

東京大学大学院新領域創成科学研究科
社会文化環境学専攻

2020 年度
修 士 論 文

カームダウンスペースの
音響性能と心理印象に関する実験的検討
Experimental study on acoustic characteristics and psychological
impression of calm down spaces

2021 年 1 月 18 日提出
指導教員 佐久間 哲哉 教授

那 須 瑞 早
Nasu, Mizusa

目次

第1章 序章	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 カームダウンスペースとは	1
1.2 既往・関連研究	7
1.3 研究目的	10
1.4 論文構成	11
第2章 比較する面材の概要	13
2.1 はじめに	13
2.2 質量則について	13
2.3 面材の概要	14
第3章 カームダウンスペースの遮音性能	21
3.1 はじめに	21
3.2 実験方法	21
3.2.1 音源・CDSの配置	22
3.3 実験結果と考察	27
3.4 まとめ	29
第4章 カームダウンスペースの吸音性能	31
4.1 はじめに	31
4.2 ダミーヘッドの自己残響時間	31
4.2.1 実験目的	31
4.2.2 実験方法	32
4.2.3 実験結果	35
4.2.4 まとめ	38
4.3 室内音響測定	39
4.4 測定方法の検討	41
4.4.1 実験概要	41
4.4.2 実験結果	43
4.4.3 まとめ	44
4.5 実験方法	45
4.6 測定項目	47
4.7 実験結果	48
4.8 まとめ	50

第5章 カームダウンスペースの心理印象	51
5.1 はじめに	51
5.2 実験概要	52
5.3 被験者実験までの流れ	53
5.4 CDS 設置・非設置時の室内音響測定	54
5.4.1 実験目的	54
5.4.2 実験方法	54
5.4.3 実験結果	55
5.4.4 まとめ.....	55
5.5 環境音の周波数特性の把握	56
5.5.1 実験目的	56
5.5.2 音源入手・加工	56
5.5.3 実験方法	56
5.5.4 実験結果	57
5.5.5 まとめ.....	57
5.6 基準点と CDS 設置位置における A 特性音圧レベル.....	58
5.6.1 実験目的	58
5.6.2 実験方法	58
5.6.3 実験結果	58
5.6.4 まとめ.....	59
5.7 CDS を壁際に寄せた時の内部音環境	60
5.7.1 実験目的	60
5.7.2 実験方法	60
5.7.3 実験結果	62
5.7.4 まとめ.....	63
5.8 設問内容と評価方法の検討	64
5.8.1 設問内容の検討	64
5.8.2 評価方法	64
5.9 被験者実験	65
5.9.1 実験方法	65
5.9.2 評価項目	66
5.9.3 実験結果	67
5.10 まとめ	68
第6章 総括	69
6.1 研究の成果	69
6.2 今後の課題	71
参考文献	73
謝辞	75

発表論文一覧.....	77
付録.....	89

第 1 章

序章

1.1 研究背景

「カームダウンスペース」（以下、CDS）とは、発達障害や知的障害・精神障害等の特性のある人がパニックや興奮時の鎮静のために利用できる小空間を指す。発達障害者は主に音・光・目線に敏感であり、刺激が与えられるとパニック状態になる。パニック状態になると、個人差はあるが「痙攣を起す」「奇声を上げる」「暴れる」と言った他者に危害を加えてしまうことや、身体的不調を訴えることがある。これらは、発達障害者自身では抑えることが困難であり症状もさまざまであるため、個人にあった適切な対処をしていく必要がある。

特別支援学校や発達障害者の自宅では、パニック症状を未然に防ぐため、あるいは抑制するために様々な対策がなされている。その対策の1つとしてCDSが使用されている。

1.1.1 カームダウンスペースとは

■ CDS の特徴

発達障害や知的障害・精神障害等の特性のある人がパニックや興奮時の鎮静のために利用できる小空間を指す。発達障害や知的障害・精神障害等の特性のある人々は音・光・目線苦手とし、CDSをこれらの要素を遮断する効果を持つ。また、CDSのもつ大きな特徴の一つとして子供が一人で座位或は寝そべることができるほどの極小空間である点が挙げられる。発達障害者は開けた空間より狭い空間の方が落ちく傾向があり、こういった点でもCDSが一般居室と比べ極小空間である所以でもある。

また、CDSを上手く使いこなすことができれば、痙攣やパニックになる頻度も減少する。

■ CDSの種類

CDSは近年、学校の特別支援教室や保育所における利用に加え、ユニバーサルデザイン推進により公共施設への設置も開始されつつあり、現在はいくつか市販されている。以下に、CDSにはこういった形態の種類があるかを述べる。

a) 自作型

CDSの利用実態についての研究^{[1][2][3]}はされており、自作型のCDSが最も多く利用されている。特に材料として段ボールが使用されており、これは大きさが小さいこと、軽く持ち運びができること、安価で手に入りやすいことなどが理由となっている。しかし、段ボールは脆さがあり、発達障害者にとってパニック障害はいつ起こるかわからず一生付き合う必要があるため、CDSには耐久性が求められると考える。

自宅における
段ボール製のCDS

イベントで使用された
段ボール製のCDS^[4]

b) テント型

テント型は段ボール型同様安価で軽量であり、さらに気軽に折りたたむことが可能なである。発達障害者の自宅に使用される。

c) パーティション型

部屋を構造化することができるので段ボール製に次いでよく利用されている。

自宅での例

イベントにおける例^[5]

学校における例

d) 市販品-組み立て型

頑丈な折り畳み可能であるが、高価であるため特別支援学校や個人宅には購入が困難であることが課題である。

市販品の CDS のためのパーティションで作成した例



本研究で扱う CDS

e) 市販品-ブース型

頑丈さを備えているが、効果であり一度設置すると安易に片付けることが難しいため、専ら公共施設へ導入がなされている。

段ボール製市販品 1^[6]

頑丈さを備えた CDS^[7]

段ボール製の市販品 2^[8]

f) 別室型

CDS を作成するための器具等を等を使わず、イベントや公共施設において1人以上が入ることが可能な空間である。他にも会議室を利用するなど一時的な CDS として使われる形態である。

小学校の例^[9]

国立競技場に設けられた CDS^[10]

■ CDS の課題

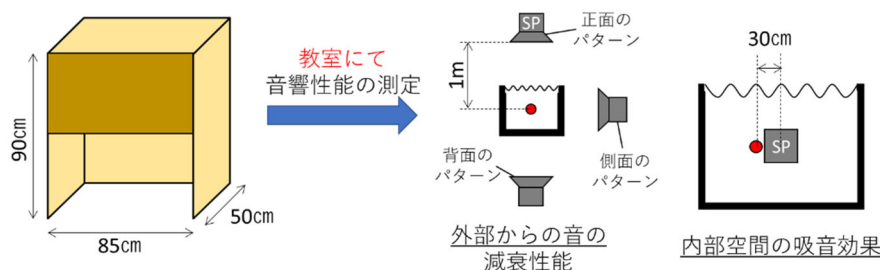
CDS の認知度はさることながら、CDS の大きさ、重量、耐久性について設計指標が確立されていないため不明なことが課題である。

1.2 既往・関連研究

CDS の市販品の登場や東京オリンピック・パラリンピックに向けてユニバーサルデザイン化が進み、CDS も例外ではなく、少しずつ導入率が増加している。しかし、認知度については未だ低いためか研究事例は少ない。以下に様々な観点から CDS についての性能や使われ方などの既往研究についてまとめる。

■ 音響測定を行った研究

渡辺らによる「教育・保育環境における吸音材を用いた小空間の提案」^[2]において、渡辺らが吸音材を用いたパネルで構成され、開口部上半分に布状の吸音材を取り付けた CDS を自作し、教室にて自作した CDS の外部からの音の減衰性能と、内部空間の吸音効果について測定していた。



これにより、外部からの音の減衰性能については、側面および背面からの音に対しては高音域（1kHz・2kHz 帯域）ほど約 10～15dB の減衰を確認し、内部空間の吸音効果については、高音域は初期反射音が抑制され、残響時間も外部より半分以下と短いことを確認していた。

また、作成したカームダウンスペースを特別支援学校に導入し、教員へのアンケートによって使用状況を調べ、カームダウンスペース内で音読や声を発するような使用のされ方があったこと、外部からの視線を遮り、かつ外にいる教師から中の様子が分かる開口部のとり方をする必要があったことが分かった。

■ 吸音材を用いた CDS を提案し普及に向けた取り組みをした研究

荒井らによる「吸音材を用いた補助具の提案と普及に向けた取り組み」^[3]において、児童の感覚特性に配慮した環境づくりに着目し、環境設計手法の提案・普及を目指した取り組みをしている。その環境設定の一つの手法として、吸音材を用いた補助具を作成し、教育現場への導入を行っている。補助具について以下 5 つについてヒアリングを行っている。それぞれについてヒアリング結果をまとめる。

a) リラックスボックス

内部に吸音材を張り、静穏な環境を確保することを意図して、制作した箱型の補助具。机の上に置き頭を入れて、使用することを想定した大きさ（W53×D38×H38 cm）となっている。ヒアリングの結果、イヤホンやイヤーマフに比べて触覚過敏が出にくいことや、自宅に持ち帰って使用した利用者からは音や光が遮断されること

で眠りの質が良くなったことが分かった。

b) 小空間

既往研究で紹介した渡辺らによる研究で使用した CDS と同様のものである。ヒアリングの結果、中に入り気持ちが落ち着くまで活用していたことを確認。また、不安感や気持ちの高ぶりを収める際に活用され、他害や自傷行為の変化や衝動の抑制を確認している。

c) 吸音テント

頂部周辺から光が入るような工夫をし、閉塞感をなくし、かつ窮屈感のない静穏空間となるように設計している。ヒアリングにより、このタイプは暗所や閉所が苦手な人にとって入りやすいという意見を得ていた。

d) 吸音パーティション

吸音材を張ったパーティションを後方を囲うように設置し、周囲の音を軽減することを意図して製作されている。ヒアリングの結果、後ろからの音が遮断されることや音の方向を絞れることがいいという意見を得ていた。

e) 吸音のれん・吸音カーテン

空間を緩やかに仕切り、段階的に音環境を区画することを目的として提案されている。ヒアリングの結果、人の気配に敏感な児童にとって効果が見られたことを確認している。

以上より、新井らによる研究では、吸音材を用いた様々な補助具の導入は児童らの感覚特性に配慮された有効な手法であることが把握されている。

■ CDS の使用目的や形態について把握した研究

今林らによる「特別支援学校における自己領域化空間の設置率とその特徴」^[11]において、CDS は段ボールを使用した自作のものが多いこと、CDS は喧噪から避けるため教室の廊下から離れた隅に置かれることが多いこと、カームダウンスペースは「ブース型」や「別室型」が多いことが確認されている。

■ 障害特性に着目し生理指標を用いた研究

荻田による「カームダウン空間が障害児の生理的ストレス反応に及ぼす影響-重症心身障害児と知的障害児の比較-」^[12]において、障害特性（重度の運動障害と知的障害が重複した SMID 児と、単一障害である MR 児）によって、カームダウン空間がストレス低減に及ぼす影響に違いがあるか検討することを目的とした。測定方法はカームダウン空間を体験した前後で唾液採取し、SMID 児と MR 児では、ストレス反応の度合いが異なる可能性について検討している。これにより、障害特性によって大きな差があることが確認された。

以上のことから、CDS についての音響測定に関する測定事例の少なさが CDS の課題として

挙げられる。

本研究では渡辺らの研究と今林らによる研究を参考に CDS の音響性能を把握することで CDS についての新たな知見と、CDS の開発・普及に向けた一助になることを目指す。

1.3 研究目的

CDS の音響性能を把握する上で、室内音響設計について把握する必要がある。以下に室内音響についてまとめる。

良い室内音響効果を得るには、まず外部からの騒音や振動が室内に侵入しないことが基本的に必要であり、基本設計の段階から室内外の騒音・振動減にたいする遮音や防振対策が十分に検討されなければならない。それらの条件が見られたうえで、次のような室内音響効果を実現するよう、室内音響設計が進められる。^[12]

- a) 十分な音量で、話声などが明瞭に聞き取れること
- b) 使用目的に適した響きを持つこと
- c) ロングパスエコーやフラッターエコー等の音響障害がないこと

これらのことから、室の壁・天井・床に使用される材料は、「外部からの騒音の遮断性能」と「内部で発生した音源の抑制する効果」つまり遮音・吸音性能が求められる。

よって、CDS の音響性能として求められるものは以下の 2 点である。

- ・ 外部環境からの遮断のための内外の遮音性能
- ・ CDS 内での自身の泣き声や叫び声を抑制する効果の把握

前者は、CDS を利用する発達障害者たちが苦手とする音を遮断する効果である。後者は、発達障害者がパニックになると泣いたり叫び声を上げたりするのでその音の抑制する内部での吸音性能である。内部で音が響くと音に敏感な発達障害者は CDS 内が不快な場所として認識されるため^[13]、こう言った点でも吸音性能は遮音性能と同様重要と言える。

本研究ではこの 2 点に着目し、遮音・吸音性能の物理実験と心理実験を行うことで CDS の音響性能と心理印象について把握をする。

1.4 論文構成

以下に論文の構成を示す。

第1章では、研究の背景として、CDSの説明、CDSについての既往研究をまとめたうえで、本研究の位置付け及び目的について述べる。

第2章では、比較するCDSの構成面材の概要について述べる。

第3章では、CDSの遮音性能について述べる。周囲からの音に対するCDSの挿入損失を測定し、遮音性能の基本特性および構成部材の影響について検討を行う。

第4章では、CDSの吸音性能について述べる。測定機器に使用するダミーヘッドの自己残響時間についての把握と吸音性能把握をするための測定法の検討をする。その後、構成部材の異なるCDS内においてダミーヘッドを用いた音響測定を行い、自身の声の響きに及ぼす構成部材の影響について実験的検討を行う。

第5章では、CDSの心理印象について述べる。実空間におけるCDSの設置状況を想定し、CDS内部でのうるささの緩和や外部空間からの隔離感などの心理的効果を聴感実験により検証する。

第6章では、本研究を総括し、今後の課題について述べる。

第2章

比較する面材の概要

2.1 はじめに

本研究では、共同で開発している CDS の音響性能と心理印象を把握するため、面材に着目し、異なる面材による内部音環境の影響を検討する。面材は質量則より面密度と質量の異なる4つの部材で比較した。

2.2 質量則について

本研究では音響性能を遮音性能と吸音性能の2方面で検討する。そこで材料による音響性能を比較するうえで、質量則は重要となってくる。質量則について以下にまとめる。

■ 質量則

一般に、遮音材料・構造の遮音性能の評価には音響透過損失 TL(単位：dB)が用いられる。音響透過損失は、材料に入射した音の強さと材料を透過する音の強さから求められる。

壁の厚さが音の波長に比べて十分に薄く、壁が一体となってピストン運動することを仮定すると、垂直入射の条件の等価損失 TL は次式のように表される。

$$TL \cong 20 \log_{10} f \cdot m - 42.5(\text{dB}) \quad (2.1)$$

f : 入射音波の周波数 (Hz)、 m : 壁の単位面積当たりの質量 (kg/m^2)

このように透過損失が壁の質量と周波数の積に依存する関係を遮音に関する質量則と呼ぶ。つまり、壁の質量または周波数が2倍になれば、TL が 6dB 増加する関係にあり、質量が大きいほど遮音性が高いことを示す。^[14]

これを考慮し、比較する面材は面密度・質量の異なるものを使用することとした。

2.3 面材の概要

表 2-1 に使用する面材の概要、図 2-1 に段ボールを除く各面材の吸音率、図 2-2 に CDS のイメージ図、図 2-3 に面材の組み方を示す。コンパネの吸音率は予測値^[15]、NPHP と PHP+SAM は「JIS-A1409 残響室法吸音率の測定方法」に従い、残響室に CDS を組み立てた際内側になる面を上向き且つ床置きにした状態の測定値である。段ボールの吸音率は不明である。使用する面材は A：段ボール、B：コンパネ、C：NPHP、D：PHP+SAM とした。CDS は子供の床座位を想定した内寸が 0.9m×0.9m×1.0m(H) のおよそ立方体の形状とし、鉛直 3 面と上面の計 4 面を同一面材で構成し、一方向を開口部とした。CDS を作成する際、面材間は全て NPHP、PHP+SAM と同様の組み方と箇所固定した。物理実験においてのみ C・D では被覆織物のカーテンを開口部上部の 2/3 程度に付けた場合でも測定を行った。面材間の固定は D と統一し、面材端部からジョイント部分の中心までが 220mm となるようにした。

表 2-1 比較する面材の概要

	面材名	厚さ(mm)	サイズ(mm)	1枚の重量(kg)	面密度(g/m ²)
A	段ボール	5	W912×D878×H974	0.46	0.54
B	コンパネ	12	W930×D884×H980	6.3	7.4
C	NPHP	22	W948×D904×H974	3.6	4.1
D	PHP+SAM	32	W968×D904×H1000	3.9	4.5

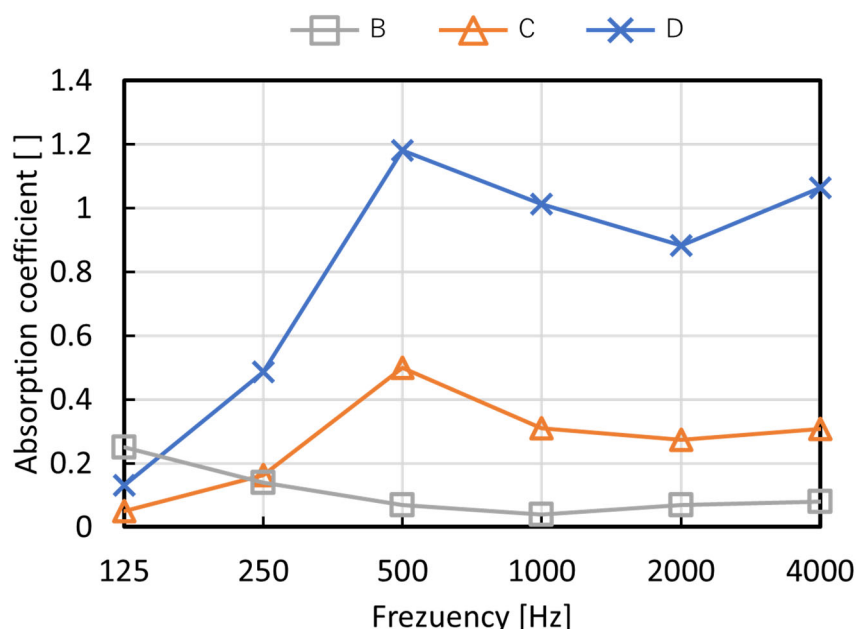


図 2-1 段ボールを除く各面材の吸音率

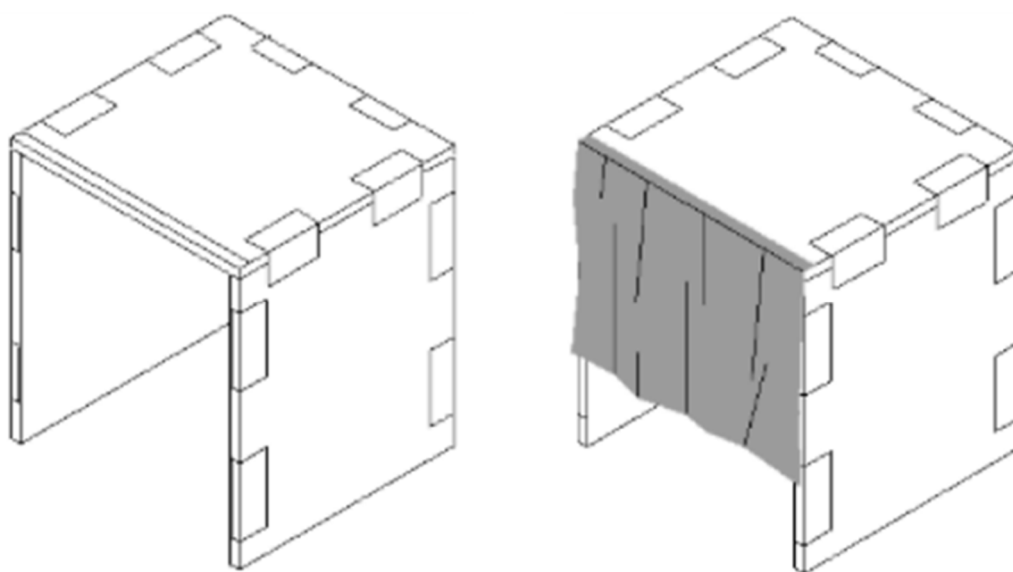


図 2-2 CDS イメージ図 (左 : 開口部全開、右 : カーテンあり)

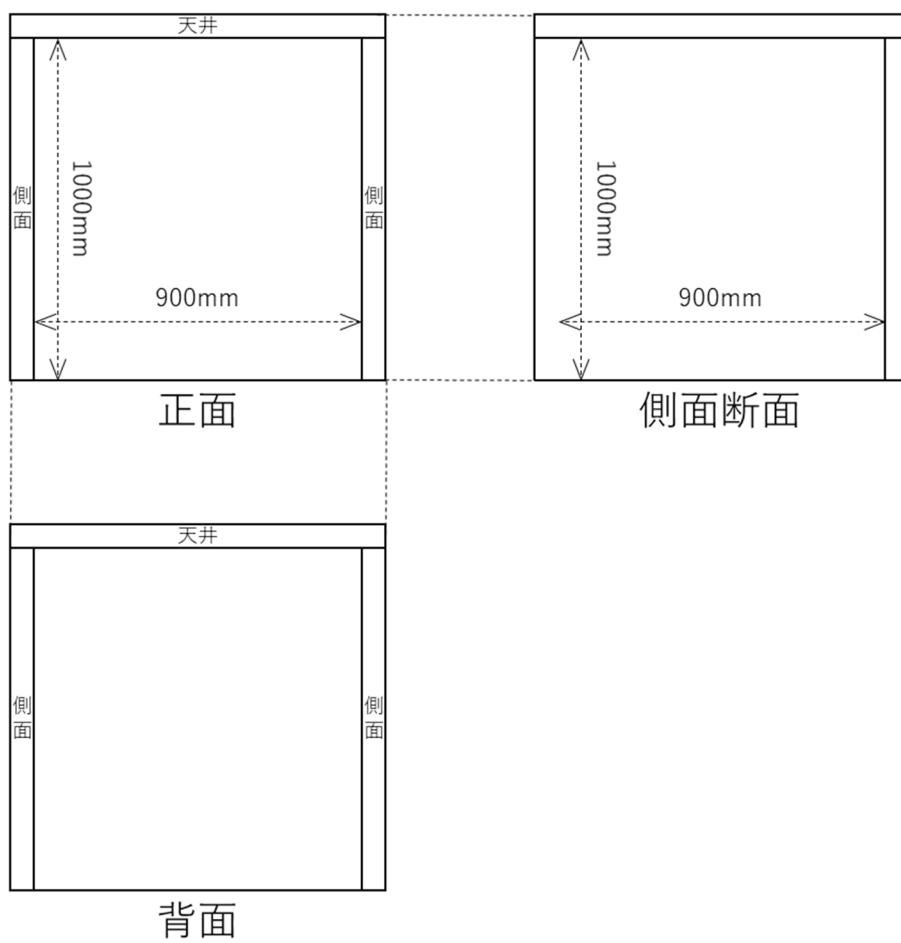


図 2-3 面材の組み方

A. 段ボール

段ボールは CDS の面材として多く利用されており、軽量であるため比較面材として選んだ。図 2-4 に段ボールの断面図、図 2-5 に段ボールの面材間の固定の様子を示す。一般的な段ボール箱で使用されている規格になっており、古紙含有率 50% 程度の厚さ 5mm の両面段ボール(1つの波形上の中芯の表裏にライナーを貼り合わせたもの)である。表面(ライナー)はツヤのある材質となっている。CDS を作成する際、面材間は養生テープ(幅 200mm)で固定した。

