

卓上衝立の遮音性・光反射性が会話しやすさに及ぼす影響に関する研究

37-216120 中島 美百合

1. はじめに

1.1 研究背景

昨今では新型コロナウイルス感染症の流行に伴い、飛沫感染防止のための卓上透明衝立の設置が推進されている。しかし、衝立設置による中高音域での減音の発生が既報で示されている他^[1]、衝立面上の反射光の映り込みが会話印象に影響を及ぼす可能性がある。そこで現在では、面材厚さを薄くし光反射率を低くした衝立面材の開発が進んでおり、新たに性能把握を行う必要が生じている。

1.2 研究目的

光反射性・遮音性の異なる複数の衝立面材に着目し、衝立設置が会話のしやすさに与える視・聴覚的影響について、実際の会話状態を模擬した音響測定・心理評価により具体化することを目的とする。

2. 卓上衝立の概要

各実験では、アルミ製の枠(幅 90cm, 高さ 60cm, 厚さ 0.9cm)に表 1 の面材 A~D のいずれかを張った卓上衝立を使用する。

表 1 衝立面材の材質

| 記号 | 素材 | 厚さ [mm] | 面密度 [kg/m ²] | 光反射率 [%] | へイズ* [%] |
|----|-----------|---------|--------------------------|----------|----------|
| A | PET フィルム | 0.025 | 0.03 | 6.7 | 3.6 |
| B | 超低反射フィルム | 0.25 | 0.27 | 0.1 | 0.7 |
| C | アクリル板 | 2.0 | 2.36 | 7.4 | 0.8 |
| D | 超低反射アクリル板 | 2.2 | 2.56 | 0.2 | 0.9 |

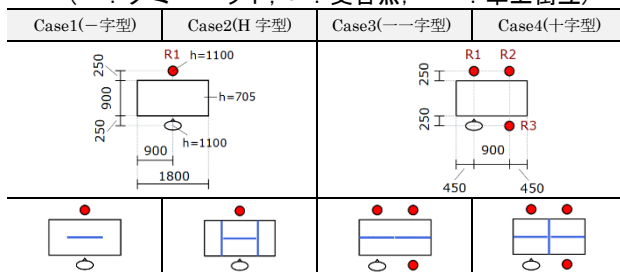
*: 面材の不透明さを示す指標

3. 挿入損失測定

3.1 測定概要

衝立面材の遮音性を把握するため、表 2 に示す音源・受音点配置で衝立設置・非設置時の音圧レベルを測定し、レベル差から挿入損失を求めた。測定周波数帯域は 125~4kHz である。

表 2 音源・受音点および卓上衝立の配置
(○: ダミーヘッド, ●: 受音点, —: 卓上衝立)



測定時は半無響室(カーペット床)内中央の机に衝立 1~3 枚を設置し、ダミーヘッド内の人工口からピンクノイズを発生させて音源とした。音源正面・斜め・横方向の受音点をそれぞれ R1・R2・R3 とする。また衝立枠間では、Case3 で 6mm, Case2・4 で 3mm の隙間が発生する。

3.2 測定結果

音声周波数特性を反映した挿入損失を図 1 に示す。算出にあたり、ダミーヘッド正面 50 cm 点(机のない状態)で各帯域の音圧レベルを測定した。その値と各条件の受音点における音圧レベル測定値の差をとることで人工口のスピーカ特性を補正し、IEC60268-16^[2]準拠の音声周波数特性を反映させた A 特性音圧レベルの衝立設置・非設置時の差から音声を想定した挿入損失が求められる。

各受音点で面密度の低い面材ほど音声レベルが 0 に近づき、特に A 使用時には衝立非設置時に近い声の大きさ感が再現されると予想される。

また、側方の衝立増設により R2 斜め・R3 横では音声伝送性能が低下するものの、R1 正面では逆に音源側・受音側の双方で音波が増幅し音圧上昇が発生していると考えられ、B では特にその傾向が顕著となる。

さらに 4 人配置(Case3・4)でアクリル面材 C・D 使用時には、R1・R2 で音声レベルが 5~7dB 低下するものの、R3 では衝立非設置時より 2~4dB 上昇することから、座席間で音声の大小関係が大きく変動する可能性が考えられる。

