



オフィス空間内の複数の作業空間の 音響的な重ね合わせ方の検討

A Preliminary Study on Acoustic Overlapping of Multiple Workspaces
within an Office Environment

沈家宜¹⁾, 辻田喜琉¹⁾, 吉田貴寿¹⁾, 南澤孝太¹⁾

Jiayi SHEN, Kiryu TSUJITA, Takatoshi YOSHIDA, and Kouta MINAMIZAWA

1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

(〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, kagishen22, dxkiryu, yoshida, kouta@kmd.keio.ac.jp)

概要: オフィス空間においては、メンバー同士の会話が重要である。しかし、物理的に離れた人に話しかけることは心理的コストが高く、会話が減ってしまう問題がある。そこで、本研究では物理的に離れた空間を情報的に重ね合わせるアプローチにより、二つの作業空間を音響的に接続するシステムを開発する。開発したシステムを用いて、コミュニケーションコストを下げることが目指す。

キーワード: 空間体験設計, 音響的な重ね合わせ, オフィス空間

1. はじめに

近年、オフィス空間にいるメンバー同士のコミュニケーションを促進するために、オープンプランオフィス (open-plan office) が普及し始めている。このような壁や仕切りのない開放的な空間は、チームワークの有効性や職場の満足度を促進できると考えられているが、オープンプランのレイアウトは、他人からの騒音によって個人作業が妨害される問題やプライバシーを喪失する場面が発生する。このようなデメリットは、コミュニケーションのしやすさのメリットより影響が大きいと指摘された [1, 2]。

電話やビデオで人と人の音声を遠隔でつなぐことができ、コミュニケーションを取りながら、大声での会話を回避できる意味を踏まえて、周りの人に与える影響を抑えることができる。一方、このような遠隔作業に Zoom 疲労 (Zoom Fatigue) またはより一般的にはビデオ会議疲労 (Videoconferencing Fatigue) と呼ばれる現象が生じやすく、様々な要因から分析されてきた [3]。中に、空間・非空間的音響と非言語コミュニケーションの要因が指摘された。空間的音響は話者判別の向上 [3]、会話の質の向上や認知負荷の減少 [4] に効果があると実証され、ビデオでの応用が示唆された。

本実験は、オフィス空間を対象にして、複数の空間的音響を重ね合わせるコミュニケーション支援システム (図 1) を提案し、予備的検証を行う。オープンプランオフィス空間でのコミュニケーションとプライバシーのバランスを向上させる効果が期待される。

2. 関連研究

オープンプランオフィスの騒音問題において、橋本ら [5] がサウンドマスキングの観点から対策法を扱っていた。Ja-

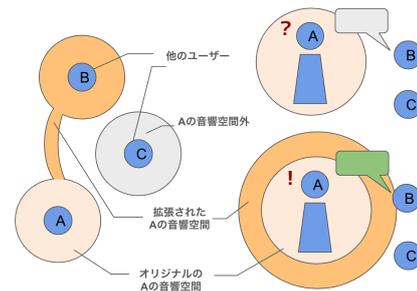


図 1: 音響空間の拡張の概念図:(左) システムによる音響的な接続関係の制御を通じて (右) 会話体験の支援を目指す。図は A さんにとっての聴取可能範囲の拡張を図示したもの。

cobsen ら [6] が干渉なく同じ物理的な部屋で複数のサウンドを同時に体験できるサウンドゾーンのセットアップを紹介した。指向性のある音響空間を用いて、同じオフィス空間にいる人がお互いを干渉せずにコミュニケーションを取れる可能性が提示された。一方、コミュニケーションの向上に、Grønbaek ら [7] がテレワークを対象にして、Partially Blended Realities (PBR) を用いて物理的なミーティング空間を重ね合わせた仮想オフィス空間を提案した。Uhrig ら [3] は一個のスピーカーの配置と二つのスピーカーの配置を比較し、空間的音響の場合での話者判別の効果が向上した実証を行った。Hyrkas ら [8] がハイブリッド会議における最適なスピーカー配置を検証した。音声を空間的に配置し、音声内容の判別が向上した。

以上を踏まえて、音響的な空間の重ね合わせを用いて遠隔にいる人の共同作業の効果の向上の可能性が提示された。よって、本研究は他人への影響を抑えつつ、コミュニケー

ションを向上させる空間音響の重ね合わせ方を検討する。

3. 重ね合わせ方の検討

本章では、オフィス空間内でのユーザ間のコミュニケーションを向上させることを目的として、ひとつのオフィス空間の中にある複数の作業空間の音響的な重ね合わせ方について検討する。ここでオフィス空間は、ユーザが声を大きく張り上げれば部屋の全域で音声的なコミュニケーションが取れるが、ユーザが小さな声を出したときにはある一定以上の距離より遠くには声が届かず、音声的なコミュニケーションが成立しない程度の広さをもつものとする。