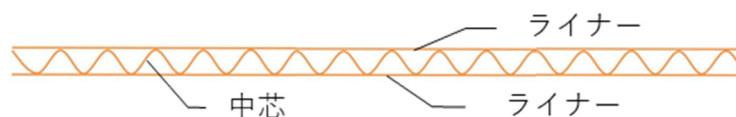


図 2-4 段ボールの断面図



図 2-5 段ボールの面材間の固定の様子 (後方の様子)

面材間の固定の軟弱性がうかがえるが、段ボールは最も厚さ・面密度・質量が小さいので遮音・吸音効果は小さいと予想され、評価にあまり影響がないと考えられる。また、このことから、吸音率が不明だが4つの面材の中で最も吸音率が低いと考えられる。

B. コンパネ

最も面密度・質量の大きいものとして比較面材として選んだ。

図 2-6 にコンパネの断面図、図 2-7 にコンパネの面材間の固定の様子を示す。一般的にコンクリート型枠用合板として用いられる材質で、厚さは 12mm である。CDS を作成する際、面材間は L 字金具(幅 40mm)とビスで固定した。L 字金具には各辺に 4 つの孔を有している。



図 2-6 コンパネの断面図



図 2-7 コンパネの面材間の固定の様子(左：左後方からの様子、右：固定部分)

質量則に則ると厚さ・面密度共に段ボールより大きく、段ボールより高い遮音性能が得られることが予想される。しかし、吸音率は NPHP・PHP+SAM より大幅に低く、遮音吸音性能も NPHP・PHP+SAM より低くなると予想される。

C. NPHP

図 2-8 に NPHP の断面図、図 2-9 に NPHP の面材間の固定の様子を示す。

無孔樹脂製ハニカム板 (Non-perforated Honeycomb Plate) を使用しており PHP+SAM の吸音不織布を使用していない計 4 種類 4 層の材料で構成される厚さ 22mm の比較試験体である。カーテン素材は面材の外側に使用しているものと同様の被覆織物(ポリエステル)+PVC シート(ポリ塩化ビニル)である。



図 2-8 NPHP の断面図



図 2-9 NPHP の固定の様子（左から背面、カーテンありの側面、カーテンありの正面）

無孔かつ吸音不織布を使用しおらず、PHP+SAM より吸音率も低いことから遮音・吸音性能は PHP+SAM より低いことが予想される。しかし、厚さ・面密度共に段ボールの約 4 倍あるので、段ボールより遮音・吸音性能は高いと思われる。

D. PHP+SAM

図 2-10 に PHP+SAM の断面図、図 2-11 に外観を示す。

有孔樹脂製ハニカム板（Perforated Honeycomb Plate）と吸音材として吸音不織布を使用している。本研究ではこの面材を使用した CDS の共同開発をしている。計 5 種類 5 層の材料で「区精され厚さ 32mm である。NPHP とは異なり、有孔樹脂製ハニカム板と吸音不織布により遮音性と吸音性を備えている。有孔樹脂製ハニカム板は、ハニカム構造となっているため剛性を持ち、各ハニカム構造に微細な開孔を設けることで、ヘルムホルツ共鳴による中音域に対する吸音効果も持っている。更に、吸音不織布をつけることで高音域における吸音効果を持っている。外観は NPHP とほとんど変わらない仕様となっている

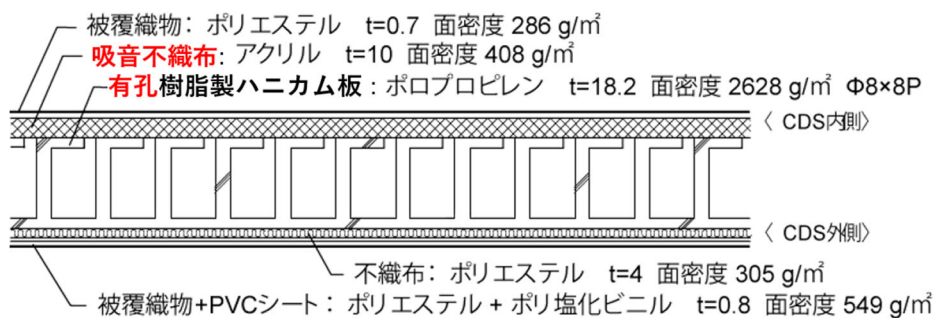


図 2-10 PHP+SAM の断面図



図 2-11 PHP+SAM の外観

PHP+SAM は有孔樹脂製ハニカム板と吸音不織布が用いられ厚さが最もあるので、最も遮音・吸音性能が高くなると考えられる。しかし、面密度はコンパネの方が 1.6 倍大きいので、コンパネとの関係を見ていく必要があると予想される。

第3章

カムダウンスペースの遮音性能

3.1 はじめに

本実験では外部環境からの遮断のための内外の遮音性能を把握するため、周囲からの音に関する CDS の挿入損失を測定し、遮音性能の基本特性および構成部材の影響について検討を行う。

第2節では、遮音性能を把握するための指標と遮音性能の実験方法について述べる。第3節では、実験結果について述べる。第4節で遮音性能の実験のまとめとする。

3.2 実験方法

一般に、遮音材料・構造の音響性能は式(2.1)によって算出できるが、これは予測値である。実際の使用状態での遮音効果の表示方法は以下の2つが用いられる^[16]。

■ 音圧レベル差

実際使用状態での遮音効果を表示するためには、次式で与えられ音圧レベル差が使われることが多い。

$$D = L_1 - L_2 \text{ (dB)} \quad (3.2)$$

L_1, L_2 : 両側の空間を代表する音圧レベル

ここで、 L_1, L_2 の代表値の取り方については、それぞれの空間の状態に応じて明確に規定することが必要である。例えば両側が同程度の大きさの室の場合には、それぞれの室内の平均音圧レベルを取るのが普通であり、この場合には D は室間平均音圧レベル差となる。

■ 挿入損失

実際使用状態での遮音効果の表示方法として、前項の音圧レベル差の他に、次式で与

えられる挿入損失が使われる。

$$D_{IL} = L_B - L_A (\text{dB}) \quad (3.3)$$

L_A : 音源との間に遮音材料があるときの同じ受音点での音圧レベル

L_B : 特定の受音点における遮音材料がないときの音圧レベル

本研究ではカームダウンスペースを用いればどれほど遮音効果が得られるのかと言う実験なので挿入損失を測定する。

実験方法は、半無響室および残響室において CDS 外部のピーカからピンクノイズを発生させ、CDS 内部の音圧レベルを CDS 設置・非設置時で測定し、その音圧レベルさ～挿入損失を算出する。半無響室では CDS 四週の方方向からの入射、残響室では拡散入射を想定し、各入射条件の挿入損失を同定する。

3.2.1 音源・CDS の配置

測定装置の概要を表 3-1 に示す。半無響室・残響室ともに、騒音計を用いて図 3-1 に示す CDS 内の 4 点において音圧レベルを測定し、それらの平均音圧レベルを算出した。12 面体スピーカの外観を図 3-2 に示す。また、各実験室における音源に対する CDS 設置方向の条件を図 3-3 および図 3-4 に示す。音源は 12 面体スピーカ(ブリュエルケア社製 Type 4292-L)を床置きとし、半無響室では CDS の中央から 4 方向に 1m 離れた金榜点、残響室では室隅部付近に配置した。CDS の設置方向に関しては、開口部を正面として、スピーカに対して(a)正面向き、(b)側面向き、(c)背面向きの 3 パターンで測定を行った。各実験室における測定風景を図 3-5 に示す。

表 3-1 測定装置の概要

半無響室		
	室内寸法	6 m(W) × 4 m(D) × 4.8 m(H) + 床下 0.6 m
	室容積	115.2 m ³
	吸音楔	600 mm × 600 mm × 600 mm 面密度 32 kg/m ²
	距離減衰	逆自乗則許容範囲 1.5 m (100 Hz 以上) JIS-Z8732
	暗騒音	15 dB以下 (500 Hz 以上)
残響室		
	室容積	200 m ³ 不整形 7 面体 (表面積 203.1 m ²)
	拡散度	500 Hz 以上で標準偏差 0.5 dB 以内 JIS-Z8734
	残響時間	500 Hz で 12 秒以上 JIS-A1409
	暗騒音	20 dB 以下 (500 Hz 以上)
	開口部	1 m ²
音響パワー測定システム		
計測装置	周波数範囲	20～5 kHz
	ダイナミックレンジ	160 dB
	FFT分析	オクターブ分析、音響パワーレベル、建築音響
音源	12面体スピーカ	ブリュエルケア社製 Type 4292-L

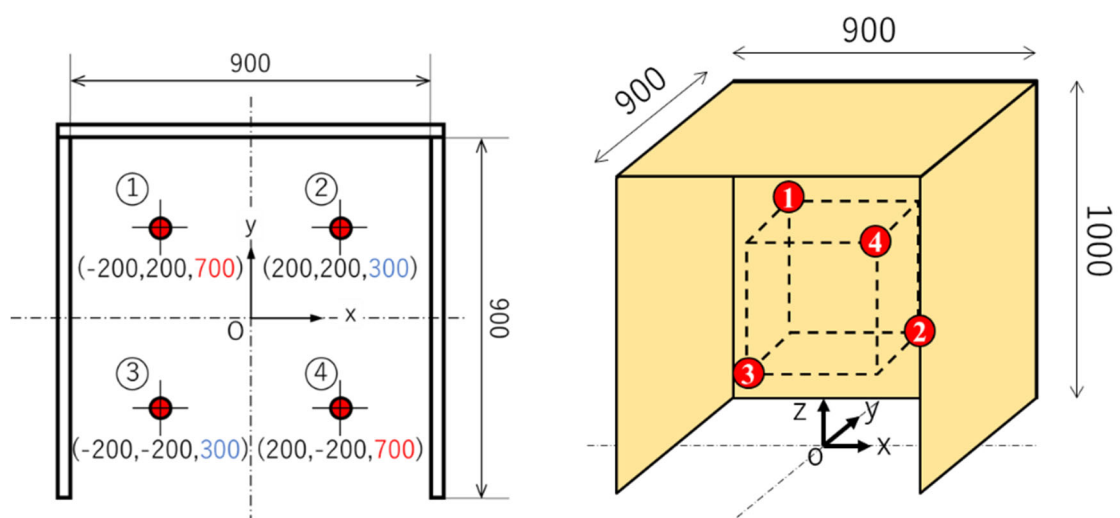


図 3-1 CDS 内の測定点の配置

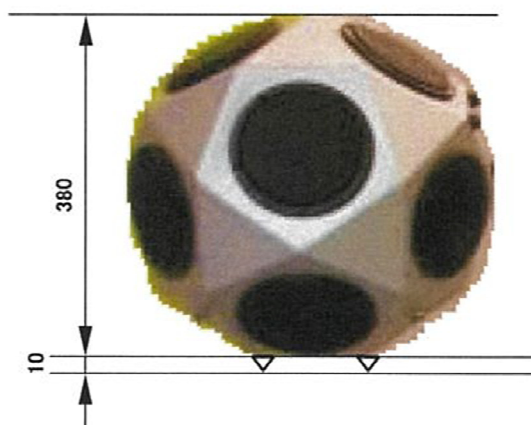


図 3-2 12 面体スピーカ

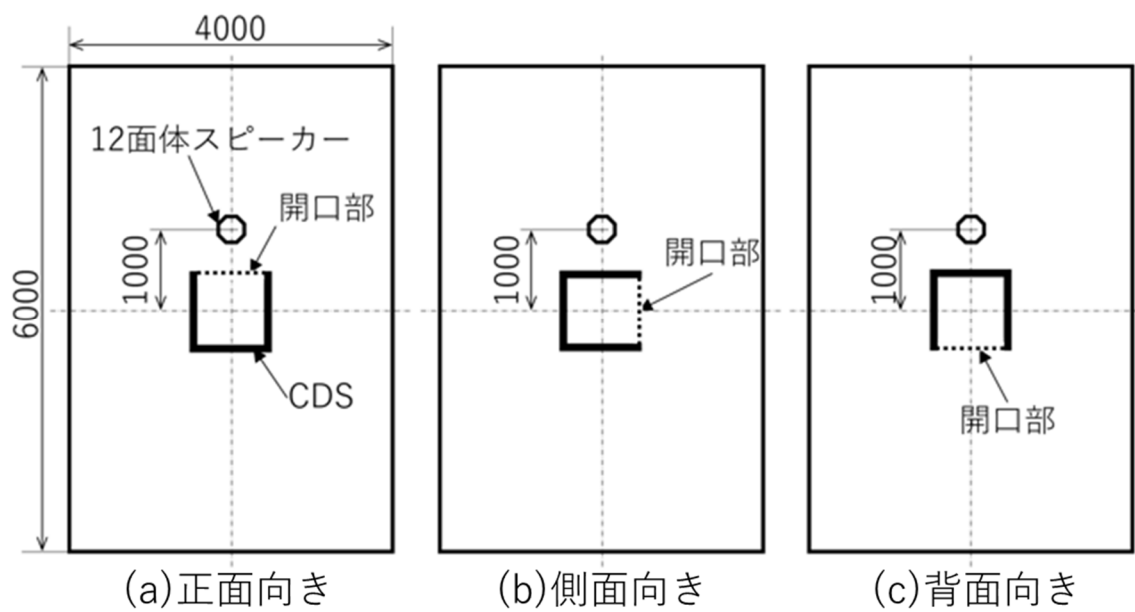
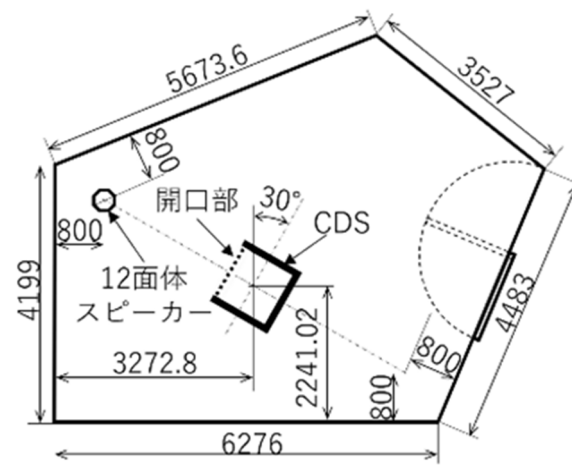
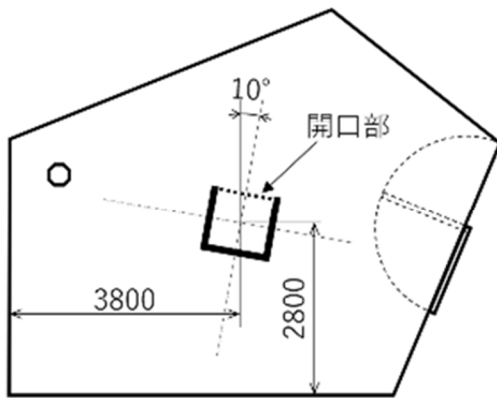


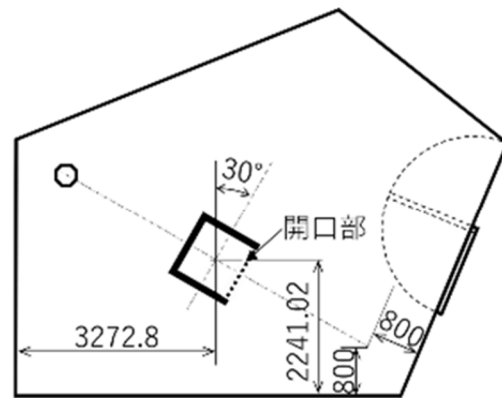
図 3-3 半無響室における音源・CDS の配置



(a) 正面向き



(b) 側面向き



(c) 背面向き

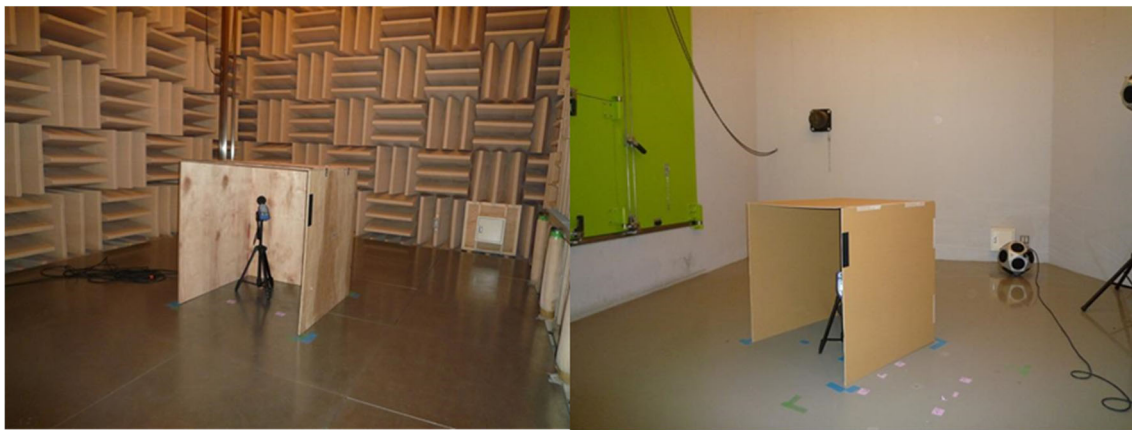
図 3-4 無響室における音源・CDS の配置



(a) 正面向き



(b) 側面向き



(c) 背面向き

図 3-5 測定風景 (左 : 半無響室、右 : 残響室)

3.3 実験結果と考察

測定結果を各実験室について考察する。

■ 半無響室の結果

半無響室において CDS の 3 方向に配置した場合の挿入損失の測定結果を図 3-6 に示す。

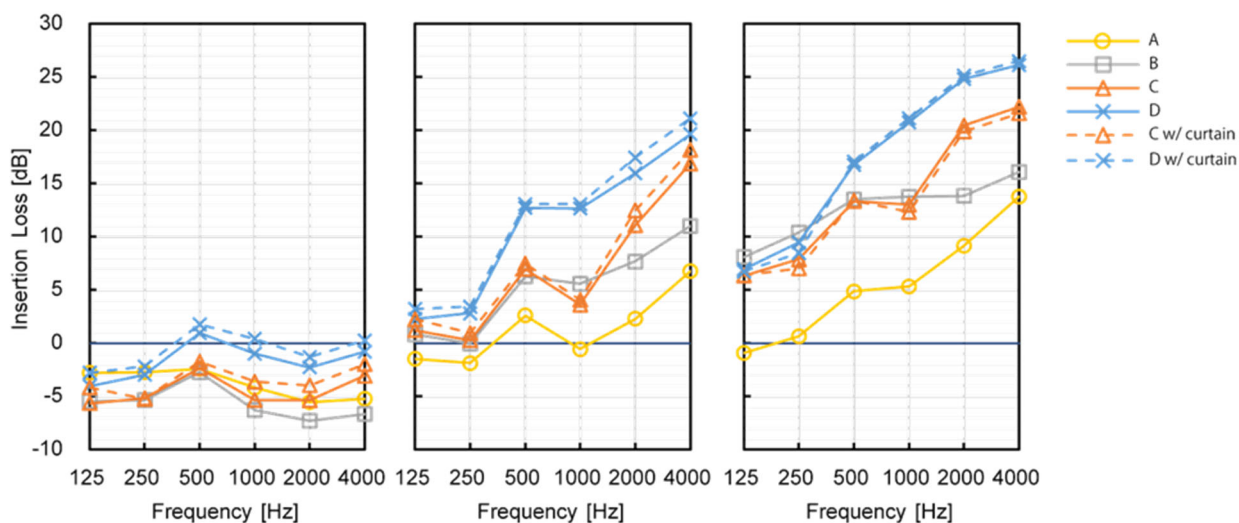


図 3-6 半無響室の測定結果

全体傾向として、正面向きでは CDS の反射により挿入損失は負の値となるのに対して、側面向き・背面向きの順に全周波数帯域域で顕著に上昇し、高音域ほど高い値となることが確認できる。

CDS の面材による影響としては、概ねタイプ A から D の順で挿入損失は高くなり、特に中高音域では面密度が最も高いコンパネよりも面密度が約半分の樹脂製ハニカム板の方が高い値を示している。コンパネの吸音性は非常に低く、CDS 内部で音の増幅が生じたためと考えられる。また、樹脂製ハニカム板のタイプ C・D を比較すると、中高音域で 5 dB 程度の差が生じており、CDS 内側の吸音付加が挿入損失の上昇に大きく寄与することが示された。

遮音性能が最も高いタイプ D では、CDS 開口部の反対方向から到来する音に対して、およそ低音域 10 dB、中音域 20 dB、高音域 25 dB の低減性能を有している。なお、カーテン設置の遮音効果は、正面向きの場合に高音域で若干生じているものの、全体的に僅かとなっている。

■ 残響室の結果

残響室において CDS の 3 方向に配置した場合の挿入損失の測定結果を図 3-7 に示す。

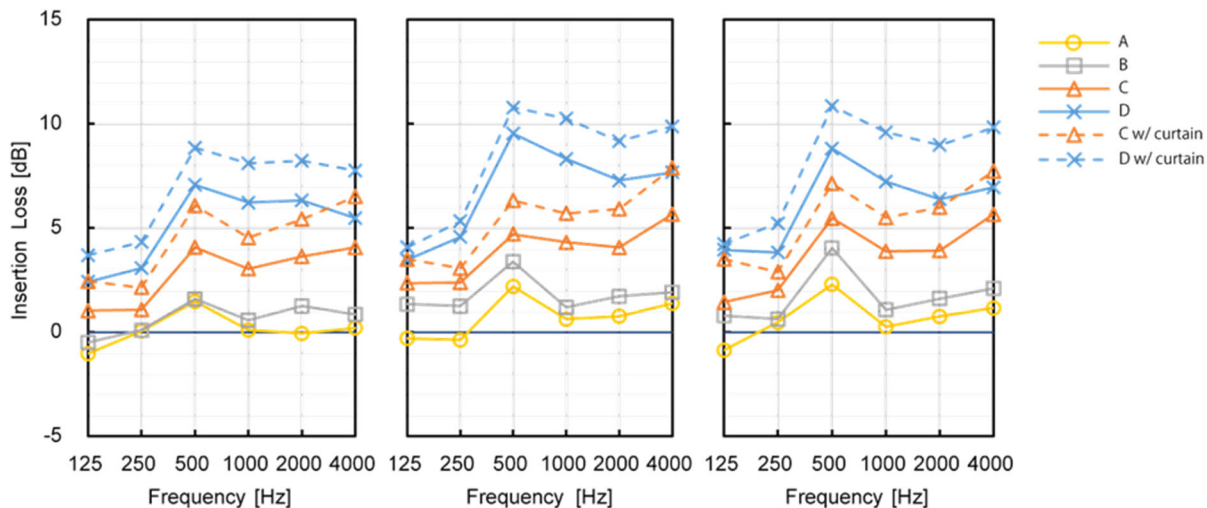


図 3-7 残響室の測定結果

正面向きでは他 2 方向と比べ全周波数帯域で 1~2 dB 程度低下するものの、全体傾向は概ね同様であり、タイプ A から D の順で挿入損失は高くなっている。しかし、挿入損失は遮音性能が最も高いタイプ D でも高音域で 10 dB 以下であり、開口部からの入射の寄与が大きいものと考えられる。