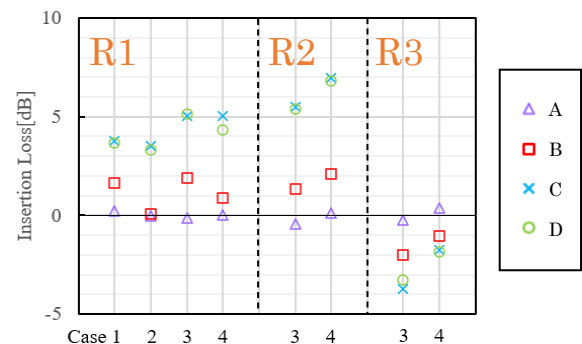


図 1 音声周波数特性を反映した挿入損失

4. 音声聴取・発話印象に関する心理評価実験

4.1 実験概要・条件

前章で遮音性に違いの見られた一部の衝立条件について、目隠しをした状態で聴取・発声のしやすさに関する心理印象を検証し、遮音性との関連について明らかにする。

居室(床面積約 23 m²)内の机上に衝立を一字型(Case1)または H 字型(Case2)に設置し、Case1 では表 1 の面材 A~C, Case2 では B・C を用い、計 5 条件を設定した上で被験者にランダムに提示した。

聴取実験では男声または女声(正面 1m で 68dB)をダミーヘッド内の人工口から流し、表 2 の Case1・2 と同様の音源配置とした上で、受音点位置に被験者が着席する。発声実験では被験者自身に定型文章(自己紹介)を発話させた。

被験者数は 16 名(20~50 代の男女 8 名ずつ)であり、聴取実験では半数の被験者が自分と異なる性別の音声を評価した。

4.2 実験手順

聴取実験と発声実験は別々に実施し、各実験ではアイマスクを着用させた。衝立なし・あり・なしの順に約 10 秒間

の聴取または発声を行った後、衝立なしと比較した衝立ありの状態の聴感印象について各実験で5項目のアンケート(7段階尺度)に回答する。

4.3 結果と考察

4.3.1 聴取実験の結果

被験者性別・音声性別・衝立種類を要因とした三元配置分散分析(性別同士の交互作用は除く)と Tukey の HSD 検定を行う。一部項目の平均評点と有意差を図2に示す。

声の大きさ(L1)・距離感(L4)で衝立間有意差が検出されたものの、総合的な聞こえやすさの評価(L5)では平均評点の差は小さくなる。

図1のCase1では面密度の低いA, B, Cの順に遮音性が低く、すっきり感(L2)や距離感(L4)のCase1でも男声・女声共にその順に高評価となる傾向が見られる。

また図1ではCase1より2で挿入損失が低下しており、L2・L4の女声の結果で衝立増設に伴い評価が改善する傾向が見られるが、L1では遮音性との対応関係は見られなかった。側方の衝立増設は、特に女声のすっきり感・距離感の評価に影響を与えやすいと考えられる。

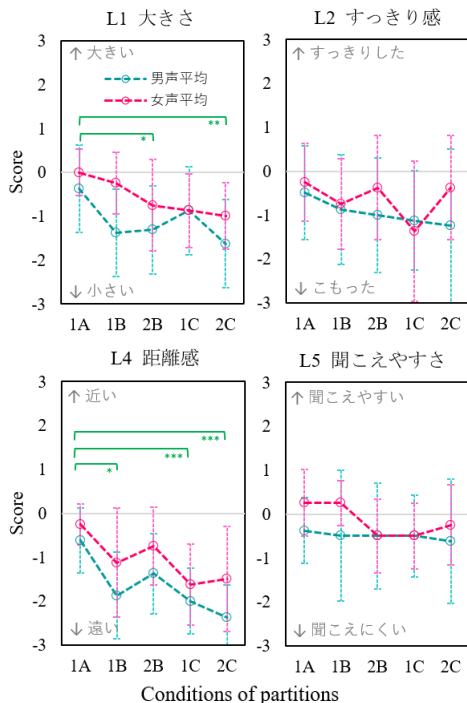


図2 平均評点と面材間有意差(聴取実験)
(以下, * <0.05 , ** <0.01 , *** <0.001)