3.1 システム構成

検討する音響的なシステムにおいて、話者から聞き手への音声の伝達には、2種類の音響的な経路が存在する。1つは話者から発せられた音声は空気を振動させ、そのまま直接的に聞き手へと届く直接的な音響的な経路である。もう1つは話者の音声がまず話者近くのマイクにより信号に変換され、デジタル的な信号伝達を介して、聞き手近くのスピーカーから発せられた音声として聞き手へと届く間接的な音響経路である。よって音響システムの全体像としては、物理空間そのものがもつ直接的な音響経路と、マイク - スピーカ系の分散配置による間接的な音響経路の両者を想定する。

3.2 重ね合わせのモデル

通常のオフィス空間には直接的な音響経路のみが存在する。我々の想定する音響的に拡張されたオフィス空間では、マイク - スピーカ系の分散配置によって、空間そのものがもつ直接的な音響経路に加えて、システムによる間接的な音響経路の効果が付加され、重畳されたものが聞き手に届く。アナログ音響とデジタル音響の影響を合算することで、あるユーザの周囲には、音響的に拡張されたコミュニケーションが可能な範囲が存在すると考えられる。

直接的な音響によるコミュニケーション可能な範囲は変えることができないが、デジタル技術による間接的な音響範囲は操作可能である。このとき、コミュニケーション可能な範囲を操作できる設計パラメータの例を、次に示す。

相対位置

図2に示すように、音響機器の相対位置は2つの空間を音響的に重ね合わせた際の体験に大きく影響すると考えられる。ここでは直接的な音響の伝達具合（聞こえる/聞こえない）と、間接的な音響の伝達方向（発話者前方/後方）の観点から重ね合わせ方を検討した。

音量操作

図3に示すように、マイクが集音する感度やスピーカから発せられる音量も、コミュニケーションが可能な範囲を操作する重要な要素である。直接的な音響のみでは重なり合わない2つの領域についても、デジタル技術による間接的な音響による音量増強効果によって、コミュニケーション可能になることが考えられる。

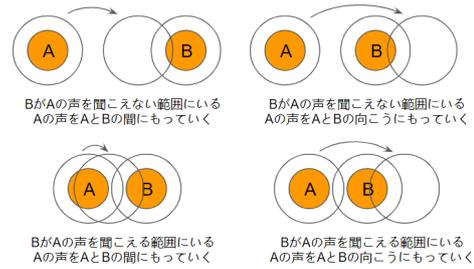


図2: 相対位置による重ね合わせ方の検討

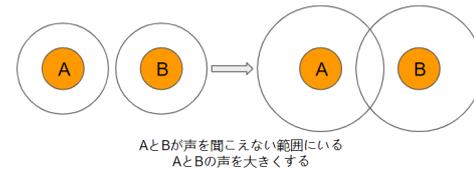


図3: 音量操作による重ね合わせ方の検討

3.3 重ね合わせの開始・終了条件

音響的な重ね合わせはデジタル的に制御可能であるため、空間のコンテキストやユーザの要望に合わせて動的に開始したり、切り替えたり、終了したりすることが可能である。より高度なシステム統合においては、ユーザたちの位置追跡や視線追跡を行うシステムと組み合わせることで、話しかけたい人の方向を見ることで音響的な空間の重ね合わせが開始される動的な空間体験設計などが可能となる。

3.4 想定される利用シーン

本研究で提案される音響的な空間の重ね合わせをオフィス空間にインストールすることによって、図1をはじめとして、様々な利用方法が考えられる。たとえば、離れた作業空間の同僚に話しかける際に、従来では直接席まで出向いて話をする必要があったところを、その離れた同僚の方向を向いて話しかけるだけで、システムが自動的に2つの作業空間を接続し、声を張り上げて疲れたり他の同僚の音響的な迷惑になることなく、コミュニケーションを円滑におこなうことが期待される。

3.5 本検討の位置付け

以上の関連研究や検討を踏まえて、本基礎検討では、今後の実装に向けて、デジタル音響システムを用いたコミュニケーションの実行性を検証する。デジタル音響システムをスピーカーとマイクのみで構成すると想定され、本検討では空間での音響特性とコミュニケーションの特性を踏まえて、システムの音量操作を対象にして実験を行った。