面材による影響として、段ボールとコンパネはほぼ同程度の低い遮音性能となっており、樹脂製ハニカム板では内部の吸音性により挿入損失が上昇しているものと推察される。なお、残響室ではカーテン設置により中高音域で 2 dB 程度の挿入損失の上昇が明確に現れている。

3.4 まとめ

CDS 周囲の特定方向および全方向からの音の入射に対して、4 種類の面材で構成した CDS の挿入損失を測定し、遮音性能の傾向を把握した。

開口部反対側からの入射に対しては、軽量のパネルでも内側を吸音性とすることで、中高音域では 20 dB を超える比較的高い遮音性能が得られることが確認された。ただし、その面材の場合でも、拡散音場を想定した入射に対しては、10 dB 以下にとどまった。なお、開口部へのカーテン設置により、拡散音場における入射の場合、中高音域で 2 dB 程度の遮音性能の向上が見込まれる。

第4章

カームダウンスペースの吸音性能

4.1 はじめに

本実験では、CDS 内での自身の泣き声や叫び声の響きを抑制するため、構成部材の異なる CDS 内においてダミーヘッドを用いた音響測定を行い、自身の声の響きに及ぼす構成部材の影響について実験的検討を行う。

第2節では、実験機器として使用するダミーヘッドの自己残響時間を把握する。その後、室内音響測定についてまとめ、第3節で吸音性能実験を行うための測定方法について検討をする。これらのことを踏まえ、第4節では、半無響室と学内教室においてダミーヘッドを用いたインパルス応答測定を行い、CDS の吸音性能の把握を行う。

4.2 ダミーヘッドの自己残響時間

4.2.1 実験目的

カームダウンスペースの内部音環境の測定はダミーヘッドを使用することを検討する。このとき、ダミーヘッドのロススピーカと耳マイクロフォンの距離は近傍であり測定の際に干渉の可能性が危惧される。

ここでは、ダミーヘッドのロススピーカから音を出し耳マイクロフォンで測定した時に干渉が生じないかを検証する。

4.2.2 実験方法

無響室にてダミーヘッドを用いたインパルス応答測定を行った。測定パターンは以下2パターンを行い、両測定で音響特性の差を検証する。

Case1：ダミーヘッドのロマイクロフォンを音源点、耳マイクロフォンを受音点

Case2：ダミーヘッド前方に1m離れたスピーカを音源点、ダミーヘッドの耳マイクロフォンを受音点

Case1、2それぞれの測定システム概要図を図4-1に示す。ダミーヘッド（ACO Type 8328、高さ72cm）内部は空洞となっているため、ダミーヘッド内部での反響を抑制するため内部にスポンジ材を入れたパターンも測定をした。ダミーヘッドの外観・内部仕様を図4-2および図4-3に示す。スポンジを入れるとダミーヘッド背面扉がしっかりと閉じないため養生テープで補強した（図4-4）。インパルス信号の概要を表4-1に示す。

インパルス応答測定から算出する評価項目を以下に示す。内部にスポンジ材を入れたパターンの測定結果は残響時間、1/3オクターブ音圧レベルにおいて検証する。

- ・インパルス応答波形
- ・エネルギー減衰曲線
- ・残響時間
- ・1/3オクターブ音圧レベル

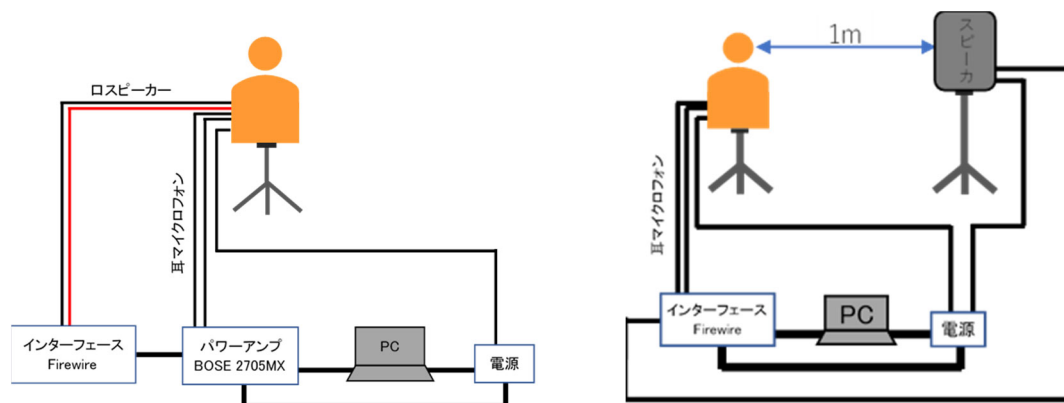


図 4-1 測定システム概要図（左：Case1、右：Case2）



図 4-2 ダミーヘッドの外観（左から正面、側面、背面）

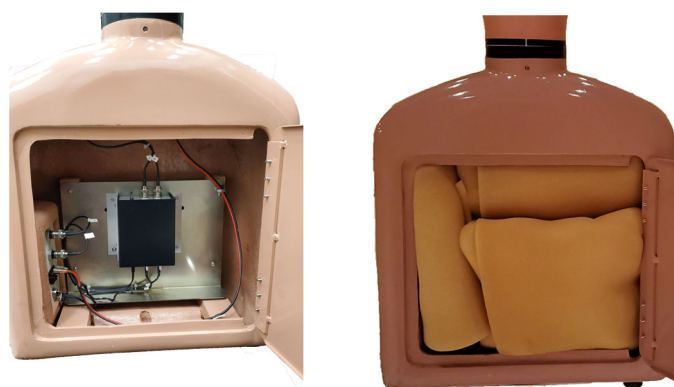


図 4-3 ダミーヘッドの中の状態（左：空洞状態、右：スポンジ材を入れた状態）

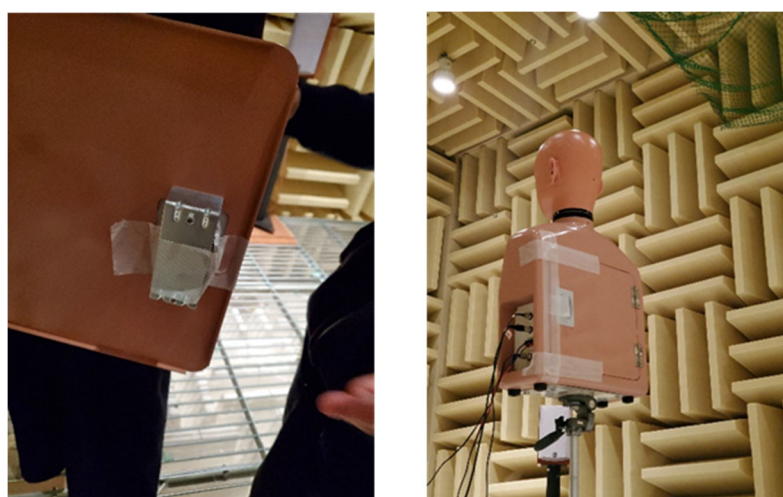


図 4-4 背面扉を養生テープで補強した様子

表 4-1 インパルス信号の概要

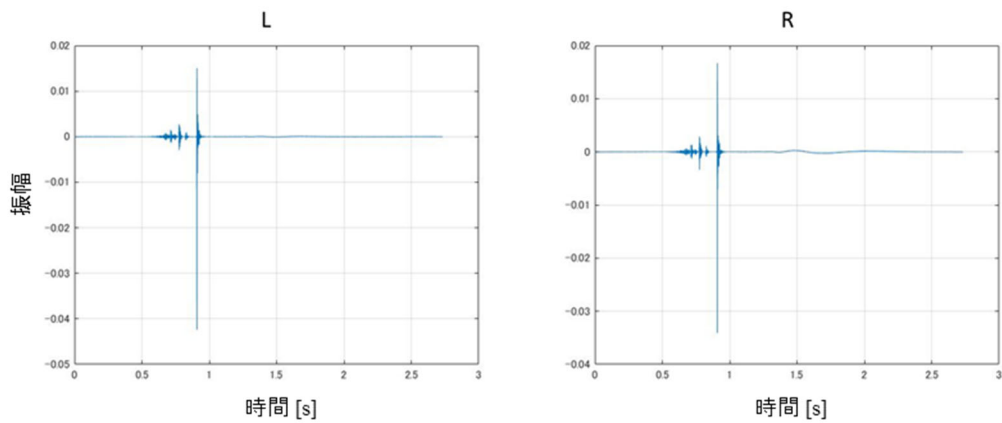
信号種類	設定	
ピンクTSP信号	信号種類	ピンクTSP信号
	サンプリング周波数	48000 Hz
	同期加算回数	10回
	出力信号次数	17次

4.2.3 実験結果

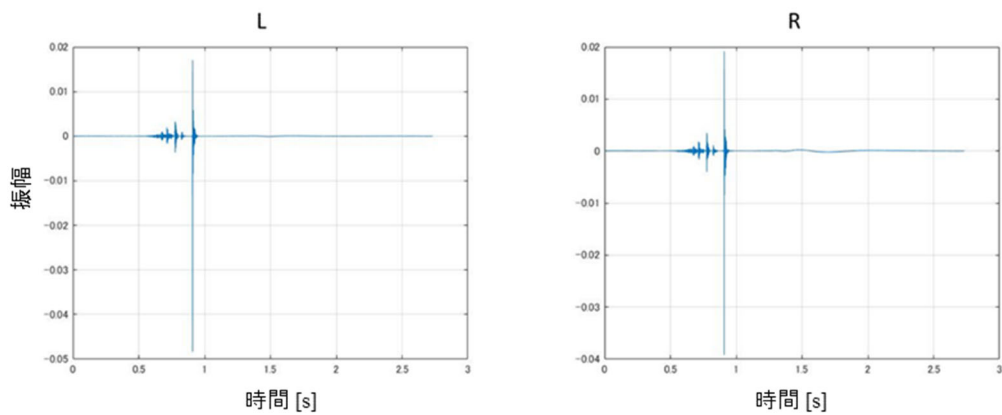
算出した各測定項目において以下に考察をまとめる。

■ インパルス応答波形

図 4-5 にインパルス応答波形を示す。



Case 1



Case2

図 4-5 インパルス応答波形

Case1、Case2 とともに波形のずれはわずかとなった。

■ エネルギー減衰曲線と残響時間

エネルギー減衰曲線と残響時間の結果を図 4-6 および図 4-7 に示す。残響時間において 62.5Hz 帯域成分はほとんど測定することができないので T10、125Hz 帯域以降は初期減衰時間(EDT)を算出した。凡例の「screw」とは、図 4-8 に示す接続板の 4 隅を固定するネジを締め直した測定パターンである。また、スポンジ材を入れ養生テープで固定はせず図 4-4 に示す背面扉のフックで扉を閉めたパターンも測定した。

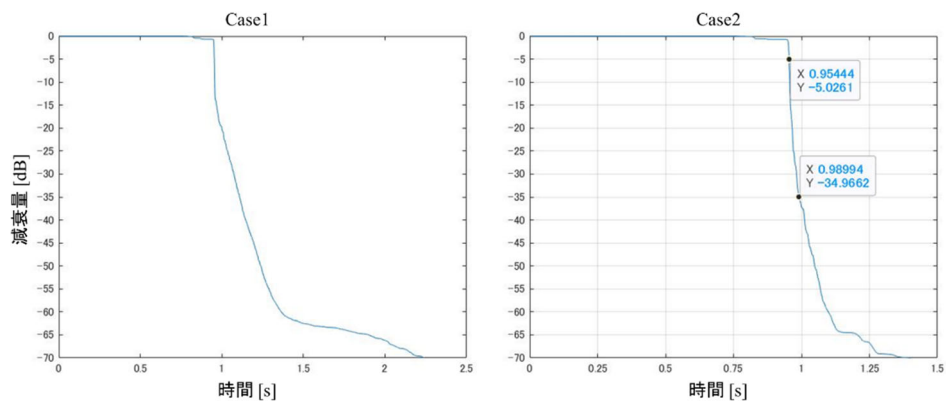


図 4-6 250Hz のエネルギー減衰曲線

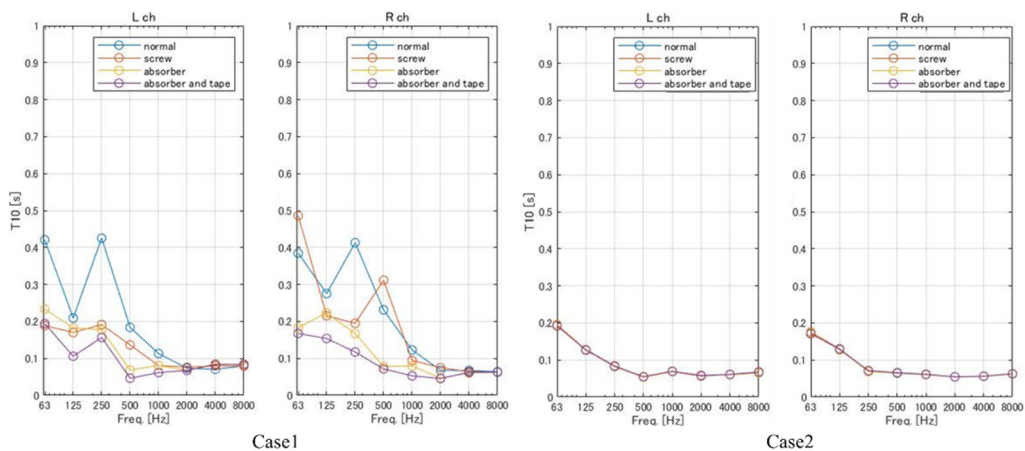


図 4-7 残響時間 (62.5Hz は EDT、125Hz～は T30)



図 4-8 ダミーヘッド側面のケーブル接続板の様子

スポンジ材を入れ養生テープで背面扉を補強したパターンが最も残響時間が短く、Case1、Case2 共に同様の傾向が見られほとんど差が見られなかった。

■ 1/3 オクターブ音圧レベル

1/3 オクターブ音圧レベルの結果を図 4-9 に示す

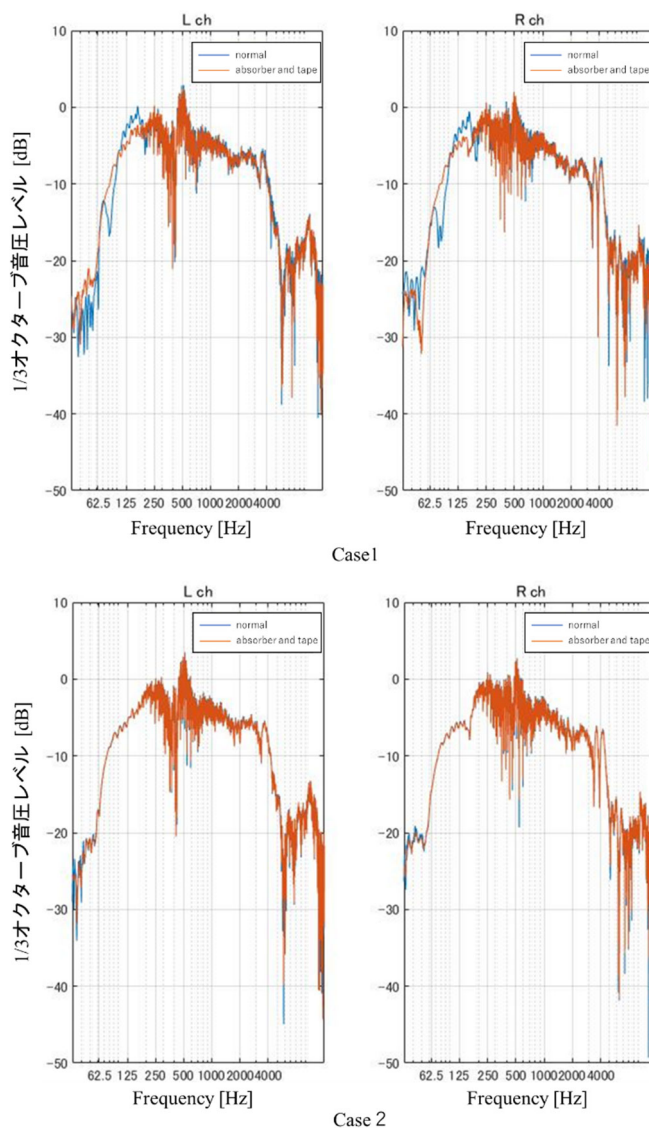


図 4-9 1/3 オクターブ音圧レベル

Case1 における 63Hz 域では、左耳と右耳で「normal」と「absorber and tape」が入れ替わっていることから何らかの原因が発生していると考えられる。しかし、63Hz 帯域は CDS を利用する利用者は子供であり、子供の声は 63Hz 帯域成分が少ないため無視できると考えられる。

4.2.4 まとめ

ダミーヘッドを使用する測定を行うために、ダミーヘッドの自己残響時間を把握した。その結果、にしても測定結果への影響は少ないことが分かった。また、必要があることが分かった。

以上より、ダミーヘッドを用いた CDS の吸音性能を把握するための実験において以下のことを機器設定として採用する。

- ・ダミーヘッド内部にはスポンジ材を入れフックと背面扉を養生テープで固定補強する
- ・ダミーヘッドの耳マイクロフォンを受音点、ロスピーカを音源点

4.3 室内音響測定

CDS内の音響性能を把握する上で室内音響測定について把握しておく必要がある。以下に室内音響測定についてまとめる。

一般に、室内音響特性を把握するために使われる測定法として以下2つが挙げられる。

■ ノイズ断続法

1990年ごろまで使用されていた室内音響測定法である。ノイズ断続法の測定概要図を図4-10に示す。測定方法は、スピーカから定常ノイズ（ピンクノイズやバンドノイズと言った断続音）を流し数秒後に音源を停止し、停止後の音圧減衰を測定し、残響時間を求める方法である。複数測定点で周波数帯域ごとに複数回（3回以上）測定する必要がある。求める残響時間はその複数回測定した平均を取ったものである。

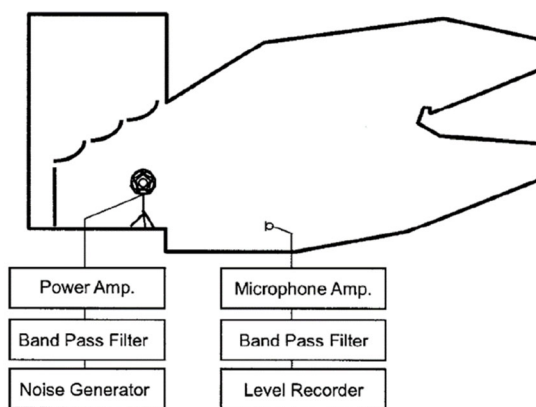


図 4-10 ノイズ断続法の測定概要図

この手法は測定システムが単純であるため測定しやすいというメリットがある。一方、複数回測定する必要がある、測定結果からわかる指標は残響時間のみとなる。更に、減衰波形にもばらつきが生じてしまうというデメリットがある（図4-11）。そのため、現在は後述する残響時間以外の評価指標を算出することができるインパルス応答測定が主流となっている。^[17]

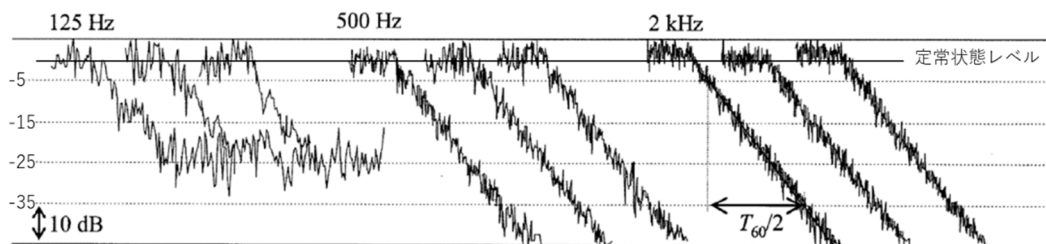
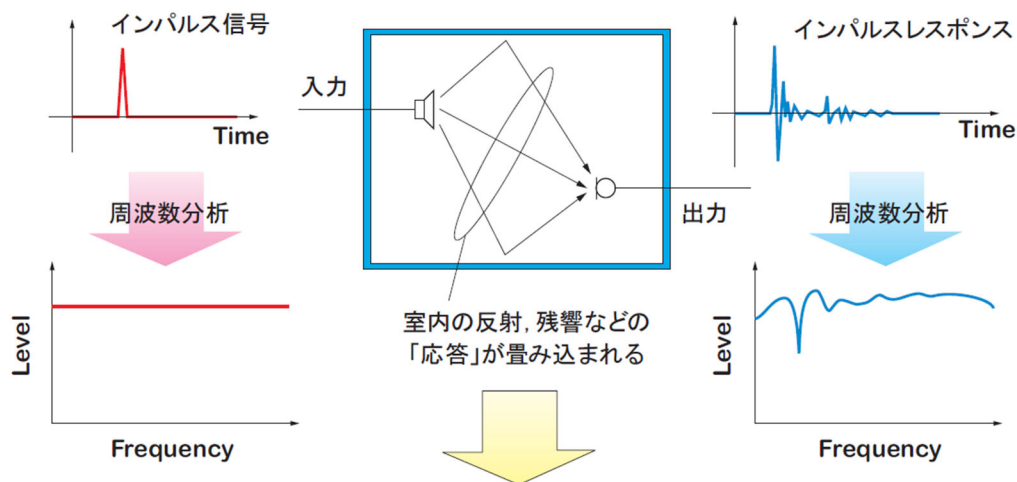


図 4-11 3回測定した減衰曲線の例

■ インパルス応答積分法

1965年にM.R.Schroederによって示された方法である。インパルス応答とは、室内において音源から全ての周波数範囲において均等なエネルギーを持つインパルス信号（M系列信号又はTSP信号）を放射し、ある受音点で得られる応答の事を指し、音源から放射された音が室内でどのように伝播しているかを時系列信号として表したものである(図4-12)^[18]



音源から受音点までの、すべての音響的情報を含みうるもの

図 4-12 インパルス応答の概念

得られたインパルス応答は、原理的には音源と受音点の間の音響的情報のすべてを含み、インパルス応答測定システムによってこれをフーリエ変換するとその室の周波数特性が分かり、逆二乗積分をするとエネルギー減衰曲線が算出され、原理的にノイズ断続法と同じ結果が得られる。