4.3.2 発声実験の結果

音声(被験者)性別・衝立種類を要因とした二元配置分散分析を行い、聴取実験と同様に一部項目の結果を図3に示す。

はね返り感(S3)・自然さ(S4)の項目では特に衝立間の差が大きくなるものの、聴取実験同様に総合評価には影響しづらく、発声しやすさ(S5)では差は小さくなる。

加えて、S3~S5のCase1では概ね面密度の低い順にポジティブ側の評価となる。

声の大きさ(S1)やS3ではCase1より2で大きい側の評価となる一方で、S4の結果からCase2では不自然さを感じる可能性が高く、衝立増設に伴う声の大きさ感やはね返り感の増大が発話の不自然さの評価に影響を及ぼすと考えられる。

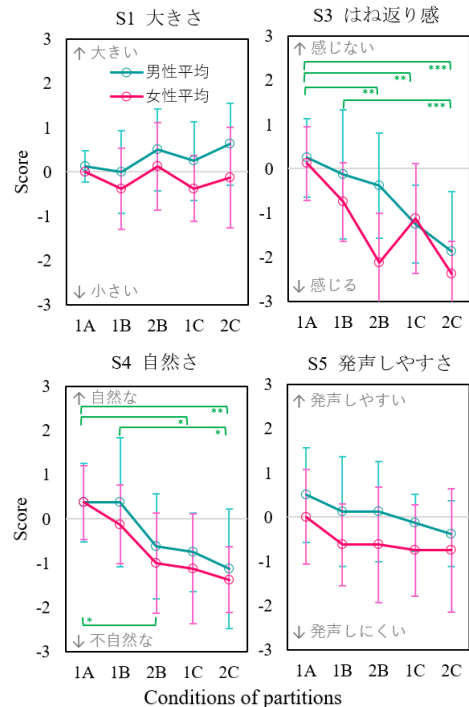


図3 平均評点と面材間有意差(発声実験)

5. 2人1組の会話を想定した心理評価実験

5.1 実験概要

衝立使用時の2人1組での会話を模擬した心理評価実験を実施し、面材種類・背景音条件毎の視・聴覚的印象の違いや、遮音性と心理評価との関連について考察する。

前章の実験と同一の居室で、図4の机の上に衝立を1枚設置し被験者を対面で着席させ、3分間のしりとりを行った後、会話・机まわり・話し・見え方に関するアンケート(7段階尺度)に回答する。各被験者組は入室から質問紙回答までの作業を計10回実施する。

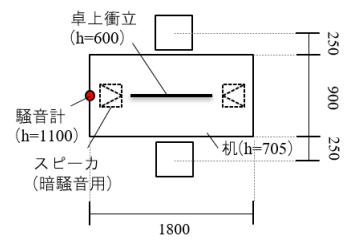


図4 実験環境

5.2 実験条件

被験者は前後半で異なる背景音条件のもとに衝立5条件の評価を行う。各初回は衝立非設置(条件O)とし、他4回は表1に示す面材A~Dをランダムに提示した。背景音条件はa:空調音のみ(40dB), b:空調音+喧噪音(60dB)とし、b条件では食堂で録音した喧噪音を机下のスピーカー2台から流した。

また、しりとり中に衝立側方で測定した等価騒音レベルの平均値は、a条件でOのみ53dB, A~Dで50dBであり、b条件では全ての面材で約61dBとなる。従って被験者音声の等価騒音レベルは、a条件では約50dB, b条件では約55dBと推定され、周囲の暗騒音が大きい場合は被験者がより大きな声で発話する可能性がある。

被験者数は16名(20~60代の男女8名ずつ)であり、被験者組は同性同士とする。

5.3 結果と考察

面材種類・背景音・個人差を要因とした三元配置分散分析(個人差の交互作用は除く)と Tukey の HSD 検定による

多重比較を行った。4つの評価項目を代表例として平均評点と有意差を図5に示す。

全体的に、光反射率が低く視界が明瞭な面材で高評価となり、b条件よりa条件でポジティブ側の評価が得られる。

会話や話声に関する項目(A2・C1・C3)では、交互作用は全項目で検出されなかったもののb条件での面材間の平均評点の差がa条件より小さくなり、喧噪音付加により聞こえ方の違いが判別しづらくなったと考えられ、新田ら^[3]の実験的検討と同様の結果となった。

