimura, Masayuki Ihara, Minoru Kobayashi, Yoshitsugu Manabe and Kunihiro Chihara, Visual Feedback: Its effect on teleconferencing, in proceedings of HCI international 2007 on HCI, pp.591-600, Beijing, China, 2007. [5 章]

## 国内発表

1. 木村篤信, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: 没入型仮想空間内での視覚効果によるスリルの評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002 論文集, pp.99-102, 2002.
2. 木村篤信, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: 動作コミュニケーション支援システム, ヒューマンインタフェース学会第 6 回 ノンバーバルインタフェース研究会論文集, pp.7-12, 2002.
3. 木村篤信, 島田義弘, 小林稔: ユビキタス環境での日常映像通信に関する検討 - 井戸端ネットの構築と検証実験にむけて -, 信学技報 MoMuC2004-2, pp.7-12, 2004.
4. 木村篤信, 島田義弘, 小林稔: 遠隔コミュニケーションにおける発話音量制御手法, 信学技報 OIS2004-95, pp.1-6, 2004. [3, 4 章]
5. 木村篤信, 井原雅行, 島田義弘, 小林稔: 配慮ある呼びかけ支援実現に向けたプレコミュニケーションモデルの構築と実装, 日本 VR 学会サイバースペースと仮想都市研究会, VR 学研報 CSV2005-10, pp.19-24, 2005. [3, 4 章]
6. 木村篤信, 島田義弘, 井原雅行, 小林稔: 発話者へのフィードバックを用いた発話音量制御手法の検証実験, 映像情報メディア学会, MVE2005-98, Vol.29, No.43, pp.1-4, 2005. [3, 4 章]
7. 木村篤信, 井原雅行, 小林稔: 音情報可視化によるコミュニケーション支援の一検討, 信学技報 MVE2005, Vol.105, No.566, pp.33-38, 2006. [3, 4 章]

8. 木村篤信, 井原雅行, 小林稔: 知覚情報提示に関する一検討, 信学技報 HIP2006, Vol.106, No.143, pp.113-118, 2006 . [5章]
9. 中茂睦裕, 井原雅行, 中山彰, 木村篤信, 小林稔: 状態量を熱表現する「ひやあつメディア」の検討, 日本 VR 学会サイバースペースと仮想都市研究会, VR 学研報 CSV2006-2, pp.19-22, 2006.
10. 中茂睦裕, 木村篤信, 井原雅行, 小林稔: ひやあつマウスによる感じるインタラクションの検討, 日本 VR 学会サイバースペースと仮想都市研究会, VR 学研報 CSV2006-9, Vol.11, No.2, pp.7-12, 2006
11. 木村篤信, 井原雅行, 小林稔, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: 話し始めを支援する視覚フィードバックの提示手法の比較, 信学技報 MVE2006-71, Vol.106, No.496, pp.1-6, 2007. [5章]
12. 木村篤信, 井原雅行, 小林稔, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: LED マイク一体型デバイスを用いた対話支援用視覚フィードバック, 日本 VR 学会サイバースペースと仮想都市研究会, VR 学研報 CSV2007-04, Vol.12, No.1, pp.19-24, 2007. [5章]
13. 木村篤信, 井原雅行, 小林稔, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: 遠隔対話支援用 LED マイク一体型システム - 視覚フィードバックのユーザ行動に与える影響の分析 -, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.9, No.2, pp.71-76, 2007. [5章]
14. 中茂睦裕, 木村篤信, 石井陽子, 小林稔: 感じるコミュニケーションメディアの研究, 日本 VR 学会サイバースペースと仮想都市研究会, VR 学研報 CSV2007-06, Vol.12, No.2, pp.1-7, 2007.

## 特許

1. 木村篤信, 島田義弘, 小林稔: 電話機, 着信者情報提供方法および着信者情報提供システム, 特願 2003-311011, 特開 2005-080154
2. 木村篤信, 島田義弘, 小林稔: 映像データへの情報書き込み支援方法, 装置, およびプログラム, 特願 2004-168828, 特開 2005-348350

3. 木村篤信, 島田義弘, 小林稔: 遷移支援方法及び映像音声通信システム, 特願 2004-328022, 特開 2006-139028
4. 木村篤信, 島田義弘, 小林稔: 通信装置, 通信方法, および通信プログラム, 特願 2005-053540, 特開 2006-238344 [4 章]
5. 木村篤信, 中山彰: 次発言者検出方法, 装置, およびプログラム, 特願 2005-164119, 特開 2006-338493
6. 中茂睦裕, 井原雅行, 小林稔, 木村篤信: 情報処理装置及び情報処理装置用プログラム, 特願 2005-297953, 特開 2007-108945
7. 木村篤信, 井原雅行, 小林稔: 情報伝達システム及び音声可視化装置, 特願 2005-322094, 特開 2007-129623 [5 章]
8. 木村篤信, 小林稔, 井原雅行, 島田義弘, 鈴木由里子, 中山彰, 石井陽子, 中茂睦裕, 吉田悠一, 片桐有理佳: 会話支援システム, 特願 2006-168797
9. 木村篤信: 知覚情報提示装置, 特願 2006-170422 [5 章]
10. 木村篤信, 中茂睦裕, 石井陽子, 菊地由美, 小林稔: ユーザプロファイルの生成方法, 生成装置及び生成プログラム, 特願 2006-315703
11. 菊地由美, 中茂睦裕, 石井陽子, 木村篤信, 小林稔: コンテンツ構成方法, コンテンツ構成装置及びコンテンツ構成プログラム, 特願 2006-331087
12. 石井陽子, 菊地由美, 木村篤信, 中茂睦裕, 小林稔: 自動提示画面生成装置, 自動提示画面生成方法及びプログラム, 特願 2006-353213
13. メーガン・キャサリン・ドイシャー, 井原雅行, 木村篤信, 小林稔: メッセージ通信システム, 特願 2007-063799
14. 木村篤信, 井原雅行, 小林稔: 音声通信装置, 特願 2007-136740 [6 章]
15. 木村篤信, 小林稔: 情報整理支援装置及び情報整理支援方法, 特願 2007-152142