この手法では残響時間(T_{20} 、 T_{30})の他に、初期減衰時間(EDT)、音の明瞭度(D_{50} 、 C_{80})、和製伝達指数(STI)もインパルス応答から算出することができる。一度の測定で複数の評価指標を算出することができるため、現在では、この方法が多く用いられている。

4.4 測定方法の検討

前項で述べたように、室内音響特性として残響時間を求める測定手法として「ノイズ断続法」と「インパルス応答測定」があり、現在はより簡素で多くの評価指標が算出できるインパルス応答測定が用いられていると述べた。しかし、本実験で扱うダミーヘッドに内蔵されているマウスシミュレータの周波数特性が不明なため、音源特性の異なる「ノイズ断続法」と「インパルス応答測定」では測定結果に差が生じる可能性がある。

そこで、吸音性能を把握する前に、ダミーヘッドに内蔵されているマウスシミュレータの周波数特性を把握し、測定法の検討を行う。

4.4.1 実験概要

無響室と縮尺模型残響室にてダミーヘッドを用いたインパルス応答測定とピンクノイズを使用したオクターブバンド分析を行う。その後、各測定における縮尺模型残響室から無響室の結果の差（相対オクターブバンド音圧レベル）を見ることで、ダミーヘッドに内蔵されているマウスシミュレータの周波数特性の把握をする。各実験室概要図を図 4-13 および図 4-14 に示す。音源点はマウスシミュレータ、受音点は耳マイクロフォンとした。

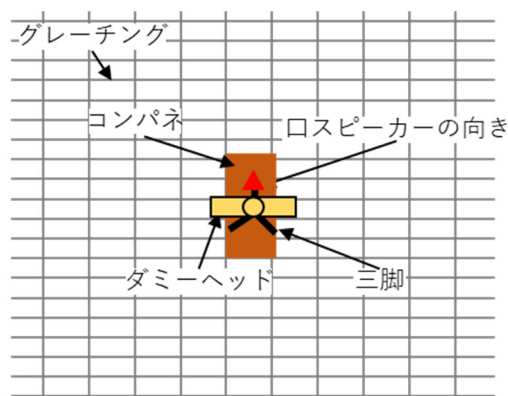


図 4-13 無響室実験概要

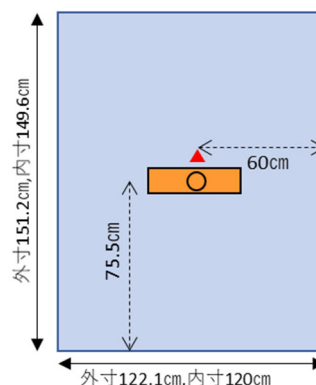


図 4-14 縮尺模型残響室実験概要

縮尺模型残響室は 10mm 厚の亚克力板からなる直方体室である。実験風景を図 4-15 に示す。無響室ではグレーチング上に板材を置き、その上にカメラスタンドに固定したダミーヘッドを配置した。縮尺模型残響室では短辺側を向いた室中央に直置きした。

ダミーヘッドの底面にはゴムがあり（図 4-16）、ダミーヘッドからの振動が直接亚克力板に伝わらない仕様となっている。

また、測定システムの概要を表 4-2 に示す。相対オクターブバンド音圧レベルを算出する際は測定し開始 5～15 秒の 10 秒間を抽出し分析した。両実験室において音源の種類に関わらず音量は全て同じ設定とした。

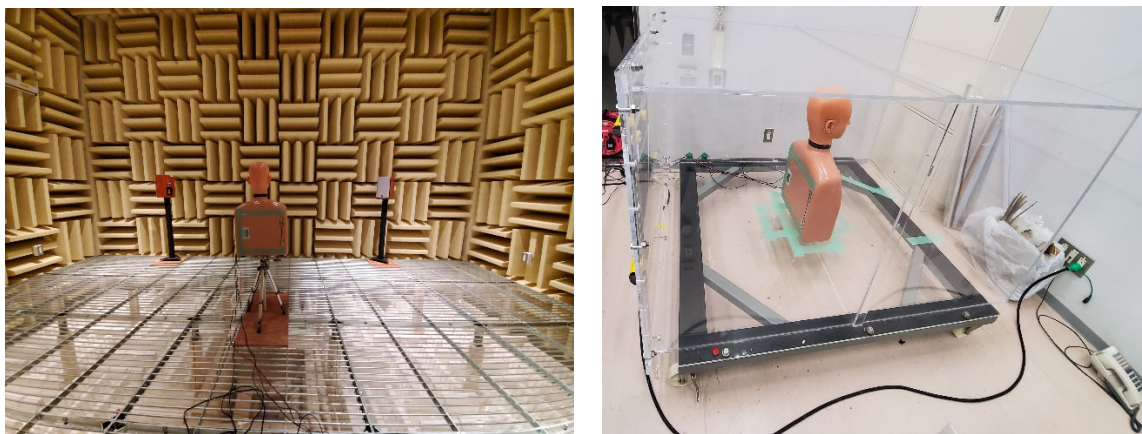


図 4-15 実験風景（左：無響室、右：縮尺模型残響室）

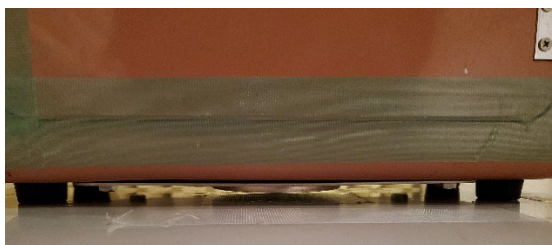


図 4-16 ダミーヘッドの底面部のゴム

表 4-2 測定システムの概要

音源			
	ピンクTSP信号	信号種類	ピンクTSP信号
		サンプリング周波数	48000 Hz
		同期加算回数	10回
	出力信号次数	17次	
	ピンクノイズ	Adobe Audition搭載のピンクノイズを使用、20秒	
使用機器			
	パソコン	MacBook	
	インターフェース	Fireface UCX	
	パワーアンプ	BOSE 2705MX	
音源点	ダミーヘッド (ACO Type 8328C) のマウスシミュレータ		
受信点	ダミーヘッドの耳マイクロフォン		
ソフトウェア	インパルス応答測定システム AEIRM		

4.4.2 実験結果

各測定における無響室と縮尺模型残響室との差と各実験室における伝達特性の観点からダミーヘッドのロスピーカについて考察を以下にまとめる。

■ 各測定における無響室と縮尺模型残響室との差

各測定における無響室と縮尺模型残響室の相対オクターブバンド音圧レベルを図 4-17 に示す。

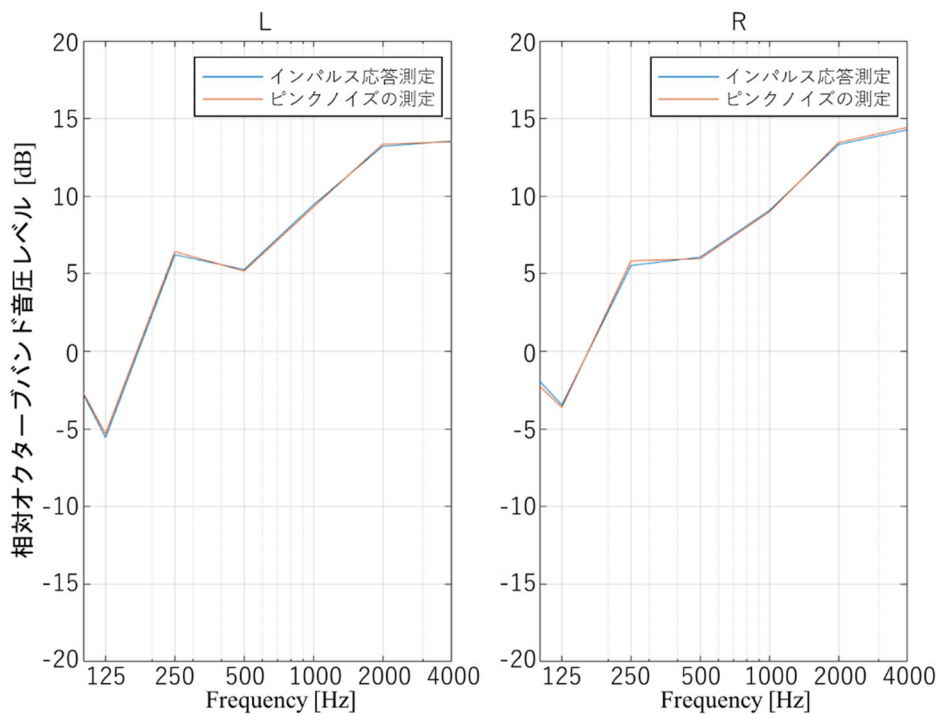


図 4-17 各測定における相対オクターブバンド

インパルス応答とピンクノイズの測定ではほぼ一致することが分かった。つまり、ダミーヘッドのスピーカはインパルス応答でもピンクノイズ測定でも問題ないことが分かった。

■ 各実験室における伝達特性

各実験室の伝達特性を図 4-18 に示す。比較しやすいよう無響室におけるインパルス応答とピンクノイズ測定それぞれオクターブバンド音圧レベルの 500Hz を基準に、つまり、500Hz のオクターブバンド音圧レベルを 0dB に補正した。また、ピンクノイズはログスイープと絶対値が異なり、1 オクターブごとに 3 dB 減少するので、ログスイープのように単一周波数ごとのエネルギーを等しくするため、ピンクノイズをインパルスと比較できるようにピンクノイズに 3dB 補正をした。

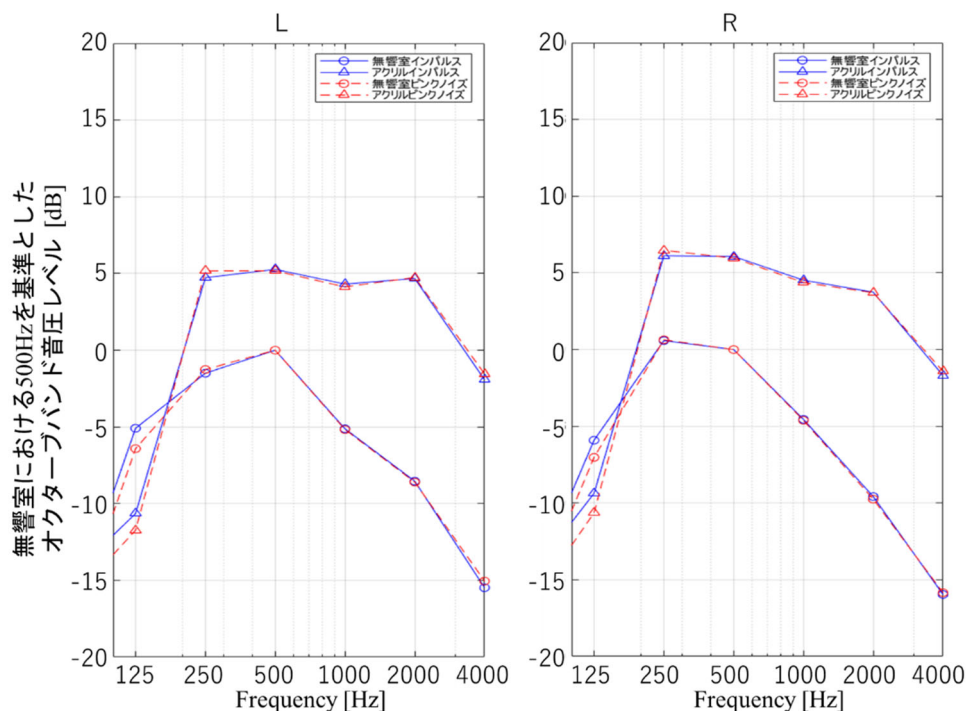


図 4-18 無響室における 500Hz を基準としたオクターブバンド音圧レベル

インパルス応答測定結果とピンクノイズ測定結果がそれぞれの室ではほぼ一致しており、図 4-17 と同様の結果が得られたことから、ログスイープを使用することとピンクノイズを使用することは差がないことがわかり、スピーカに関する性能の問題はないと決定される。

また、無響室と縮尺模型残響室の差は 500Hz で 5dB、1000Hz で 9dB の差があり図 4-17 と同じ結果を出しているなのでこの結果は正しいと言え、アクリルの伝達特性が把握できた。

4.4.3 まとめ

以上より、インパルス応答測定とピンクノイズの測定は同様の結果が得られることがわかり、測定ではどちらの手法を使用しても問題ないことが分かった。これを踏まえ、一度の測定で複数の評価指標を把握することができるインパルス応答測定によって素材ごとのカムダウンスペースの室内音響を比較していく。

4.5 実験方法

東大柏キャンパスの半無響室および教室（約 5 m×7 m×2.5 m(H)）の剛床上に CDS を組み立て、内部にマウスシミュレータ内蔵のダミーヘッド(ACO Type 8328C)を設置し、ピンク TSP 信号を用いて口から右耳のインパルス応答測定を行った。測定システム概要を表 4-3 に示す。なお、教室では室の中央に CDS を設置した(図 4-19)。実験風景を図 4-20 に示す。

表 4-3 測定システム概要

音源			
	ピンクTSP信号	信号種類	ピンクTSP信号
		サンプリング周波数	48000 Hz
		同期加算回数	10回
		出力信号次数	17次
使用機器			
	パソコン	MacBook	
	インターフェース	Fireface UCX	
	パワーアンプ	BOSE 2705MX	
音源点	ダミーヘッド (ACO Type 8328C) のマウスシミュレータ		
受音点	ダミーヘッドの耳マイクロフォン		
ソフトウェア	インパルス応答測定システム AEIRM		

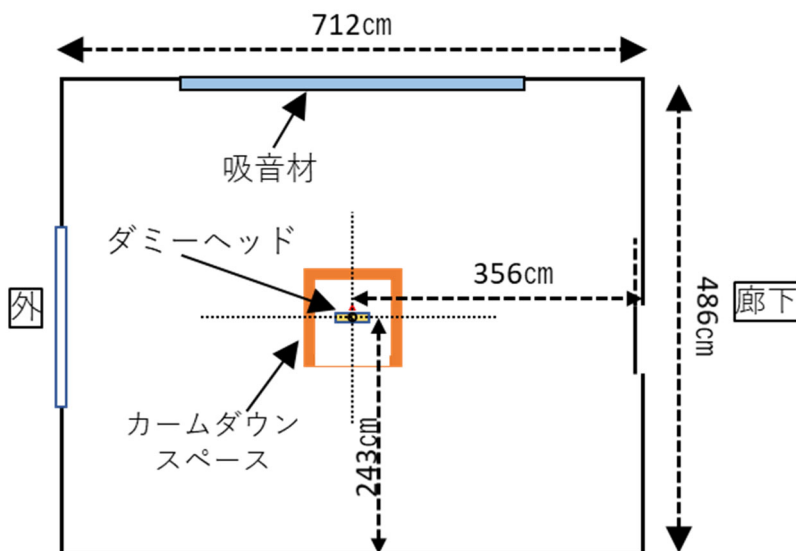


図 4-19 教室における音源と CDS の位置



图 4-20 实验风景（左：半无响室、右：教室）

4.6 測定項目

測定項目を以下にまとめる。

a) 残響時間 (T30)

定常状態から 60dB 減衰するまでの時間を指し、T20 は減衰波形の -5dB ~ -25dB の範囲から読み取った残響時間。

b) 初期減衰時間 (EDT)

直接到来後、初期の 10dB 減衰から読み取った残響時間。EDT は残響感を評価するのに有効な指標値とされている^[19]

c) ディフィニション (D50)

スピーチ明瞭度に関するパラメータ。直接到来後 50msec までのエネルギーと、直接音を含む全エネルギーの比で定義される。ここでの時刻 0 は、最初の音波到来時刻を指す^{[19][20]}

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50\text{msec}} h^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h^2(t) dt} \quad (1.4)$$

d) 相対音圧レベル

音の大きさを把握するための指標。半無響室における CDS 非設置時を基準とした。

残響時間、初期減衰時間、ディフィニションについては室内音響測定で一般的に用いられる指標であるため測定項目として採用した。相対音圧レベルについて、CDS 内での音の大きさは居心地に関わってくるため測定項目として採用した。

4.7 実験結果

半無響室および教室設置時における CDS 内の 4 つの音響指標の測定結果を図 4-21 および図 4-22 に示す。以下に各指標における構成部材の影響について述べる。凡例について、A：段ボール、B：コンパネ、C：NPHP、D：PHP+SAM を示す。

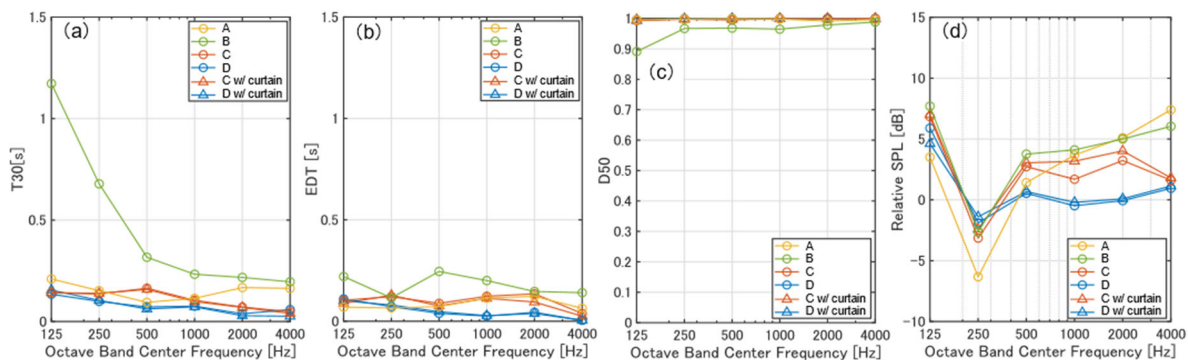


図 4-21 半無響室の測定結果：(a) T30、(b) EDT、(c) D50、(d) 相対音圧レベル

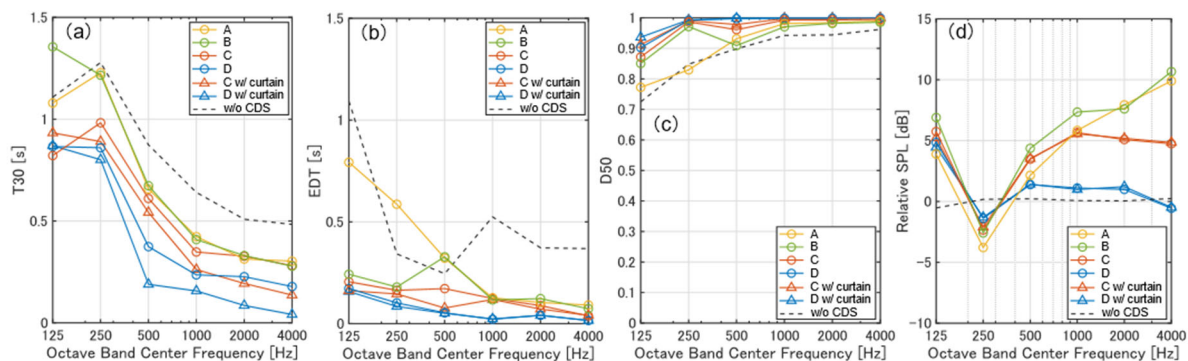


図 4-22 教室の測定結果：(a) T30、(b) EDT、(c) D50、(d) 相対音圧レベル

a) 残響時間

半無響室ではコンパネを除く全ての部材で T30 は周波数によらず 0.2 秒以下となり、コンパネの場合のみ低音域で長い値となっている。一方、教室では室内残響の影響を受け、全ての場合で半無響室より T30 が長くなるとともに、部材による違いが生じている。段ボールとコンパネの場合が同程度で最も長く、ハニカム板の NPHP、PHP+SAM の順で短くなっている。また、カーテン設置により若干の低下も見られる。

b) 初期減衰時間

半無響室ではコンパネの場合でも EDT は 0.2 秒程度となり、教室では全ての部材で EDT は T30 より大幅に低下している。音源と受音点が近接しているため、CDS 無しの場合に EDT が短くなったことに起因するものと考えられる。なお、段ボールの場合、低音域で遮音性が非常に低いため、CDS 無しの EDT に近い値になったものと推察される。

c) ディフィニション

半無響室ではコンパネの場合を除き D50 はほぼ 1 となり、コンパネの場合でも 0.9 以上となっている。一方、教室では全ての部材で低音域側では若干の低下が見られ、段ボールの場合では CDS 無しの値とほぼ一致しており、EDT と同様の原因が考えられる。ただし、いずれの場合も音声の明瞭性は非常に高い。

d) 相対音圧レベル

半無響室および教室における共通の傾向として、125Hz 帯域では正、250Hz 帯域では負、また、500Hz 以上の帯域では正となるものの、部材の影響が大きいことがわかる。CDS の寸法と波長の関係から、125Hz 帯域では CDS 内の音圧は一様に上昇し、250Hz 帯域ではモードによる干渉により右耳位置で音圧の低下が生じたものと推察される。なお、半無響室では段ボールのみ低音域でレベルが低いが、遮音性が低いためと考えられる。

中高音域における部材の影響に関しては、半無響室ではコンパネで上昇量が最も大きく 5dB 程度となり、1000Hz 以上では段ボールも同程度となっている。NPHP では 2~3dB となり、カーテン有りでは若干の増加が見られる。一方、PHP+SAM ではほぼ 0dB となり、CDS 内の音圧増大がかなり抑制されている。教室でも概ね同様の傾向であるが、PHP+SAM を除くと半無響室に比べて 2~4dB 上昇している。室内残響が CDS 内で増幅された可能性が考えられるが、PHP+SAM の場合は 1dB 程度の上昇に留まっている。

4.8 まとめ

CDS 内での自身の声の響きに関して、内部の残響時間は極めて短いが、反射性部材（コンパネ・段ボール）の場合は室内の残響時間に近づく傾向が確認された。また、CDS 設置により 250Hz 帯域を除いて音圧レベルは顕著に増大したが、PHP+SAM では中高音域の増大がほぼ抑制された。従って、CDS 内の吸音仕上げは声の響きの抑制に効果的と考えられる。なお、軽量の段ボールでも音圧上昇は生じること、開口部のカーテンの影響は極めて小さいことが確認された。

第5章

カームダウンスペースの心理印象

5.1 はじめに

第3章、第4章より CDS の音響性能を物理実験によって検証し、CDS 内の吸音仕上げは遮音・吸音性を高める効果があることを把握した。しかし、物理指標のみでは遮音・吸音性が高いことにより CDS が居心地のいい環境であるとは言い難い。一般居室とは室規模が異なるため、実際に CDS 内に入り音を聞くと物理指標とは異なる印象である可能性がある。また、第1章でも述べた通り、CDS は落ち着くスペースであるため、CDS 内での居心地の良さは非常に重要となってくる。

よって、物理指標のみならず、実空間における CDS の設置状況を想定し、CDS 内部でのうるささの緩和や外部空間からの隔離感などの心理的効果を聴感実験により検証する必要がある。