また、図1のCase1では面密度の高い面材ほど挿入損失は高く、面材C・Dでは同程度となるが、会話・話声に関する項目では光反射率の低いDの方が高評価となっており、同等の遮音性であっても視界が明瞭である方が音声評価は高くなる。さらに光反射率が同等の面材B・Dを比較すると、両者の間に2~3dB程度のレベル差が発生しているにも関わらず、a条件の音声評価は同程度となる。また図1でAの挿入損失の値は0に近く、図2のL1の結果でもAの平均評点が最も高く0に近いことから、Aは音声伝送に影響を与えづらいと考えられるが、本実験では会話・話声に関する項目のa条件で、全面材の中で最も低い評価となる。以上のことから、衝立使用時の音声評価は必ずしも遮音性には従わず、光反射率や透明度に代表される視覚的要素に大きく影響を受けると考えられる。

加えて、声の大きさの心理印象は視覚的影響を受けにくく、面材A~D使用時の等価騒音レベルが同程度であることから遮音性と心理評価に対応関係が見られると推測したものの、a条件では光反射率の高い面材で評価が低下し、b条件では面密度の高い面材ほど高評価となる傾向にある。

机まわりや見え方に関する評価(D1)では、音声評価よりも面材間の有意差が顕著に表れた。加えてD1では、聴覚要素が評価に影響しづらいにも関わらず、衝立設置時にa条件よりもb条件で平均評点が低下する傾向が見られる。喧噪音付加により会話中の集中力が低下し、面材越しの表情の認識が阻害されると推測される。

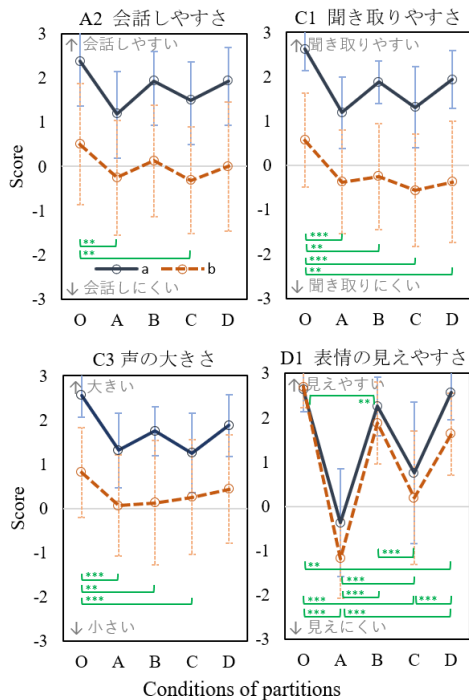


図5 平均評点と衝立間有意差

6. 4人1組の会話を想定した心理評価実験

6.1 実験概要

衝立使用時の4人1組での会話を模擬した心理評価実験を実施の上、面材種類・背景音・衝立配置毎の評価傾向、評価向き毎の遮音性と心理印象との関連、会話中の動作測定の結果について明らかにする。

居室(床面積約26 m²)内の図6に示す机上中央に衝立を設置し、2人ずつ対面で着席して書類の読み上げ・3分間の並べ替え作業を行った後、会話・机まわり・話声・見え方の印象に関するアンケート(7段階尺度)に回答する。話声・見え方に関する項目では正面・斜め・横方向に座る各被験者について回答を行った。各被験者組は着席から質問紙回答までの作業を計10回繰り返す。

6.2 実験条件

実験条件は表3に示す10条件とし、被験者組にランダムに提示した。面材種類・背景音はそれぞれ前章の実験と同様の5種類・2種類とし、喧噪音付加時の音源は机側方のサウンドパネル2台とした。衝立配置は表2のCase3・4とする。被験者数は32名(20~50代の男女16名ずつ)であり、被験者組は同性同士とした。

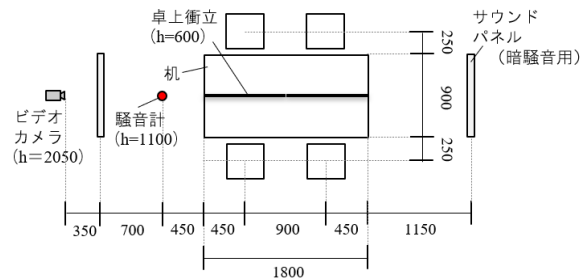


図6 実験環境(Case3)