4. 音響特性に関する予備実験

本章では、通常の音響空間に重ね合わされたデジタル技術による間接的な音響システムによるコミュニケーションが可能な空間の拡張効果を検証するために、音響システムの導入の有無（システムのON/OFF）におけるオフィス空間での基礎的な音響特性を比較し、実行性を確認した。以下の実験に

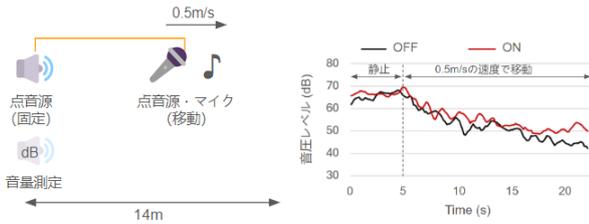


図 4: 距離依存性 (実験 1) のセットアップと計測結果



図 5: 音量依存性 (実験 2) のセットアップと計測結果

において、スピーカーはヤマハ社製 VXS Series "M model", マイクは SOUND HOUSE 社製 CLASSIC PRO(クラシックプロ)/CM5S ダイナミックマイク, アンプは FOSTEX 社製 AP15mk2, オーディオインタフェースは ROLAND 社製 OCTA-CAPTURE を用いた。

4.1 実験 1: 距離依存性

実験 1(図 4) では一対一で接続されたスピーカー (固定される点音源) とマイクで音響システムを構成する。移動する点音源 (一定の音声を流す) を導入し、マイクで收音させ、点音源と共に移動させる。点音源の音量を固定し、音響システムの ON/OFF が、移動距離における計測音量の違いに及ぼす影響について調べる。

実験 1 の結果は図 4 に示す。音響システムを OFF にする場合、音圧レベルが距離に基づく減少し、14m 離れた場所では 44dB に減少した。音響システムを ON にする場合は OFF より穏やかな減少傾向を示し、最後に 50dB に収束した。

ここで、点音源からの距離減衰公式による計算すると、68dB の点音源が 14m 離れた場所から計測する音圧レベルは 45dB で、結果と合致している。

$$L_2 = L_1 - 20\log(d_2/d_1)$$

(d_1, d_2 : 2 地点が点音源から離れた距離)

L_1 : 点音源の音圧レベル, L_2 : 求める音圧レベル)

4.2 実験 2: 音量依存性

実験 2(図 5) では実験 1 と同じ音響システムを構成する。ここで音源と聴取位置を固定し、音響システムの ON/OFF が、固定位置における計測音量の違いに及ぼす影響について調べる。

実験 2 の結果は図 5 に示す。大音量の場合、ON にする時は 56dB で、OFF にすると 52dB に変化した。おおよそ 5dB の変化が見られた。一方、小音量の場合、ON にする時は 48dB で、OFF にすると 40dB に下回った。おおよそ

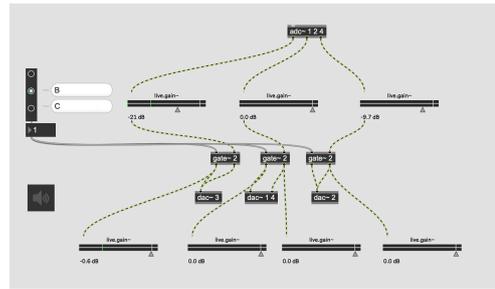


図 6: Max/MSP による実験システム

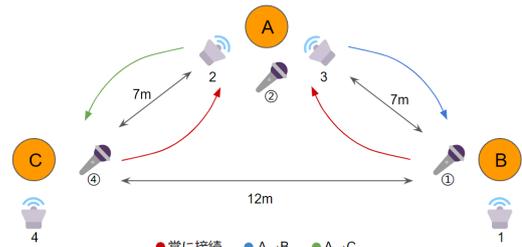


図 7: 音響空間の機器配置

10dB の変化が見られた。小音量の方がデジタル音響システムの ON/OFF に与えられる影響が大きいと示唆された。

5. コミュニケーションに関する予備実験

本章では、音響システムによるコミュニケーションが可能な空間の拡張効果を検証するために、基礎的な音響空間を設計し、コミュニケーションに必要なパラメータやその実行性について調査した。

5.1 音響空間の設計

約 12m × 4m の作業空間にオーディオ機器を設置し、音響空間の設計を行った。図 7 に示すように、スピーカー 4 個、マイク 3 個設置した。Cycling '74 Max を用い、任意のオーディオ機器の音量や接続先 (A → B, または A → C) を調整可能なシステムを開発した。システムを図 6 に示す。