第2節では、カームダウンスペースの心理印象を把握するための被験者実験概要を述べる。第3節では、被験者実験を行うまでの流れについての概要を述べ、第4節～7節では、実験室の室内音響測定、被験者実験で使用する音源の周波数特性の把握、基準点と CDS 設置位置における A 特性音圧レベルの把握、CDS を壁際に寄せた時の内部音環境の把握について述べる。第8節では、被験者実験で実際に使用する設問内容と評価方法の検討を行う。第9節では、被験者実験について実験方法と実際に使用した評価項目について述べ、その後実験結果を述べる。第10節では、カームダウンスペースの心理印象についてのまとめを述べる。

5.2 実験概要

音響性能を把握したとき同様、CDS の心理印象においても「外部環境からの遮断のための内外の遮音性能」と「CDS 内での自身の泣き声や叫び声を抑制する効果」について被験者実験によって検証する。前者では CDS 外部から環境音を出し、後者では被験者自身の声について評価を行う。

評価基準は、「CDS に入る前」と比べ「CDS に入った後」では外からの音や声はどのように聞こえたかについて評価を行う。実験場所は物理実験でも使用した東大柏キャンパス内教室（約 5m×7m×2.5(H)、剛床）で行う。使用する機器の配置図を図 5-1 に示す。「CDS に入る前」を室中央の基準点とし、有孔ボードの向きに椅子を設置した。実験を効率よく行うため、4つのカームダウンスペースを 1 室に開口部が向き合わないよう設置した。被験者は CDS の開口部を背に奥向きに床座位となるようにした。また、スピーカ（YAMAHA MSP3）は高音域が強くないよう出力を壁に向けて設置した。

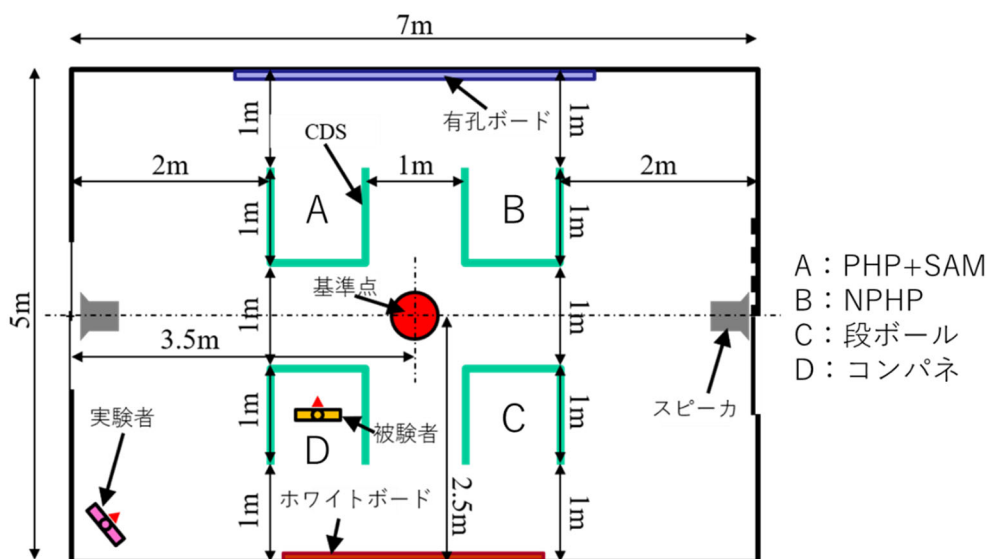


図 5-1 機器配置図

5.3 被験者実験までの流れ

被験者実験を行うまでの流れを以下に示す。

- 1) CDS 設置・非設置時の室内音響測定
- 2) 環境音の周波数特性の把握
- 3) 基準点と CDS 設置位置における A 特性音圧レベルの把握
- 4) CDS を壁際に寄せた時の内部音環境の把握
- 5) 設問内容と評価方法の検討
- 6) 被験者実験

5.4 CDS 設置・非設置時の室内音響測定

5.4.1 実験目的

印象評価実験時は実験の効率化と評価の正確さのために比較する4つのCDS全てを図5-2の様に設置する。これによって、室内音響特性が変化する可能性が考えられる。そこで、被験者実験を行う上での基本情報として、CDS非設置・設置時を比較し各CDSにおける残響時間を把握する。

5.4.2 実験方法

ピンクノイズを用いたノイズ断続法により残響時間を測定する。CDS非設置時とCDS設置時の測定時の音源・受音点の配置図を図5-2に示す。音源は教室隅2か所の対角線上に床置きに設置する。受音点は教室中央と音源を設置していない教室隅2か所の対角線上に壁から1mと1.4m離れた位置に設置する。受音点には精密騒音計(NA-28)を床から120cmの高さに設置する。測定は各測定点5回行い、それぞれ平均する。更に各測定点の平均残響時間を平均したものを教室内の残響時間とする。CDS非設置時の実験風景を図5-3に示す。

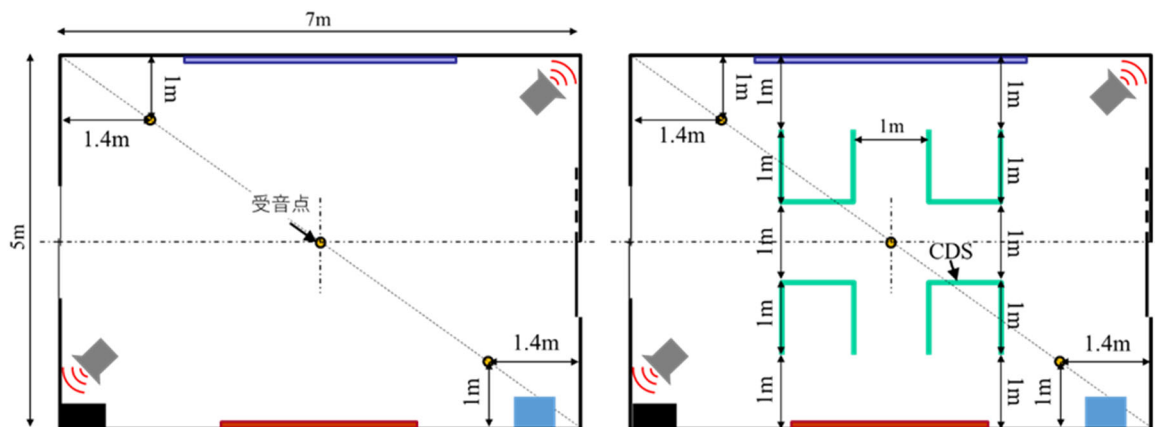


図 5-2 音源・受音点の配置図 (左：CDS 非設置時、右：CDS 設置時)



図 5-3 CDS 非設置時の実験風景

5.4.3 実験結果

CDS 非設置・設置時における教室の残響時間を図 5-4 に示す。CDS を設置したことで 250Hz 帯域では 0.2s、中高音域では 0.1s の低下が見られた。

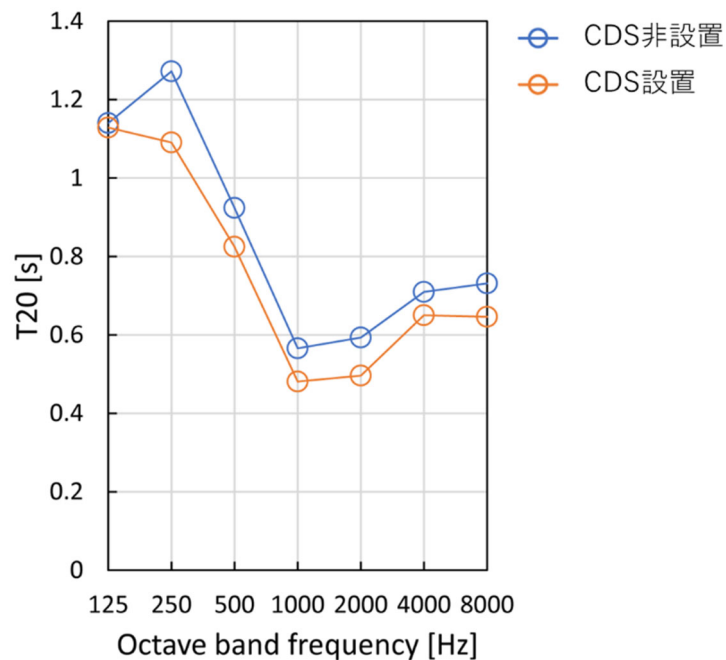


図 5-4 CDS 非設置・設置時における教室の残響時間

5.4.4 まとめ

CDS を置くことで室の残響時間を低減させる効果があることが分かった。また、これは室の A 特性音圧レベルが CDS 非設置と設置時で変化すると考えられる。このことについて、1.6 に述べる。

5.5 環境音の周波数特性の把握

5.5.1 実験目的

被験者実験の外部からの音として「学校の廊下」と公共空間へ CDS を導入した時を想定し「駅のコンコース」を使用する。ここでは、使用する環境音の周波数特性を測定し、被験者実験において留意すべき点を把握する。

5.5.2 音源入手・加工

音源は、NASH music Library^[21]より、「MN-S061-2002 学校廊下」、「NSE-665-072 雑踏 (2) 駅」を入手した。現場収録 (ステレオ) した後に、MIX 作業として「プライバシーに係わるもの、雑音」など除去して調整している。本研究では、「MN-S061-2002 学校廊下」を「学校の廊下」、「NSE-665-072 雑踏 (2) 駅」を「駅のコンコース」と名称設定する。

Adobe Audition により、各環境音でめぼしい音の要素が入っている 20 秒間の部分を選定した。各環境音のめぼしい音の要素を以下にまとめる。

- 「学校の廊下」
子供の叫び声、子供のキャーと言う奇声、子供の足音 (歩く音、走る音)、物の落ちる音、特定の単語を子供が発する声
- 「駅のコンコース」
電車の走行音、電車のブレーキ音、人の歩く音、ヒールのコツコツ音、子供の声、大人の声、救急車のサイレン

測定用の音源として、測定時は音源出力後定常状態のことを考慮し測定前に数秒余分に流すことと、機器の測定開始ボタンを押すタイムラグを考慮し、選定した 20 秒間前後に 5 秒追加し計 30 秒の音源を作成した。

また、被験者実験用の音源として、選定した 20 秒間の前後に 1 秒のフェードイン・フェードアウト効果を付加し計 22 秒の音源を作成した。

5.5.3 実験方法

被験者実験機器配置条件下のもと、基準点を受音点とし精密騒音計 (NA-28) を用いて各環境音についての A 特性音圧レベルの測定を行った。両環境音とも基準点で 65dB となるように設定した。

5.5.4 実験結果

各環境音の周波数特性を図 5-5 に示す。学校の廊下は子供の声が多いため高音域成分が高くなっている。一方、駅のコンコースでは電車の走行音や大人の声が多いため低音域成分が高くなっていることが分かる。

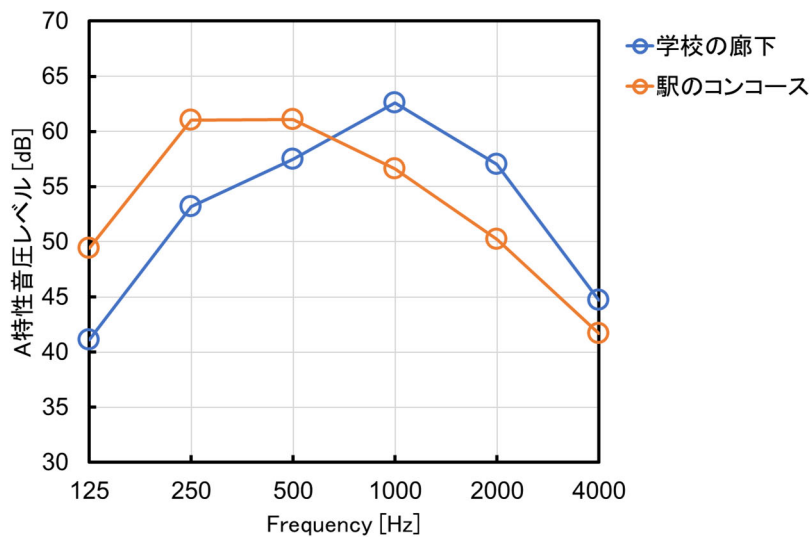


図 5-5 各環境音の周波数特性

5.5.5 まとめ

各環境音で高音域成分と低音域成分の量が異なることが分かった。被験者実験において面材による聞こえ方に違いが出ると考えられる。

5.6 基準点と CDS 設置位置における A 特性音圧レベル

5.6.1 実験目的

室中央の基準点と各 CDS 内中央の 5 点における音圧レベルに差がないかを把握するため、被験者実験の機器設置条件下における各点の A 特性音圧レベルを測定する。

5.6.2 実験方法

各環境音について CDS 非設置時・設置時における各点での A 特性音圧レベルを測定する。実験風景を図 5-6 に示す。

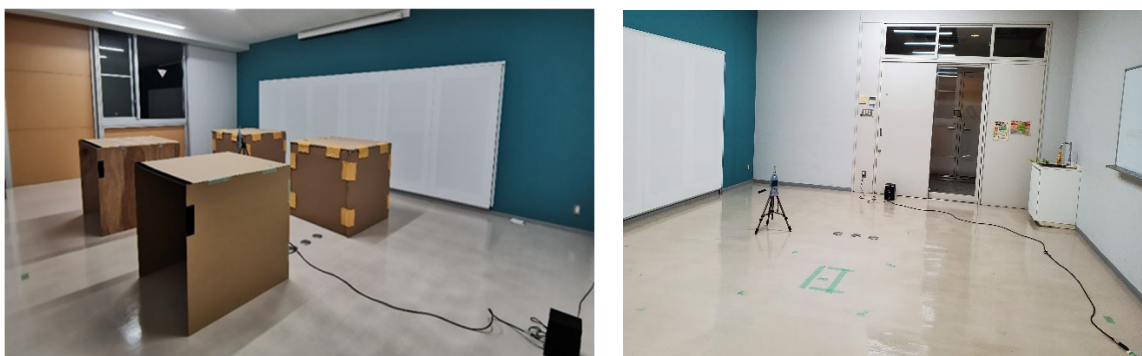


図 5-6 実験風景

(左：CDS 設置時の基準点における測定、右：CDS 非設置時の NPHP 点における測定)

5.6.3 実験結果

各点における A 特性音圧レベルの測定結果を図 5-7 に示す。学校の廊下は、CDS 非設置時における A 特性音圧レベルはどの点でもおおよそ 65dB となった。一方、駅のコンコースは CDS 非設置時において、基準点以外では 2dB 程落ちる傾向にあることが分かった。

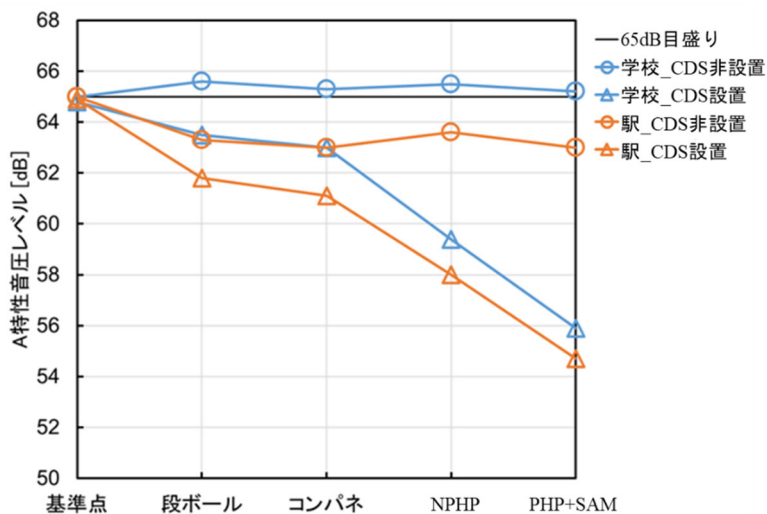


図 5-7 各点における A 特性音圧レベル

5.6.4 まとめ

各環境音について、被験者実験の際、被験者が音を聞く 5 点での A 特性音圧レベルを測定し、各点における差を把握した。その結果、駅のコンコースの場合、基準点以外の点では基準点と比べ約 2dB 落ちる傾向にあり、音源によって差が生じることが分かった。これは、干渉による低音域の減衰が原因であり、駅のコンコースは学校の廊下より高音域成分は少なく、低音域成分の多い特性を持っている。このことから、干渉による低音域の下水が起こると全体的に学校の廊下より A 特性音圧レベルが下がってしまったと考えられる。

環境音によって A 特性音圧レベルに差が生じることは被験者実験で考慮する必要がある。

5.7 CDS を壁際に寄せた時の内部音環境

5.7.1 実験目的

これまでの実験では CDS を室中央、或は壁から離して設置した。しかし、実際の利用では壁際に寄せての使用もある。本研究では、CDS の内部音環境について「外部環境からの遮断のための内外の遮音性能」と「CDS 内での自身の泣き声や叫び声を抑制する効果の把握」について着目している。しかし、CDS 内部では基本的に静かに過ごすことが多く声を発することは少ないので、本実験では「外部環境からの遮断のための内外の遮音性能」に限定して、CDS を壁際に寄せた時の CDS 内部の音環境を把握する。

5.7.2 実験方法

被験者実験の実験室として使用する教室にて、CDS 外部からピンクノイズを発生させ CDS 非設置・設置時における挿入損失を算出する。CDS は壁に密着している面が (a) 側面のみ、(b) 背面のみ、(c) 側面と背面の 3 パターンで設置する。機器配置を図 5-8 に示す。音源は 4 隅の片側 2 か所に床置き、受音点は CDS 内中央 (床上 72 cm の高さ) に精密騒音計 (NA-28) を設置した。比較する面材、スピーカーは被験者実験と同様のものを使用する。実験風景を図 5-9 に示す。

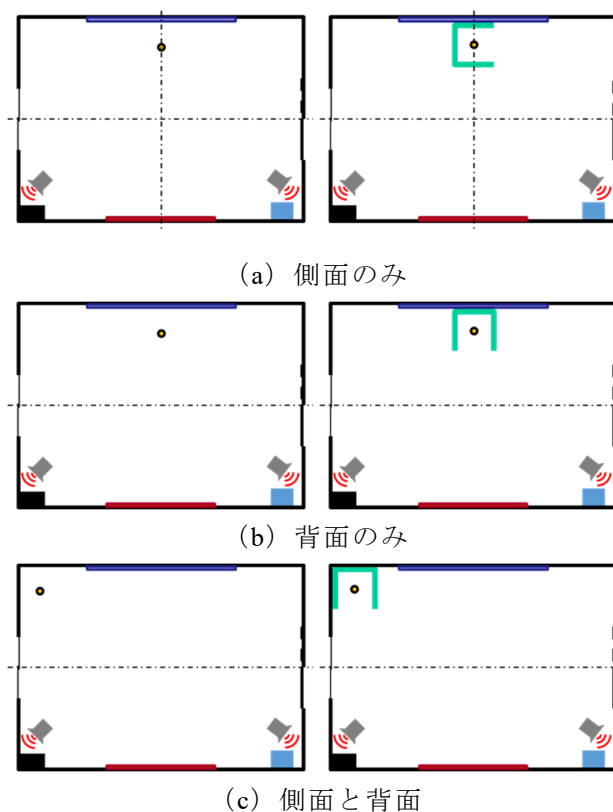


図 5-8 機器配置図



図 5-9 実験風景（左：(c) 側面と背面、右：(b) 背面のみ）

5.7.3 実験結果

CDS 非設置・設置時における挿入損失を図 5-10 に示す。いずれの設置パターンでも PHP+SAM が最も挿入損失が高く、中高音域で 5 dB 以上の遮音性能があることが分かった。また、125Hz 帯域において (c) の PHP+SAM のみ 2dB 程の遮音効果があるが、いずれの面材も設置方法に関わらず -3~1dB と遮音効果が低い。

壁の密着面が 1 面の (a) 側面のみと (b) 背面のみでは、全体的にいずれの面材もおおよそ同傾向であった。特に NPHP は (a)(b) どちらの設置方法でもほとんど変わらない結果となった。

2 面が壁に密着している (c) において、PHP+SAM は他 2 パターンと比べ中高音域で 1~2 dB 程の低下が見られた。また、(c) ではいずれの面材でも 250Hz 帯域で落ち込みが確認された。この原因として、(a)(b) の時の測定位置で CDS なしの状態での周波数特性を測定したところ (図 5-11) SP1 の方が SP2 より 250Hz 帯域で 3 dB 程高かった。このため SP1 に近く開口面を SP1 に向けている (c) の状態では SP1 の特性が SP2 より大きく影響してしまったと考えられる。

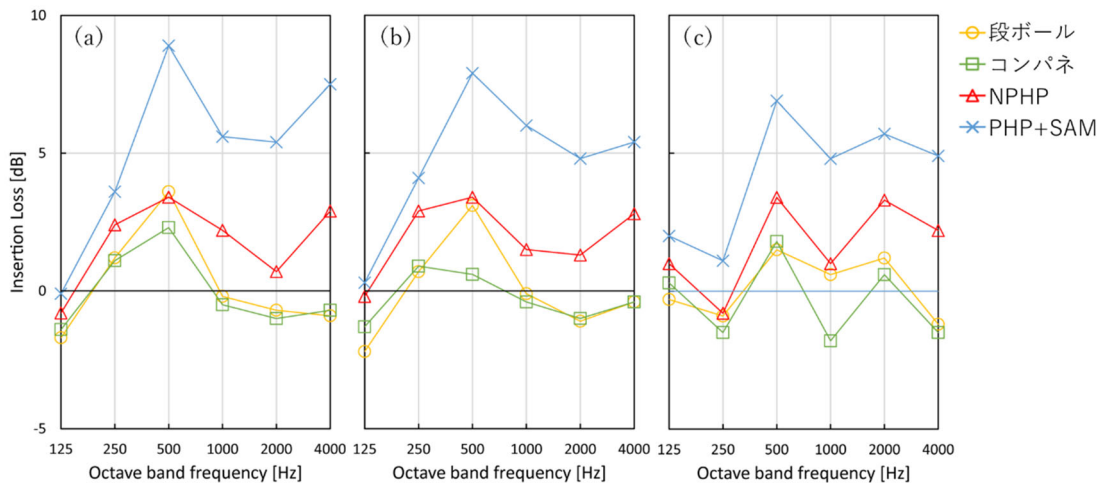


図 5-10 挿入損失：(a) 側面のみ、(b) 背面のみ、(c) 側面と背面

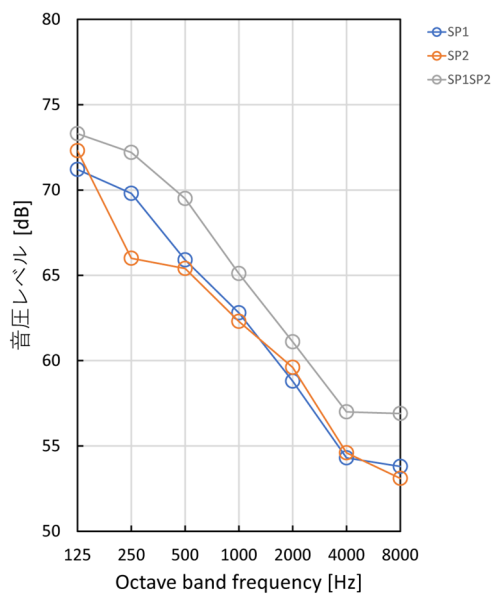


図 5-11 CDS 非設置時の(a)(b)の測定点における音源の周波数特性

5.7.4 まとめ

CDS を壁際に寄せた時の外部環境からの遮断のための内外の遮音性能について、教室にて、CDS 外部からピンクノイズを発生させ CDS 非設置・設置時における挿入損失を算出した。その結果、室中央に設置した時同様 PHP+SAM が最も挿入損失が高く、CDS 内の吸音仕上げは CDS の配置に関わらず遮音効果が見込まれることが分かった。