表3 実験条件

| 記号 | 背景音 | 衝立配置 | 面材種類 |
|-----|-----------|------|-----------|
| 0a | - | - | - |
| 3Aa | 空調音 | 一字型 | PETフィルム |
| 3Ba | | | 超低反射フィルム |
| 3Ca | | | アクリル板 |
| 3Da | | | 超低反射アクリル板 |
| 4Ba | 空調音 + 喧噪音 | 十字型 | 超低反射フィルム |
| 4Ca | | | アクリル板 |
| 0b | 空調音 | - | - |
| 3Bb | 空調音 + 喧噪音 | 一字型 | 超低反射フィルム |
| 3Cb | | | アクリル板 |

6.3 結果と考察

6.3.1 条件群毎の心理評価の比較

面材種類(Oa・3Aa・3Ba・3Ca・3Da), 背景音(Oa・3Ba・3Ca・Ob・3Bb・3Cb), 衝立配置(3Ba・3Ca・4Ba・4Ca)の3つの実験条件群に分けて結果の比較を行う。分析の際は条件群毎に前章と同様の手順で分散分析・多重比較を行う。

多くの評価項目において、面材種類毎の比較では視界が明瞭な条件で、また背景音毎の比較ではb条件よりa条件で平均評点が高くなり、前章の実験と同様の傾向となった上、衝立配置毎の比較では、Case4より3で高評価となった。一方で、図7に示す感染対策への安心感に関する項目(B3)では衝立枚数を増やした方が平均評点は高くなるほか、透明度の低いAで比較的low評価となる。本項目の心理評価も条件毎の視覚効果の違いに大きく左右されていると考えられる。

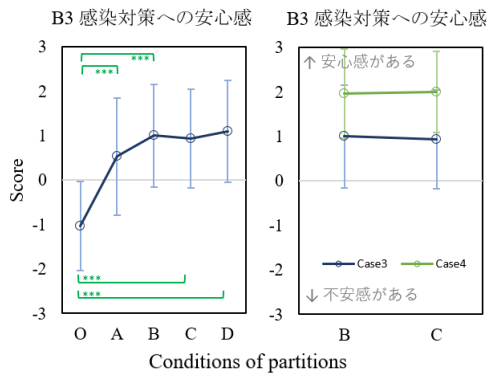


図7 面材種類・衝立配置毎の結果比較 (B3)

6.3.2 評価向き毎の聴感評価と遮音性との比較

全評価向きの聞き取りやすさ(C1)に関する心理評価結果をまとめ、Case毎に作成したグラフを図8に示す。

図1ではCase3・4ともに正面・斜め方向で音声レベルが低下し、横方向では上昇傾向が示されている。図8では両Caseで横、正面、斜めの順に平均評点が高く、遮音性との対応関係が考えられるが、被験者間距離や視線方向の衝立枠の有無などの視覚要素が評価に影響を与えている可能性がある。また、図1で面密度の高い面材ほど座席位置毎の挿入損失の値の差が広がっており、図8でCase3はBよりCの面材で評価向き毎の平均評点の差が大きくなっているものの、Case4では同様の傾向は見られず、横方向の評価も他評価向き同様にC使用時に低下している。さらに図1では正面方向のみ衝立増設による音圧上昇が見られたが、話声の心理評価は各評価向きでCase3より4で低くなる。これらのことから評価向き毎の聴感評価には面材の明瞭性や衝立増設による視覚効果が大きく影響すると考えられる。

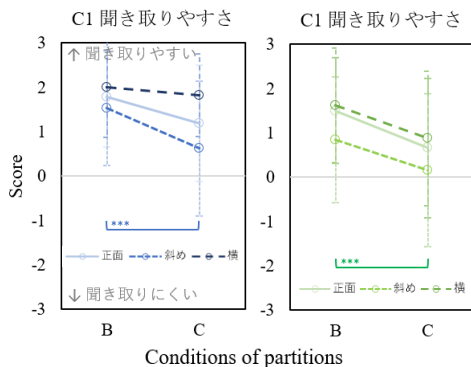


図8 評価向き毎の結果比較 (左: Case3, 右: Case4)