5.2 実験内容

実験には 3 名が参加した。(20 代の男性 1 人・女性 2 人) 被験者は音響空間内でスマートフォンの音声データの聞き取りをした。音響空間内ではスマートフォンをマイクに近づけることでスピーカーに音声を出し、出力レベルに応じたコミュニケーションのしやすさについてアンケート調査を行った。アンケート項目は「あなたがコミュニケーションに必要なと思う最小音量を記載してください」「あなたがコミュニケーションに最適だと思う音量を記載してください」「マイクがオフにされた時の感想を教えてください」とした。

5.3 実験手順

1. 被験者は体験者から研究背景の説明を受けた。
2. 実験者は再生する音声の音量を調整した。音量は被験者が音を聞くことができるが、内容までは聞こえない程度の調整とした。

表 1: 実験結果

被験者	最小音量	最適音量
1	-28dB	-12dB
2	-25dB	-10dB
3	-21dB	-15dB

- 被験者はスピーカー側で音声を聞きながら、スピーカーの音量を調整し、コミュニケーションに必要な最小音量とコミュニケーションに最適な音量をアンケートに入力した。
- 次に実験者はマイクをオフにし、被験者がマイクがオフになされたときの感想をアンケートに記入した。

5.4 実験結果

コミュニケーションに必要なと思う最小音量と最適だと思う音量の回答結果を表 1 に示す。またマイクがオフになった時の感想として、「賑やかな環境から抜けて耳が楽になった。」「距離が遠くなって感じられた」といった意見が見られた。

実験結果から、声が届かない距離感においても、スピーカーによってデジタル音響的な重ね合わせをすることで、コミュニケーションに最適なボリュームでの会話が可能であることが示された。

6. 今後の展望

ここでは会話体験の拡張にむけて今後の展望を述べる。まず本研究のねらいは、オフィス空間において働くメンバーたちの会話体験を拡張し、コミュニケーションコストを低減したり、生産性を向上させたり、会話の楽しさを増やしたりすることにある。本人たちに追加の装置の装着や追加操作を要求しない設計によって、その空間に存在するだけで、自然と拡張の効果が得られるような空間体験設計を志向している。

たとえば、カクテルパーティー効果によると人間は注意を向けた人物との会話において、騒音環境での音声識別の S/N 比が向上することが知られている [9]。本研究の結果から、提案する音響的に拡張された空間においても、注意を向けた対象との会話音がより聞こえやすくなるシステムが設計可能である可能性が示唆された。

7. 結論

本研究ではオフィス空間でのコミュニケーション促進に向けて、マイク - スピーカ系の分散配置によるデジタル音響システムを開発し、機器配置や動作についての検討を行った。予備の実験では音響特性についての評価実験を行い、オ

フィス空間における基礎特性を得た。またコミュニケーションに関する予備実験では、オープンプランオフィスでの応用の可能性を確認できた。

参考文献

- [1] Kim et al. Workspace satisfaction: The privacy-communication trade-off in open-plan offices. *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 36, p. 18–26, December 2013.
- [2] Haapakangas et al. Effects of unattended speech on performance and subjective distraction: The role of acoustic design in open-plan offices. *Applied Acoustics*, Vol. 86, p. 1–16, December 2014.
- [3] Uhrig et al. Effects of spatial speech presentation on listener response strategy for talker-identification. *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 15, p. 730744, January 2022.
- [4] Skowronek et al. Assessment of cognitive load, speech communication quality and quality of experience for spatial and non-spatial audio conferencing calls. *Speech Communication*, Vol. 66, p. 154–175, February 2015.
- [5] Hashimoto et al. Application of sound masking system at desk working in open plan offices based on subjective evaluations. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)*, Vol. 80, No. 716, p. 877–885, 2015.
- [6] Jacobsen et al. In the zone! — controlling and visualising sound zones. In *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*, p. 1–4, New Orleans LA USA, April 2022. ACM.
- [7] Grønbaek et al. Partially blended realities: Aligning dissimilar spaces for distributed mixed reality meetings. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 1–16, Hamburg Germany, April 2023. ACM.
- [8] Hyrkas et al. Spatialized audio and hybrid video conferencing: Where should voices be positioned for people in the room and remote headset users? In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 1–14, Hamburg Germany, April 2023. ACM.
- [9] Adelbert W Bronkhorst. The cocktail party phenomenon: A review of research on speech intelligibility in multiple-talker conditions. *Acta acustica united with acustica*, Vol. 86, No. 1, pp. 117–128, 2000.