以上より、CDS を壁から離れた位置に配置した状態で被験者実験をしても、結果に影響が生じる可能性は少ないと考えられる。

5.8 設問内容と評価方法の検討

5.8.1 設問内容の検討

被験者実験で使用するアンケートの設問内容を以下にまとめる。

■ 音に関する設問と指標

音に関する設問については物理測定評価と対応させるため、以下の3つについて評価を行う。

- ・音の大きさ—「大きくなった-小さくなった」
- ・音色—「鋭くなった-鈍くなった」
- ・響き—「響かなくなった-響くようになった」

■ うるささに関する設問

騒音の評価法において、うるささは人間の心理反応との対応付けを大きな目的として提案されている^{[22][23]}。本研究においても、CDS内での外部からの騒音についての聞こえ方を検証をするので、うるささの評価量である喧噪感について「強まった-和らいだ」かの評価を行う。

■ 隔離感に関する設問

発達障害者たちは視線に対して苦手意識を持つ人が多い。このことから、音が近づいてくると感じると同時に視線に対しても意識すると考えられる。この設問では、外部環境に対して内部の隔離感を把握するため、音の距離感について「近づいた-遠くなった」かの評価を行う。

■ 居心地に関する設問

カームダウンスペースの性能として居心地の良さは重要事項となってくる。また、上記評価項目で音は小さくなったが響きがない、又は音色に関して音が鈍く聞こえるようになったため居心地が悪いなどと感じる可能性があるため、居心地について「悪くなった-よくなった」かの評価を行う。

5.8.2 評価方法

CDSへ入ることでCDS外部との音環境との差を把握する必要がある。そこで、被験者実験は、CDS外部の音環境として「CDSに入る前」、CDS内部の音環境として「CDSに入った後」と定義し、「CDSに入る前」と比べ「CDSに入った後」では音はどのように聞こえたかの一対比較を行う。

評価尺度は、「CDSに入る前」と「CDSに入った後」で変化がない場合も考慮して、ニューラル評価を加えた5段階評価とした。

5.9 被験者実験

5.9.1 実験方法

被験者実験は 20 代の大学生・院生 16 人を対象に行った。環境音は 2 種類とも CDS 非設置時の基準点で A 特性音圧レベルが 65dB となるよう設定した。CDS を回る順路を図 5-12 に示す。順路と被験者の配分は 1 順路につき 2 人とした。順路番号が書かれた札を CDS の上に配置し、被験者に番号順に回るように指示した。

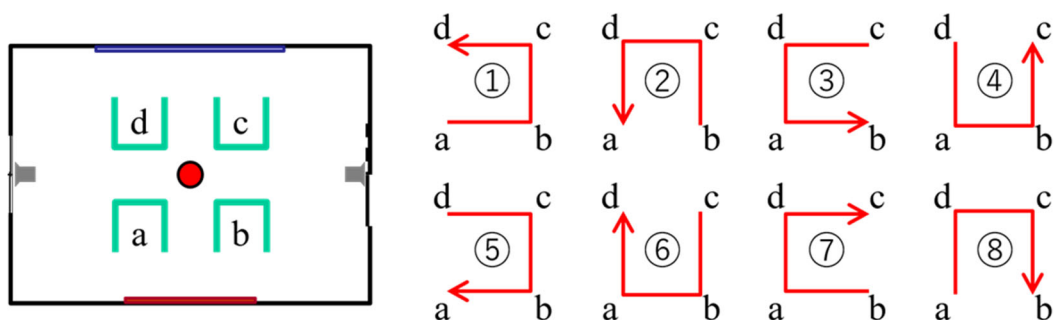


図 5-12 順路

また、該当順路で実験を行う前に練習としてダミー回を 1 回設ける。このとき、ダミー回は該当順路の最後の CDS で行う。例えば、順路①の被験者は最初に d でダミー回を行い、「d (ダミー回)→a→b→c→d」の順路で実験を行う。被験者にはダミー回であることは伝えない。実験結果は、ダミー回を除いて集計する。「外部からの環境音の聞こえ方」と「自身の声の聞こえ方」は同じ順路で回るよう指示した。

各被験者実験における実験手順を以下に示す。それぞれ各 CDS について繰り返し、環境音の聞こえ方についての実験では1つの環境音について一巡した後、2つ目の環境音について再度一巡する。被験者への実験説明は各実験開始前に行う。

■ 外部からの環境音の聞こえ方

手順①：基準点で音源を聞く（20秒）

手順②：CDS 内に移動（10秒）

手順③：CDS 内で音源を聞く（20秒）+評価（10秒）

手順④：基準点に移動（10秒）

■ 自身の声の聞こえ方

手順①：基準点で発声（約7秒）

発声する短文「私は〇〇（被験者の名前）です。只今実験中です。ボックスにいます。」

手順②：CDS 内に移動（10秒）

手順③：CDS 内で発声（約7秒）+評価（10秒）

手順④：基準点に移動（10秒）

5.9.2 評価項目

外部からの環境音の聞こえ方については音に関する設問3問、うるささ、距離感、居心地の計6問について評価する。自身の声の聞こえ方については音に関する設問3問と居心地の計4問について評価する。全項目5段階評価である。表5-1に評価項目の概要を示す。実際に使用したアンケート用紙は付録A、Bを参照。

表 5-1 評価項目概要

設問	評価（5段階）				
	かなり大きくなった	やや大きくなった	変わらない	やや小さくなった	かなり小さくなった
大きさ	かなり大きくなった	やや大きくなった	変わらない	やや小さくなった	かなり小さくなった
音色	かなり鋭くなった	やや鋭くなった	変わらない	やや鈍くなった	かなり鈍くなった
響き	かなり響くようになった	やや響くようになった	変わらない	やや響かなくなった	かなり響かなくなった
うるささ	かなり強まった	やや強まった	変わらない	やや和らいだ	かなり和らいだ
距離感	かなり近くなった	やや近くなった	変わらない	やや遠くなった	かなり遠くなった
居心地	かなり悪くなった	やや悪くなった	変わらない	やや良くなった	かなり良くなった

5.9.3 実験結果

得られたデータから、各設問の全体指摘率に対する「変わらない」評価を省いた各評価指摘率について図 5-13 に示す。全体的に PHP+SAM は全設問最も青い指摘率が多い結果となった。段ボールとコンパネは音色と居心地以外は同程度の指摘率となった。音の大きさは「駅のコンコース」の方が大きくなった指摘率が多いことが分かる。これは、低音域成分が多いためであると考えられる。以下に各面材における考察をまとめる。

■ 段ボール

外部からの音も自分の声に対しても、自分の声の〈響き〉を除く全ての項目において、青と赤の割合が少ない。つまり「変わらない」指摘率が大半を占めていることが分かる。よって、段ボールは聴感的に外と変わらない内部音環境であることが分かる。

しかし、自分の声の〈響き〉は響くようになったという赤い指摘が 80% を占めている。内部の響きは音の明瞭性に関わるので、段ボール製の CDS は声の響きの影響を考慮する必要がある。

■ コンパネ

外部からの音について、基本的に全ての項目で青と赤の指摘率が少ないことが分かる。つまり、「変わらない」指摘率が多く、コンパネは段ボール同様、外部とあまり変わらないことが分かった。

■ NPHP

PHP+SAM ほどではないが、全ての項目で赤の指摘率が少なく青の指摘率が 70~100% を占めている。また、自分の声を聞いた時の居心地は、悪くなった指摘率が PHP+SAM より低い結果となった。これについて、被験者のコメントでは吸音度合いがちょうどよいとの回答が得られた。

■ PHP+SAM

外部からの音に対しては、どの項目においても最も青い指摘率が多く約 90% を占めていた。一方、自分の声を聞いた時の居心地は、NPHP の 2 倍の 30% が悪くなったと指摘している。これは吸音性が非常に高いため、例えばちょっとした無響室の中にいるような聞こえ方の不快感を覚えたためであると考えられる。実際に、コメントでも吸音過多で聞こえ方に不快感や、響きがないため圧迫感を感じたとの指摘が得られた。

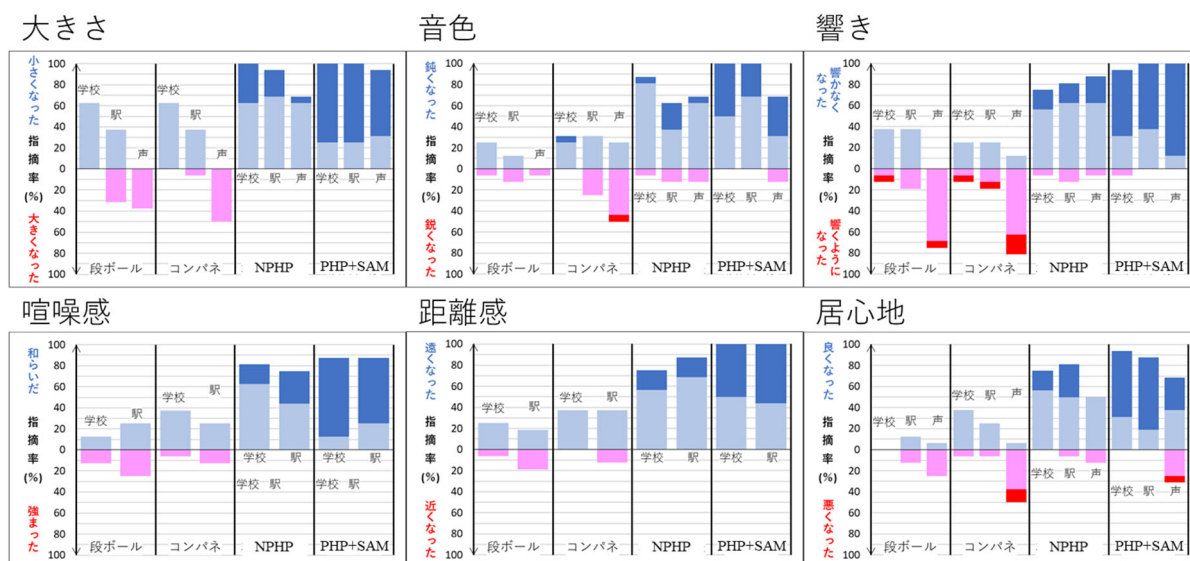


図 5-13 全体指摘率に対する「変わらない」を除く各評価指摘率

5.10 まとめ

被験者実験により、CDS 内の吸音仕上げは外部からの音を聞いた時の居心地は悪くなった指摘率は 0%、約 90% の人は居心地が良くなったと感ずることが分かった。一方、自身が CDS 内で声を発する場合は居心地が悪くなったと答えた指摘率が 30% に増え、吸音性が高いことで不快に感じる人が多少いるということが分かった。

第6章

総括

6.1 研究の成果

第1章では、研究背景として CDS についての特徴と課題、また既往研究について述べた。CDS の音響性能と心理印象に関する実験的検討として、「外部からの遮断のための内外の遮断性能」と「CDS 内での自身の根期越えや叫び声を抑制する効果」について、物理実験と心理実験の側面から検討を行うことを目的と設定した。

第2章では、CDS の評価基準として、CDS を構成する面材の面密度と質量に着目し、比較する面材の概要と、物理実験と心理実験それぞれにおける比較する面材について述べた。

第3章では、CDS の音響性能のうち遮音性能について述べた。外部環境からの遮断のための内外の遮音性能を把握するため、周囲からの音に関する CDS の挿入損失を測定し、遮音性能の基本特性および構成部材の影響について検討を行った。第2節では、遮音性能を把握するための指標と遮音性能の実験方法について述べ、第3節では、実験結果について述べた。その結果、CDS 内の吸音仕上げは遮音性を高めることが分かり、開口部にカーテンを設けることで若干の遮音効果が見込まれることが分かった。

第4章では、CDS の音響性能のうち吸音性能について述べた。CDS 内での自身の泣き声や叫び声の響きを抑制するため、構成部材の異なる CDS 内においてダミーヘッドを用いた音響測定を行い、自身の声の響きに及ぼす構成部材の影響について実験的検討を行った。第2節では、実験機器として使用するダミーヘッドの自己残響時間を把握した。その後、室内音響測定についてまとめ、第3節で吸音性能実験を行うための測定方法について検討をした。これらのことを踏まえ、第4節では、半無響室と学内教室においてダミーヘッドを用いたインパルス応答測定を行い、CDS の吸音性能の把握を行った。その結果、CDS 内の吸音仕上げは吸音性も高めることが分かった。しかし、開口部にカーテンを設けることによる吸音性能向上は見込まれなかった。

第5章では、CDS の心理印象について述べた。実空間における CDS の設置状況を想定し、CDS 内部でのうるささの緩和や外部空間からの隔離感などの心理的効果を聴感実験により検証をした。第2節では、CDS の心理印象を把握するための被験者実験概要を述べた。第3節では、被験者実験を行うまでの流れについての概要を述べ、第4節～7節では、実験室の室内音

響測定、被験者実験で使用する音源の周波数特性の把握、基準点と CDS 設置位置における A 特性音圧レベルの把握、CDS を壁際に寄せた時の内部音環境の把握について述べた。第 8 節では、被験者実験で実際に使用する設問内容と評価方法の検討について述べた。第 9 節では、被験者実験について実験方法、実際に使用した評価項目、実験結果を述べる。その結果、CDS 内の吸音仕上げは外部からの音を聞いた時の居心地において約 90% の人は居心地が良いという回答が得られた。一方、自分の声を聞いた時の居心地は 30% の人が悪いと感じ、吸音性が高いと声の響きに影響し、居心地が悪くなってしまうということが分かった。

本研究を通したまとめとしては、外部騒音がある場合、CDS 内の吸音性を高めることは効果的であると考えられる。一方、中で声を発する場合がある場合、3 割の人が居心地に不快感を覚え、CDS 内の吸音性が高ければ良いというわけではないことが分かった。これは、発声の仕方を奇声などの叫び声ではなく、指定の短文を発声してもらう手法を取ったために CDS の本来の目的とは少し異なる結果となったと考える。このことから、目的別に内部での発声の仕方を考慮する必要があることが示唆された。

6.2 今後の課題

本研究では、心理実験における被験者は健常者を対象に行った。しかし、本来 CDS は健常者より感受性の豊かな発達障害等の特性のある幼児や小学生が使用する。従って、発達障害者を対象に吸音性を高めることが内部音環境の改善につながるのかの検討を行う必要があると考える。このとき、発達障害者は長期的集中力の持続やコミュニケーションが困難な人が多いため、評価方法や設問の仕方を検討する必要があると考える。

また、CDS の評価比較基準について、本研究では CDS の構成面材の面密度と質量に着目し、CDS の音響性能と心理印象について把握した。そのため、最も厚さがあり吸音材を使用している PHP+SAM の遮音・吸音効果が顕著に表れた。しかし、実際販売されている段ボール製 CDS の厚さは本研究で使用した段ボールの 10 倍の 5 cm 以上のものが殆んどである。従って、本研究で得られた結果だけでは、CDS 内の吸音仕上げが遮音・吸音効果を向上させると判断するには曖昧な実験条件である為、厚さを統一させた上で実験し直す必要があると考える。

参考文献

- [1] 今林寛晃他,特別支援学校における自己領域化空間の設置率とその特徴,日本建築学会大会梗概集(建築計画),497-498,2012.
- [2] 渡邊真之佑他,教育・保育環境における吸音材を用いた小空間の提案,日本音響学会建音研資料,AA2018-7,2018.
- [3] 荒井みなみ他,吸音材を用いた補助具の提案と普及に向けた取り組み,日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集,2-3-05,pp213-216,2020.
- [4] お伊勢さん菓子博 2017 バリアフリー情報特集,
<https://www.barifuri.com/tourcenter/event/170421-kashihaku/index.html>,2021年1月17日.
- [5] 発達障害の方や家族へ「センサリーフレンドリー試写会」行われる - 発達障害ニュースのたーとるういず,<https://www.turtlewiz.jp/archives/19265>,2021年1月17日.
- [6] 軽くて丈夫なダンボール素材のパーテーション「カンフィパネル」 | 五大エンボディ株式会社,<https://www.mentek-godai.co.jp/special/comfypanel.html>,2021年1月17日.
- [7] 発達障がいを持つ方のためのカームダウンスペース「Cozy Room」 | 五大エンボディ株式会社,<https://www.mentek-godai.co.jp/special/cozyroom.html>,2021年1月17日.
- [8] 遊具のトークン | こどものあそびに、夢と未来を。 ,<https://token.net>,2021年1月17日.
- [9] 学校便り平成23年2月,<https://www.koganei-sh.metro.tokyo.jp/koganei/tayori/pg478.html>,2021年1月17日.
- [10] カームダウン・クールダウン Calm down,cool down について,
<https://www.ecomo.or.jp/barrierfree/pictogram/calmdown-cooldown/>,2021年1月17日.
- [11] 荻田友則,カームダウン空間が障害児の生理的ストレス反応に及ぼす影響-重症心身障害児と知的障碍児の比較-,Asian Society of Human Services,Total Rehabilitation Research, VOL.3 1-14,2016.
- [12] 日本建築学会編,日本建築学会設計計画パンフレット4 建築の音環境設計(新訂版),p4,2016.
- [13] 清水光恵,トラウマからみた発達障害者の特徴,ストレス科学研究,Vol.30,pp16-19,2015.
- [14] 日本音響材料協会音響技術,Vol.42,No.2, https://www.onzai.or.jp/pdf/new/gijutsu201306_3.pdf
- [15] 前川純一他,建築・環境音響学 第3版,p234,共立出版株式会社,2017
- [16] 子安勝,音響材料,騒音制御 Vol.20,No4,1996.
- [17] 横山栄,残響時間の測定における注意点,日本音響学会誌 68巻8号,pp.403-408,2012
- [18] 音響情報処理工学演習 www.design.kyushu-u.ac.jp/~samejima/aip/impulse_response.pdf
- [19] 日本音響エンジニアリング株式会社 室内音響分析システム,<https://www.noe.co.jp/product/pdt2/pd11/detail04.html>, 2021年1月17日.
- [20] 小口恵司,MTF法の原理と室内音響特性測定への応用,日本音響学会建築音響研究会資料 AA84-03,1984. 2021年1月17日.

- [21] 商用利用可能な著作権フリー音楽素材は Nash Music Library (ナッシュ ミュージック ライブラリー),<https://www.nash.jp/fum/>,2021 年 1 月 17 日
- [22] 横山栄他,公共空間における音環境の評価,日本騒音制御工学会技術資料 Vol.30,No6,pp.477-481,2006.
- [23] 西宮元,騒音のうるささの評価法,計測自動制御学会,計測と制御,Vol.16,Np.5,pp398-409,1977.

謝辞

本論文は東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻修士課程において、工学系研究科建築学専攻の佐久間哲哉教授の指導のもと行なった研究をまとめたものです。指導教員である佐久間哲哉教授には、研究に取り組むにあたって、研究に取り組む姿勢や物事の考え方、研究のテーマ決め、測定・実験の方法などの助言や相談をしていただき、また発表での言葉遣いや、文章・グラフの描き方など、非常に多くのことをご教授していただきました。厳しく的確なご指導をいただき、数多くのことを学びました。深く感謝いたします。

副指導教員である同専攻の小崎美希准教授には、研究の相談に丁寧に対応していただき、建築音響分野外の視点から様々な助言をいただきました。ここに感謝申し上げます。

前橋工科大学工学部建築学科の井上尚久先生には、実験機器の扱い方や測定の方法、数値解析プログラムの使い方など、これまで学ぶ機会がなかった数多くの専門的なことについてご教授していただきました。ここに感謝申し上げます。

岐阜プラスチック工業株式会社開発本部技術開発グループの木村隆志氏、青木達彦氏にはカーンダウンスペースの資材と第3章の実験では資料データの提供をしていただくともに有益なご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

博士課程の、劉金雨さん、孔敬受さん、山崎泰知さんには、研究の相談やアドバイスをいただき、また授業や研究室でも共に知識を深め合うことが出来ました。特に、劉金雨さん、山崎泰知さんには、長い時間、何度も測定を手伝っていただき、また測定結果について共に考察していただき、音響についての知識や数値解析の知識が足りていない筆者に多くの知識をいただきました。そのおかげで無事卒業することが出来ます。本当にありがとうございました。

先輩の中津成博さん、田主望さんには、研究室での生活や、授業等多くの場面で様々なことを教えていただき、お世話になりました。ありがとうございました。

同期の土屋洵さん、近藤雅貴さんとは、お互いの研究の相談や、就職活動、日々の生活のことなど様々なことを話しました。特に、土屋洵さんは二年間の研究室での生活の中で、一番長く共に時間を過ごし、励まし合いながら過ごしてきました。ありがとうございました。

後輩の廣瀬量子さん、船津出帆には、コロナ禍であったため直接対面する機会があまりありませんでしたが、被験者実験の協力と日々の生活で楽しい時間を過ごさせていただきました。

被験者実験に協力いただいた友人には、実験協力の依頼を受けて頂き、貴重なデータと意見をいただき、ありがとうございました。

最後に、筆者の学生生活を温かく見守り、励まし、支えていただいた両親に多大なる感謝の意を表します。

2021年1月18日

那須 瑞早

発表論文一覧

- 修士論文梗概

- 本研究に関する発表論文

1. 那須瑞早,佐久間哲哉,井上尚久,カームダウンスペース内の音響特性に関する実験的検討 -構成部材の影響-,日本建築学会大会学術梗概集(環境工学1),pp295-296,2020.
2. 那須瑞早,佐久間哲哉,青木達彦,木村隆志,カームダウンスペースの遮音性能に関する実験的検討,日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集,2-3-03,pp205-208,2020.