6.3.3 条件組毎の動作・同時発話回数の比較

ビデオカメラで録画した実験中の映像から、各条件における前傾(lean)・同時発話(overlap)・首の振り(shake)の回数を計上し、実験条件群毎に分散分析およびTukeyのHSD検定を行った。結果の一部を図9に示す。面材種類毎の比較では、特に同時発話の項目で面材間の有意差が大きく、光反射率の高い面材の使用時に同時発話の回数が増える。会話に関する評価項目では視界が不明瞭な方が低評価となるため、同時発話回数の多さと会話しにくさの心理印象には関連が見られる可能性がある。また背景音毎の比較では各測定項目でb条件の方が回数は増加し、特に首の振りの項目でその傾向が顕著となった。さらに、衝立配置毎の主効果は検出されなかったが、Case3より4で首の振り・同時発話の回数が若干増加した。前傾回数は条件毎に大き

な差が見られなかったものの、会話が阻害される状況下で発話の衝突が頻発するようになり、意思表示を補助するために頷き動作が増える結果となる。

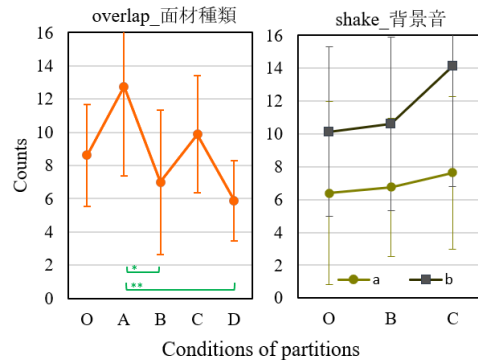


図9 各条件群の同時発話回数の比較 (左: 面材種類毎, 右: 背景音毎)

7. まとめ

挿入損失測定では、面密度の低い面材ほど音声伝送性能が高くなり、正面方向では衝立増設により逆に音圧が上昇し、4人配置時には正面・斜め方向と比較し横方向で音声レベルが大きく上昇する傾向が示された。

視覚なしの状態での聴取・発話に関する聴感実験では、全体として遮音性に評価が従いやすい傾向がみられる。また側方の衝立増設により聴取側の声の音色・距離感が改善するものの、発話側では声の大きさ感や反射の増大による不自然さを感じる可能性が高い。

一方で、2人1組の会話を模擬した心理評価実験では、音声評価は面材の面密度順には対応せず、視界が明瞭な条件程高くなることに加え、喧雑音付加時に視覚評価の低下が見られることから、衝立使用時の心理印象は面材の光反射率と暗騒音の大きさに左右され易いと考えられる。

4人1組での心理評価実験では、感染対策への安心感に関する評価項目では衝立の数が多い方が高評価となるものの、他の評価項目では衝立増設により視・聴覚ともに心理印象が低下する。さらに評価向き毎の聴感印象に関しても、衝立増設時には音声の挿入損失と心理評価に一部対応関係が見られず、衝立枚数や面材の明瞭性など視覚要素の影響を受け聴感印象が決定される可能性が指摘される。また会話中の頷き動作・同時発話の回数は会話のしにくさを感じる状況程増加しやすい傾向にあることが示された。

以上より、低反射性面材を使用した卓上衝立の設置は空間印象の改善に有効である他、面材厚さが厚い場合でも心理印象に悪影響を及ぼしづらいことが示唆される。加えて、暗騒音が比較的静かである場合や、衝立を複数方向に組まず一方のみ並べた場合に高評価が得られやすく、座席間の心理印象の違いも軽減されると推測される。

本研究は衝立使用時のユーザ評価を中心に構成されているが、今後の課題として、心理評価に大きく影響を与える要因を特定するための数量化I類による分析や、喧雑音付加時及び衝立増設の際の声の大きさ感・はね返り感の増大を確認するための物理測定を行うことが挙げられる。

参考文献

- [1]高橋他, 感染症対策が音声の伝達特性に与える影響の測定, ASJ 講義集, pp.247-250, 2020.9.
- [2] IEC 60268-16:2020, Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.
- [3]新田他, 飛沫防止用仕切り板の音響透過性能の向上 その4 -打合せスペースにおける比較-, ASJ 講義集, pp.521-524, 2022.3.