カームダウンスペースの音響性能と心理印象に関する実験的検討

Experimental study on acoustic characteristics and psychological impression of calm down spaces

学籍番号 47196743
氏名 那須 瑞早 (Nasu, Mizusa)
指導教員 佐久間 哲哉 教授

1. はじめに

「カームダウンスペース」(以下、CDS)とは、発達障害や知的障害・精神障害等の特性のある人がパニックや興奮時の鎮静のために利用できる小空間を指す。近年、学校の特別支援教室や保育所における利用^{[1][2]}に加えて、公共施設への設置も開始されつつあるが、音響性能に関する測定事例は少ない。CDSの音響性能としては、第一に外部環境からの遮断のため、内外の遮音性能が求められる。また、CDS内での自身の泣き声や叫び声の響きを抑制する必要もある。この2点について本研究では、CDSの遮音・吸音性能の測定による物理実験とCDSに入る前後の音の聞こえ方について心理実験を行う。

2. CDSの構成

本研究では、CDSの面材に着目し検討を行っていく。CDSは子供の床座位を想定したおよそ立方体の形状(内寸 0.9 m×0.9 m×1.0 m(H))とし、鉛直3面と上面の計4面を同一面材で構成し、一方向を開口部とした。CDSの面材は、A:段ボール(5 mm 厚)、B:コンパネ(12 mm 厚)、C:NPHP(22 mm 厚)、D:PHP+SAM(32 mm 厚)の4種類とした。Cは無孔ハニカム板を織物で被覆、Dは有孔ハニカム板の孔側の面に10 mm厚の吸

音不織布を重ねて織物で被覆したものであり、吸音面をCDS内部に向けている。なお、C、Dでは被覆用織物のカーテンを開口部上部の2/3程度に付けた場合でも測定を行った。C・Dの吸音率を図1に示す。

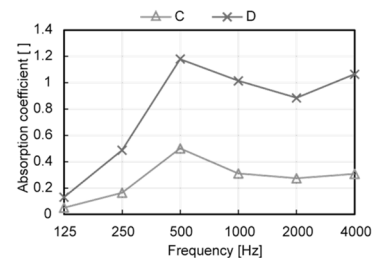


図1 タイプC・Dの吸音率

4枚の面材間は、Aでは養生テープ、BではL字金具(1辺あたり2カ所)、C・Dでは面ファスナー(1辺あたり2カ所)により固定した。なお、C・Dでは被覆用織物のカーテンを開口部上部の2/3程度に付けた場合でも測定を行った。

3. CDSの遮音・吸音性能

3.1. 実験概要

遮音性能 半無響室および残響室においてCDS外部のスピーカーからピンクノイズを発生させ、CDS内部の音圧レベルを設置・非設置時で測定し、そのレベル差から挿入損失を算出する。半無響室ではCDS四周の各方向からの入射、残響室では拡散入射を想定し、各入射条件の挿入損失を同定する。

半無響室・残響室ともに、騒音計を用いて

図 2 に示す CDS 内の 4 点において音圧レベルを測定し、それらの平均音圧レベルを算出した。

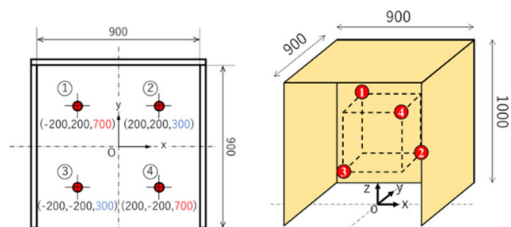


図 2 CDS 内の測定点の配置

音源は 12 面体スピーカーを床置きとし、半無響室では CDS の中央から 4 方向に 1m 離れた近傍点、残響室では室隅部付近に配置した。CDS の設置方向に関しては、開口部を正面として、スピーカーに対して(a)正面向き、(b)側面向き、(c)背面向きの 3 パターンで測定を行った。残響室における測定風景を図 3 に示す。



図 3 残響室における(b)の測定風景

吸音性能 半無響室および教室 (約 5 m×7 m×2.5 m(H)) の剛床上に CDS を組み立て、ダミーヘッドを設置し、ピンク TSP 信号を用いてダミーヘッドの口から右耳のインパルス応答測定を行った。なお、教室では室の中央に CDS を設置した。実験風景を図 4 に示す。



図 4 実験風景

CDS 内の音響特性としては、インパルス

応答から残響時間(T30)、初期減衰時間(EDT)、ディフィニション(D50)および相対音圧レベル(半無響室における CDS 非設置時を基準)を算出した。

3.2. 実験結果

半無響室における挿入損失の測定結果を図 5、残響室においては代表して背面向きの挿入損失の測定結果を図 6 に示す。また、吸音性能について無響室および教室設置時における CDS 内の 4 つの音響指標の測定結果を図 7 および図 8 に示す。

遮音性能 開口部反対側からの入射に対して、軽量パネルでも内側を吸音性することで中高音域では 20dB を超える比較的高い遮音性能が得られることが分かった。ただし、拡散音場を想定した入射に対しては、10dB 以下にとどまる結果となった。また、開口部へのカーテン設置による影響は拡散音場における入射の場合、中高音域で 2dB 程度の遮音性能向上が見込まれることが分かった。

吸音性能 内部残響時間は極めて短い、反射性部材(コンパネ・段ボール)の場合は室内の残響時間に近づく傾向が確認された。また、吸音性部材では中高音域の音の大きさの増大がほぼ抑制されることが分かった。一方、軽量の段ボールでも音圧上昇が生じることが分かった。開口部へのカーテン設置による影響は極めて小さいことが分かった。

3.3. 物理実験のまとめ

以上のことから、物理実験によって CDS 内の吸音仕上げは遮音・吸音性能を高めることが分かり、外部騒音がある場合は開口部にカーテンを設置することで遮音性を高める効果があることが分かった。

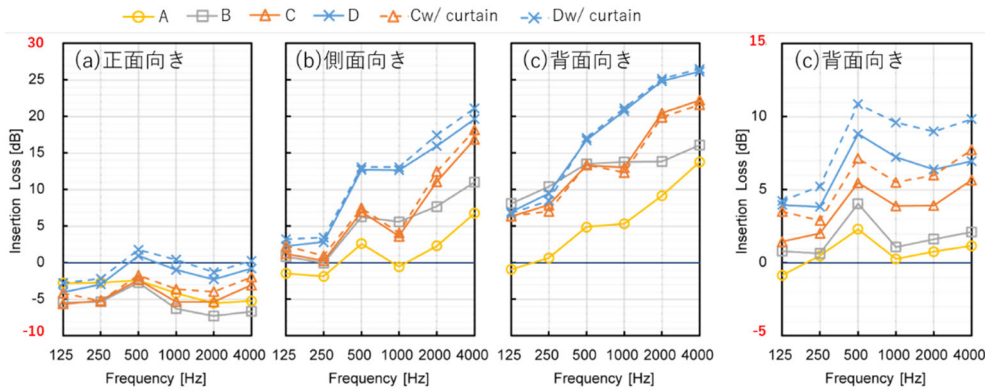


図 5 半無響室の測定結果

図 6 残響室の測定結果

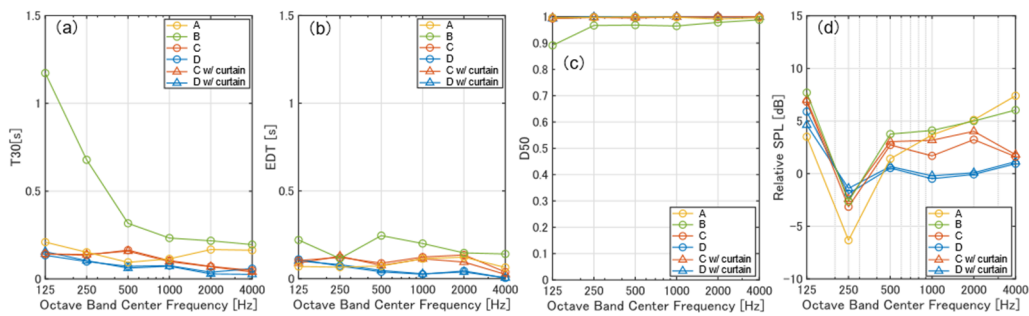


図 7 半無響室の測定結果：(a) T₃₀、(b) EDT、(c) D₅₀、(d) 相対音圧レベル

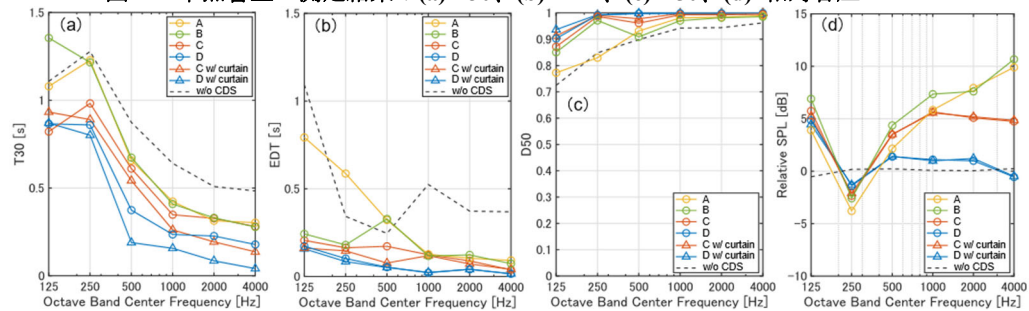


図 8 教室の測定結果：(a) T₃₀、(b) EDT、(c) D₅₀、(d) 相対音圧レベル

4. 心理実験

CDS は落ち着くスペースであるので、居心地の良さを把握することは本研究で重要である。

4.1. 実験概要

実空間における CDS の設置状況を想定し、CDS 内部でのうるささの緩和や外部空間からの隔離感などの心理的効果を聴感実験により検証する。実験は、「外からの環境音」と「中で発した自身の声」の聞こえ方の 2 パターンを 20 代の大学生・院生 16 名を対象に行った。環境音は「学校の廊下」と「駅の

コンコース」それぞれについて評価させた。

評価方法の基準は、CDS に入る前と比較し、CDS に入った後における音の聞こえ方とした。機器配置図を図 9 に示す。実験室中央を CDS に入る前とし、有孔ボード向きに椅子を配置し被験者は椅子に座りながら音を聞く。CDS 内では開口部を背面にし、奥向きに床座位となるよう指示した。評価項目を表 1 に示す。「外からの環境音」の聞こえ方については No.1~6、「中で発した自身の声」の聞こえ方については No.1~3 と No.6 について 5 段階評価させた。

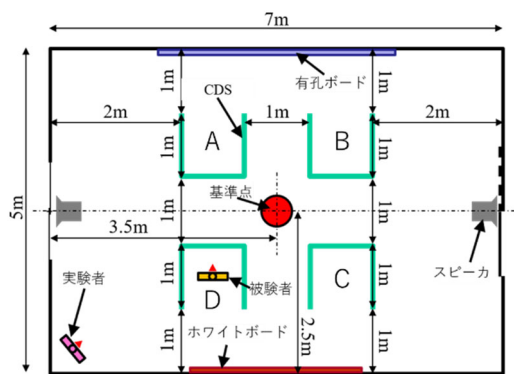


図 9 機器配置図

表 1 評価項目

No	設問	評価 (5段階)				
1	大きさ	かなり大きくなった	やや大きくなった	変わらない	やや小さくなった	かなり小さくなった
2	音色	かなり悪くなった	やや悪くなった	変わらない	やや良くなった	かなり良くなった
3	響き	かなり響くようになった	やや響くようになった	変わらない	やや響かなくなった	かなり響かなくなった
4	煩雑感	かなり増えた	やや増えた	変わらない	やや減った	かなり減った
5	距離感	かなり近くなった	やや近くなった	変わらない	やや遠くなった	かなり遠くなった
6	居心地	かなり悪くなった	やや悪くなった	変わらない	やや良くなった	かなり良くなった

4.2. 実験結果・考察

各設問について、全体指摘率に対する「変わらない」評価を省いた各評価の指摘率を図 10 に示す。反射性部材（コンパネ・段ボール）は、「外からの環境音」の聞こえ方において CDS へ入る前後とあまり変わらず、「中で発した自身の声」の聞こえ方において約 80% の人が響きを感じる事が分かった。更に、居心地が悪いと感じる人は吸音性部材よりも多い結果となった。吸音性部材では、全ての項目で青の指摘率が高くなった。ただし、「中で発した自身の声」の聞こえ方における居心地は D より C の方が悪くなった指摘率は半減していた。これについて、普段と顕著に異なる響き方に不快感と圧迫感を覚え、D より C は吸音具合がちょうどよいという回答が得られた

4.3. 心理実験のまとめ

以上より、心理実験によって、CDS 内の吸音仕上げは外部からの音を聞いた時の居心地において約 90% の人は居心地が良いと

い感じる事が分かった。一方、自分の声を聞いた時の居心地は 30% の人が悪いと感じ、吸音性が高いと声の響きに影響し、居心地が悪くなってしまおうということが分かった。

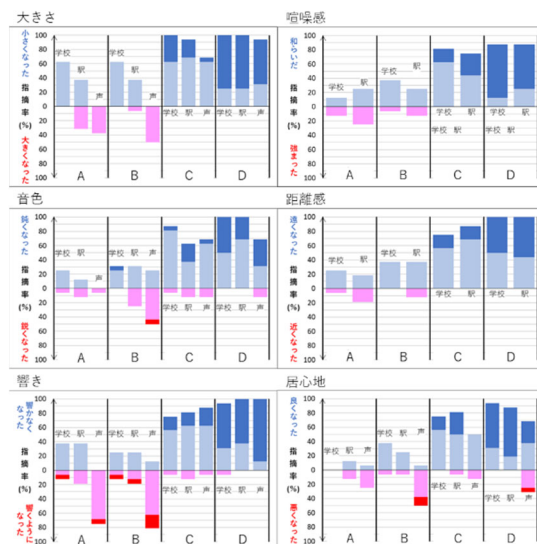


図 10 全体指摘率に対する「変わらない」評価を除いた評価の指摘率

5. まとめ

外部騒音がある場合、CDS 内の吸音性を高めることは効果的であると考え。一方、中で声を発する場合がある場合、3 割の人が居心地に不快感を覚え、CDS 内の吸音性を高めることは内部快適性を損なうことが分かった。

本研究の心理実験では 20 代の健常者を対象に行ったが、CDS の本来の使用人は発達障害である。今後は、健常者より感受性の豊かな発達障害者を対象に吸音性を高めた CDS は発達障害者にとって快適な内部音環境であるかの検討をする必要があると考え。

参考文献

- [1] 今林他：特別支援学校における自己領域化空間の設置率とその特徴, AII 大会梗概集 (建築計画), 497-498, 2012.
- [2] 渡邊他：教育・保育環境における吸音材を用いた小空間の提案, ASJ 建音研資料, AA2018-7, 2018.

カームダウンスペース 室内音響 インパルス応答
残響時間 ダミーヘッド

1. はじめに

「カームダウンスペース」(以下、CDS)とは、発達障害や知的障害・精神障害等の特性のある人がパニックや興奮時の鎮静のために利用できる小空間を指す。近年、学校の特別支援教室や保育所における利用^[1]に加えて、公共施設への設置も開始されつつある。現在 CDS の家具製品はいくつか市販され、廉価な自作方法^[2]も提案されているが、音響性能に関する測定事例は少なく、評価方法も確立していない。CDS の音響性能としては、第一に外部環境からの遮断のため、内外の遮音性能が求められる。また、CDS 内での自身の泣き声や叫び声の響きを抑制する必要もある。本研究では後者に着目し、構成部材の異なる CDS 内においてダミーヘッドを用いた音響測定を行い、自身の声の響きに及ぼす構成部材の影響について実験的検討を行う。

2. 実験概要

半無響室および教室(約 5 m×7 m×2.5 m(H))の剛床上に CDS を組み立て、内部にマウスシミュレータ内蔵のダミーヘッド(ACO Type 8328C)を設置し、ピンク TSP 信号を用いて口から右耳のインパルス応答測定を行った。なお、教室では室の中央に CDS を設置した。

CDS は子どもの床座位を想定したおおよそ立方体の形状(内寸 0.9 m×0.9 m×1.0 m(H))とし、鉛直 3面と上面の計 4面を同一面材で構成し、一方向を開口部とした。Fig. 1 に示すように、ダミーヘッドは開口部に背を向けた状態で CDS 内の中央に配置した。

CDS の面材としては、A : 段ボール(5 mm 厚)、B : コンパネ(12 mm 厚)、C : 非吸音仕様の樹脂製ハニカム板(22 mm 厚)、D : 吸音仕様の樹脂製ハニカム板(32 mm 厚)の 4種類とした。C は無孔ハニカム板を織物で被覆、D は有孔ハニカム板の孔側の面に 10 mm 厚の吸音不織布を重ねて織物で被覆したものであり、吸音面を CDS 内部に向けている。なお、C、D では被覆用織物のカーテンを開口部上部の 2/3 程度に付けた場合でも測定を行った。

CDS 内の音響特性としては、インパルス応答から残響時間(T_{30})、初期減衰時間(EDT)、ディフィニション(D_{50})および相対音圧レベル(半無響室における CDS 非設置時を基準)を各オクターブバンドで算出した。

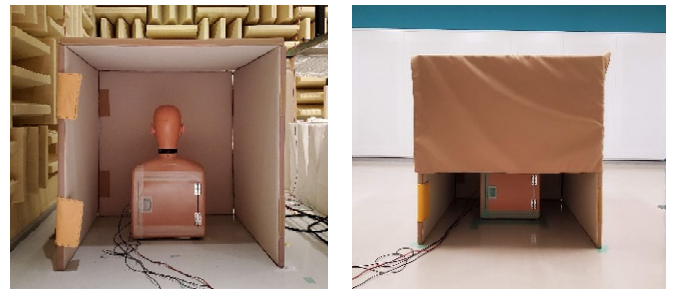


Fig. 1 実験風景 (左 : 半無響室、右 : 教室)

3. 測定結果と考察

半無響室および教室設置時における CDS 内の 4つの音響指標の測定結果を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。以下に各指標における構成部材の影響について述べる。

(1) 残響時間

半無響室ではコンパネを除く全ての部材で T_{30} は周波数によらず 0.2 秒以下となり、コンパネの場合のみ低音域で長い値となっている。一方、教室では室内残響の影響を受け、全ての場合で半無響室より T_{30} が長くなるとともに、部材による違いが生じている。段ボールとコンパネの場合が同程度で最も長く、ハニカム板の非吸音仕様、吸音仕様の順で短くなっている。また、カーテン設置により若干の低下も見られる。

(2) 初期減衰時間

半無響室ではコンパネの場合でも EDT は 0.2 秒程度となり、教室では全ての部材で EDT は T_{30} より大幅に低下している。音源と受音点が近接しているため、CDS 無しの場合に EDT が短くなったことに起因するものと考えられる。なお、段ボールの場合、低音域で遮音性が非常に低いため、CDS 無しの EDT に近い値になったものと推察される。

(3) ディフィニション

半無響室ではコンパネの場合を除き D_{50} はほぼ 1 となり、コンパネの場合でも 0.9 以上となっている。一方、教室では全ての部材で低音域側では若干の低下が見られ、段ボールの場合では CDS 無しの場合とほぼ一致しており、EDT と同様の原因が考えられる。ただし、いずれの場合も音声の明瞭性は非常に高い。

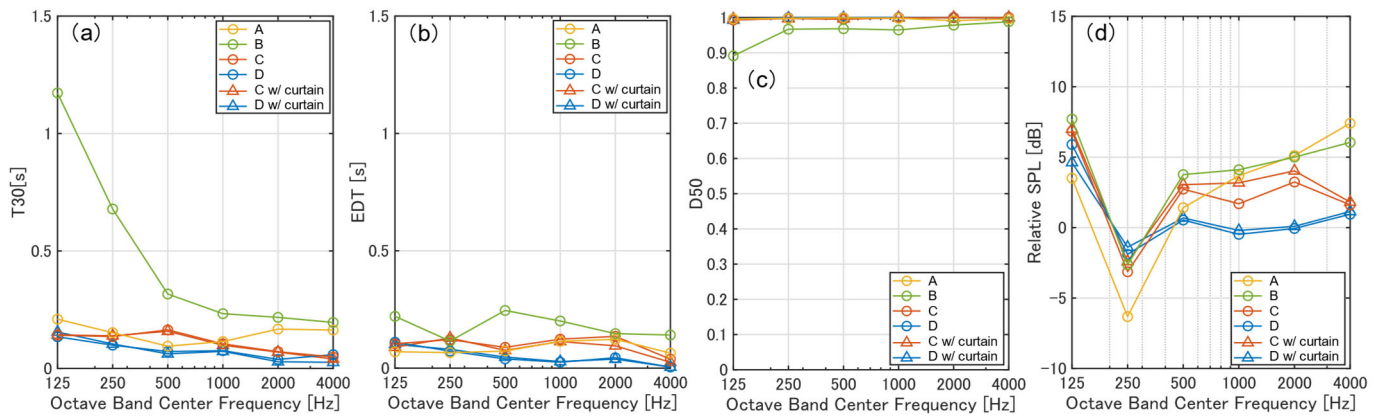


Fig. 2 半無響室の測定結果：(a) T_{30} 、(b) EDT、(c) D_{50} 、(d) 相対音圧レベル

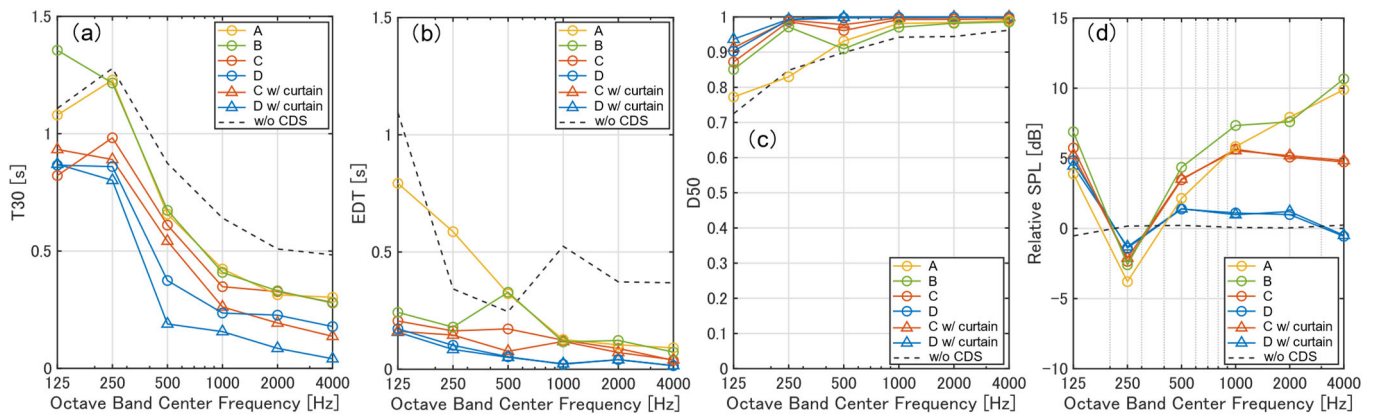


Fig. 3 教室の測定結果：(a) T_{30} 、(b) EDT、(c) D_{50} 、(d) 相対音圧レベル

(4) 相対音圧レベル

半無響室および教室における共通の傾向として、125Hz帯域では正、250Hz帯域では負、また、500Hz以上の帯域では正となるものの、部材の影響が大きいことがわかる。CDSの寸法と波長の関係から、125Hz帯域ではCDS内の音圧は一樣に上昇し、250Hz帯域ではモードによる干渉により右耳位置で音圧の低下が生じたものと推察される。なお、半無響室では段ボールのみ低音域でレベルが低いが、遮音性が低いとみとえられる。

中高音域における部材の影響に関しては、半無響室ではコンパネで上昇量が最も大きく5dB程度となり、1000Hz以上では段ボールも同程度となっている。非吸音仕様ハニカム板では2~3dBとなり、カーテン有りでは若干の増加が見られる。一方、吸音仕様ハニカム板ではほぼ0dBとなり、CDS内の音圧増大がかなり抑制されている。教室でも概ね同様の傾向であるが、吸音仕様ハニカム板を除くと半無響室に比べて2~4dB上昇している。室内残響がCDS内で増幅された可能性が考えられるが、吸音仕様ハニカム板の場合は1dB程度の上昇に留まっている。

4. まとめ

CDS内での自身の声の響きに関して、内部の残響時間は極めて短い、反射性部材の場合は室内の残響時間に近づく傾向が確認された。また、CDS設置により250Hz帯域を除いて音圧レベルは顕著に増大したが、吸音性部材では中高音域の増大がほぼ抑制された。従って、CDS内の吸音仕上げは声の響きの抑制に効果的と考えられる。なお、軽量の段ボールでも音圧上昇は生じること、開口部のカーテンの影響は極めて小さいことが確認された。CDS内外の遮音性能に関しては別途測定を行っており、今後は実環境の設置を想定した聴感実験により心理的効果の検証を行う予定である。

謝辞

実験にあたり、岐阜プラスチック工業株式会社より材料の提供を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

[1] 今林寛晃他：特別支援学校における自己領域化空間の設置率とその特徴, AIJ 大会梗概集 (建築計画), 497-498, 2012. [2] 渡邊真之祐他：教育・保育環境における吸音材を用いた小空間の提案, ASJ 建音研資料, AA2018-7, 2018.

*1 東京大学大学院新領域創成科学研究科 修士課程

*2 前橋工科大学工学部建築学科 講師・博士 (環境学)

*3 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 教授・博士 (工学)

*1 Grad. Student, Grad. Sch. of Frontier Sci., Univ. of Tokyo.

*2 Lect., Dep. of Arch., Fac. of Eng., Maebashi Inst. of Tech., Dr. Environ.

*3 Prof., Dep. of Arch., Grad. Sch. of Eng., Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

◎那須瑞早(東大・新領域)、佐久間哲哉(東大・工)、
△青木達彦、△木村隆志 (岐阜プラスチック工業)

1. はじめに

「カームダウンスペース」(以下、CDS)とは、発達障害や知的障害・精神障害等の特性のある人がパニックや興奮時の鎮静のために利用できる小空間を指す。近年、学校の特別支援教室や保育所における利用^{[1][2]}に加えて、公共施設への設置も開始されつつあるが、音響性能に関する測定事例は少ない。CDSの音響性能としては、第一に外部環境からの遮断のため、内外の遮音性能が求められる。また、CDS内での自身の泣き声や叫び声の響きを抑制する必要もある。既報^[3]では後者に関して、CDS内のマウスシミュレータ内蔵のダミーヘッドを用いた音響測定により、自身の声の響きに及ぼす構成部材の影響について検討を行った。本報では前者に関して、周囲からの音に対するCDSの挿入損失を測定し、遮音性能の基本特性および構成部材の影響について検討を行う。

2. 実験概要

2.1. 実験環境

半無響室および残響室においてCDS外部のスピーカーからピンクノイズを発生させ、CDS内部の音圧レベルを設置・非設置時で測定し、そのレベル差から挿入損失を算出する。半無響室ではCDS四周の各方向からの入射、残響室では拡散入射を想定し、各入射条件の挿入損失を同定する。

2.2. CDSの構成

CDSは子供の床座位を想定したおよそ立方体の形状(内寸0.9m×0.9m×1.0m(H))とし、鉛直3面と上面の計4面を同一面材で構成し、一方向を開口部とした。

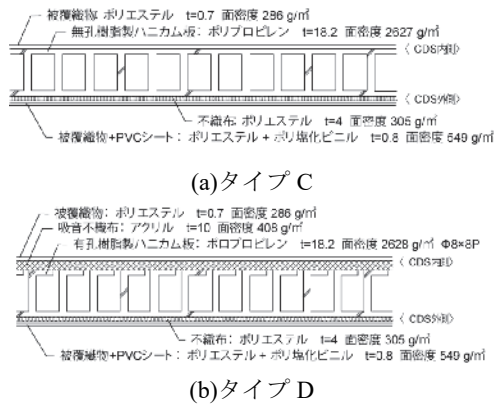


図1 面材の断面構成

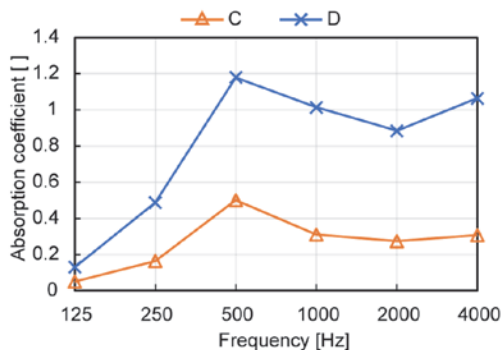


図2 タイプC・Dの吸音率

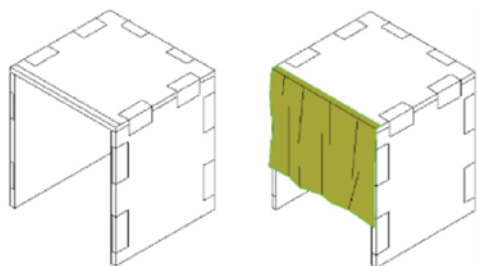
CDSの面材は以下の4種類とした。

- A: 段ボール(5 mm厚)
- B: コンパネ(12 mm厚)
- C: 非吸音仕様の樹脂製ハニカム板(22 mm厚)
- D: 吸音仕様の樹脂製ハニカム板(32 mm厚)

図1に示すように、タイプCは無孔ハニカム板を織物で被覆、タイプDは有孔ハニカム板の孔側の面に10mm厚の吸音不織布を重ねて織物で被覆したものであり、吸音面をCDS内部に向けている。タイプC・DのCDS内側(図1中の上面)の残響室法吸音率を図2に示す。

*Experimental study on sound insulation characteristics of calm down spaces, By Mizusa NASU, Tetsuya SAKUMA (Univ. of Tokyo), Tatsuhiko AOKI, Takashi KIMURA (Gifu Plastic Industry)

4枚の面材間は、タイプ A では養生テープ、タイプ B ではL字金具（1辺あたり2カ所）、タイプ C・D では面ファスナー（1辺あたり2カ所）により固定した。なお、タイプ C・D では被覆用織物のカーテンを開口部上部の2/3程度に付けた場合（図3）でも測定を行った。



(a)カーテン無し (b)カーテン有り

図3 タイプC・Dの外観

2.3. 音源・CDSの配置

半無響室・残響室ともに、騒音計を用いて図4に示すCDS内の4点において音圧レベルを測定し、それらの平均音圧レベルを算出した。各実験室における音源に対するCDS設置方向の条件を図5および図6に示す。音源は12面体スピーカーを床置きとし、半無響室ではCDSの中央から4方向に1m離れた近傍点、残響室では室隅部付近に配置した。CDSの設置方向に関しては、開口部を正面として、スピーカーに対して(a)正面向き、(b)側面向き、(c)背面向きの3パターンで測定を行った。残響室における測定風景を図7に示す。

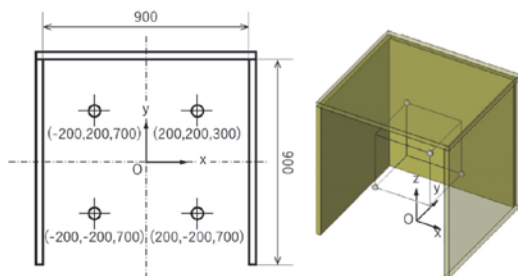
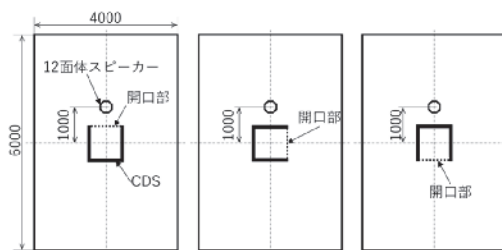
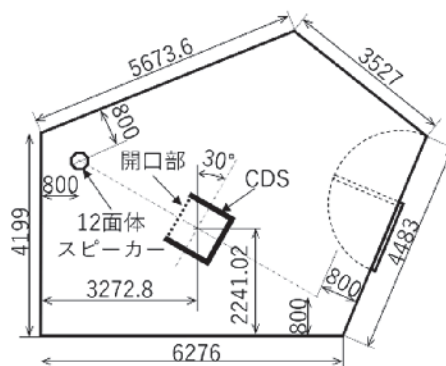


図4 CDS内の測定点の配置

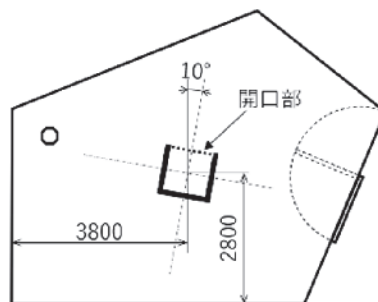


(a)正面向き (b)側面向き (c)背面向き

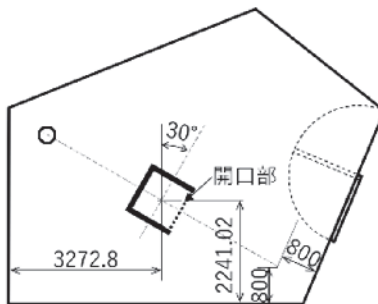
図5 半無響室における音源・CDSの配置



(a)正面向き



(b)側面向き



(c)背面向き

図6 無響室における音源・CDSの配置

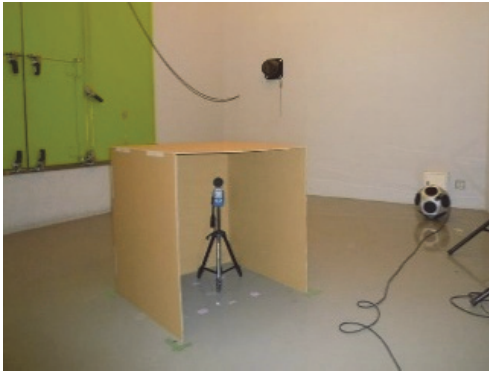


図7 残響室における測定風景

3. 実験結果と考察

3.1. 半無響室の測定結果

半無響室において CDS の 3 方向に配置した場合の挿入損失の測定結果を図 8 に示す。全体傾向として、正面向きでは CDS の反射により挿入損失は負の値となるのに対して、側面向き・背面向きの順に全周波数帯域で顕著に上昇し、高音域ほど高い値となることが確認できる。

CDS の面材による影響としては、概ねタイプ A から D の順で挿入損失は高くなり、特に中高音域では面密度が最も高いコンパネよりも面密度が約半分の樹脂製ハニカム板の方が高い値を示している。コンパネの吸音性は非常に低く、CDS 内部で音の増幅が生じたためと考えられる。また、樹脂製ハニカム板のタイプ C・D を比較すると、中高音域で 5 dB 程度の差が生じており、CDS 内側の吸音付加が挿入損失の上昇に大きく寄与することが示された。

遮音性能が最も高いタイプ D では、CDS 開口部の反対方向から到来する音に対して、およそ低音域 10 dB、中音域 20 dB、高音域 25 dB の低減性能を有している。なお、カーテン設置の遮音効果は、正面向きの場合に高音域で若干生じているものの、全体的に僅かとなっている。

3.2. 残響室の測定結果

残響室において CDS の 3 方向に配置した場合の挿入損失の測定結果を図 9 に示す。正面向きでは他 2 方向と比べ全周波数帯域で 1~2 dB 程度低下するものの、全体傾向は概ね同様であ

り、タイプ A から D の順で挿入損失は高くなっている。しかし、挿入損失は遮音性能が最も高いタイプ D でも高音域で 10 dB 以下であり、開口部からの入射の寄与が大きいものと考えられる。面材による影響として、段ボールとコンパネはほぼ同程度の低い遮音性能となっており、樹脂製ハニカム板では内部の吸音性により挿入損失が上昇しているものと推察される。なお、残響室ではカーテン設置により中高音域で 2 dB 程度の挿入損失の上昇が明確に現れている。

4. まとめ

CDS 周囲の特定方向および全方向からの音の入射に対して、4 種類の面材で構成した CDS の挿入損失を測定し、遮音性能の傾向を把握した。開口部反対側からの入射に対しては、軽量のパネルでも内側を吸音性とすることで、中高音域では 20 dB を超える比較的高い遮音性能が得られることが確認された。ただし、その面材の場合でも、拡散音場を想定した入射に対しては、10 dB 以下にとどまった。なお、開口部へのカーテン設置により、拡散音場における入射の場合、中高音域で 2 dB 程度の遮音性能の向上が見込まれる。

今後は、学校教室や公共空間などの実空間における CDS の設置状況を想定し、CDS 内部でのうるささの緩和や外部空間からの隔離感などの心理的効果を聴感実験により検証する予定である。

参考文献

- [1] 今林他：特別支援学校における自己領域化空間の設置率とその特徴, AIJ 大会梗概集 (建築計画), 497-498, 2012.
- [2] 渡邊他：教育・保育環境における吸音材を用いた小空間の提案, ASJ 建音研資料, AA2018-7, 2018.
- [3] 那須他：カームダウンスペース内の音響特性に関する実験的検討 -構成部材の影響-, AIJ 大会梗概集 (環境工学 1), 295-296, 2020.

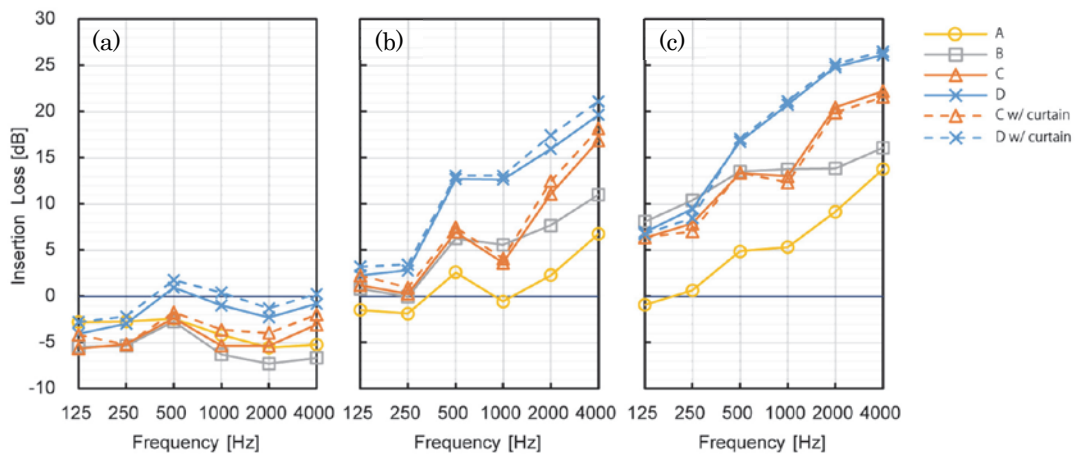


図 8 半無響室における挿入損失の測定結果：(a)正面向き，(b)側面向き，(c)背面向き

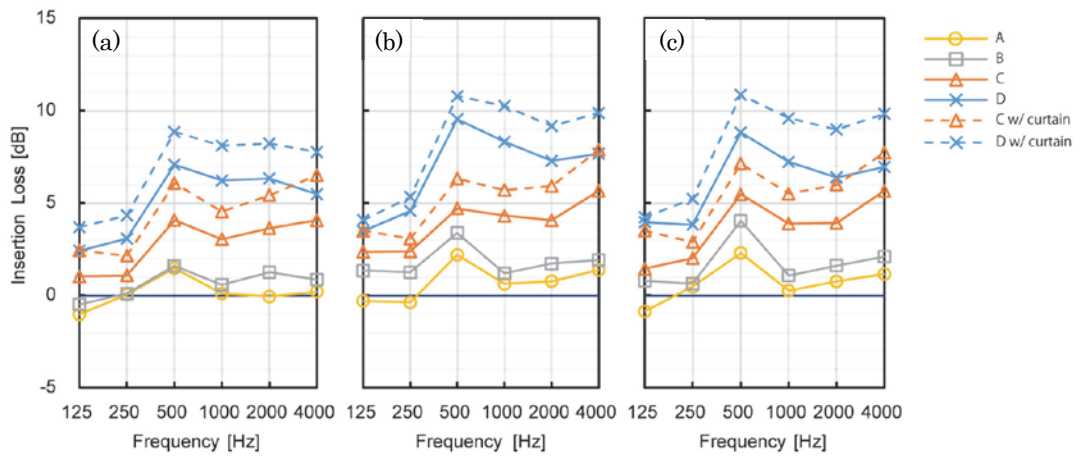


図 9 残響室における挿入損失の測定結果：(a)正面向き，(b)側面向き，(c)背面向き

付録

ボックス内での音の聞こえ方についての印象評価実験

実験者：東京大学大学院 新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻
佐久間研究室 修士2年 那須瑞早

1. はじめに

この度は本実験にご協力頂き誠にありがとうございます。本実験では、目の前にあるボックスの中に入って頂き、中で音がどのように聞こえたか・感じたかの評価を行って頂きます。

実験は2種類ございますので、その都度実験内容の説明をさせていただきます。

最初に、被験者様の氏名・性別・年齢をお答えください。

氏名	性別	年齢
	男・女	歳

被験者様についてのアンケートは以上になります。

次のページから実験についての説明とアンケートになります。何かご質問がある時や気分が悪くなった際はいつでもお声がけください。

2. 実験①：ボックスの外から聞こえてくる音の聞こえ方

この実験では、ボックスの外側（教室内）で2種類の環境音（学校の廊下、駅のコンコース）を流します。被験者の方は、ボックスに入る前と後での聞こえ方の比較を行っていただきます。

● 実験の流れ

実験は以下の4手順を1セットとし行っていただきます。

手順1	手順2	手順3	手順4	手順5
椅子で音源を聞く (20秒)	ボックス内へ移動・座位 (10秒)	ボックス内で音源を聞く (20秒)	ボックス内で回答 (30秒)	椅子に戻って着席 (10秒)

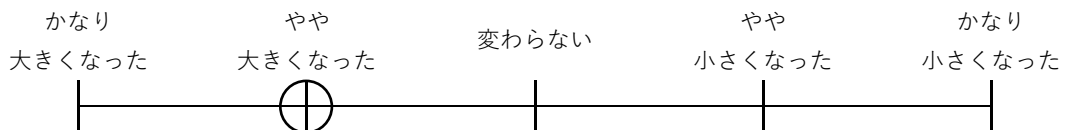
● 作業についての注意点

- ① ボックスに入る順番はボックスの上に設置してある番号札に従って下さい。
- ② ボックスの中では奥向きに座って聞いて下さい。
- ③ 音源を流している間は目を瞑って下さい。
- ④ アンケートはボックス内で行って下さい。（音を聞きながらお答え頂いても構いません）
- ⑤ あまり深く考えず直感でアンケートにお答え下さい。

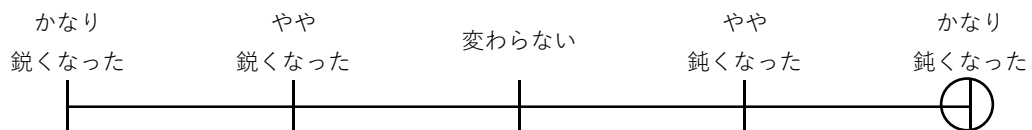
● 設問例

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛りには○をつけて下さい。

Q1.音の大きさは変わりましたか？



Q2.音色は変わりましたか？



Q3.響きは変わりましたか？



Q4.その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

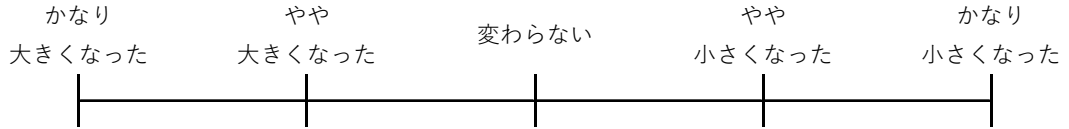
次のページからアンケート用紙になります。

実験①のアンケート用紙 (学校の廊下)

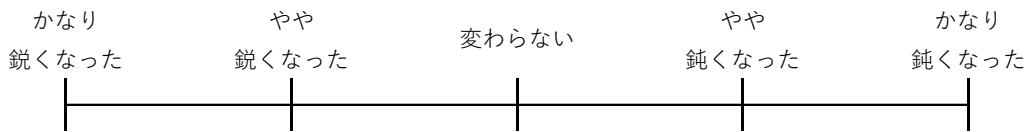
1 番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛り
に○をつけて下さい。

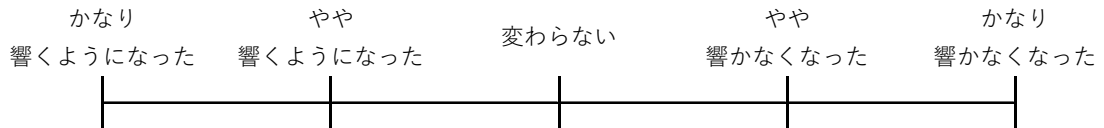
Q1.音の大きさは変わりましたか？



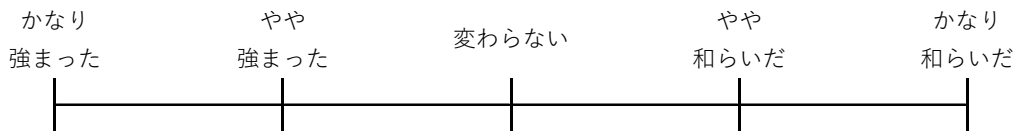
Q2.音色は変わりましたか？



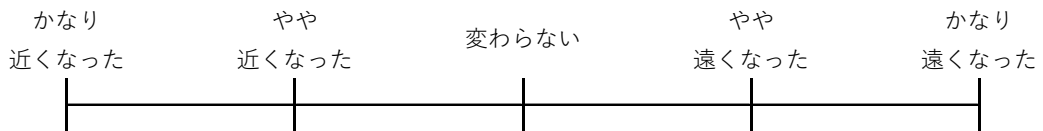
Q3.響きは変わりましたか？



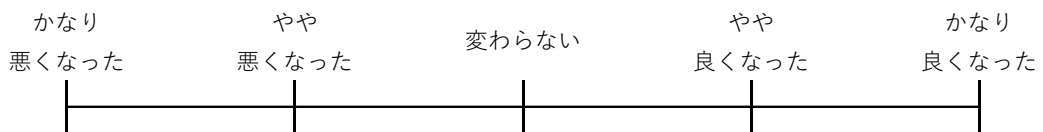
Q4.喧噪感は変わりましたか？



Q5.周囲との距離感は変わりましたか？



Q6.居心地は変わりましたか？

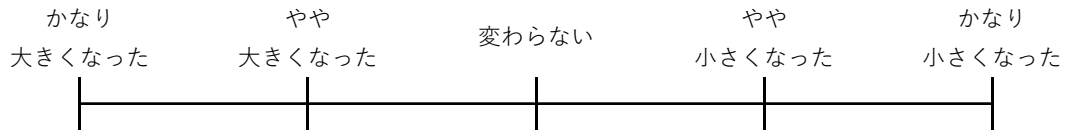


Q7. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

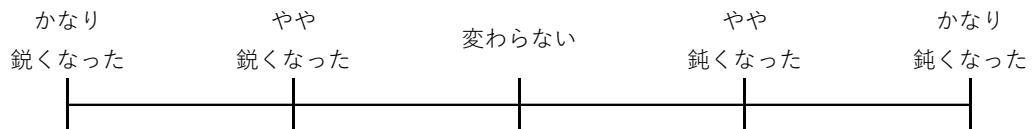
2番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛り
に○をつけて下さい。

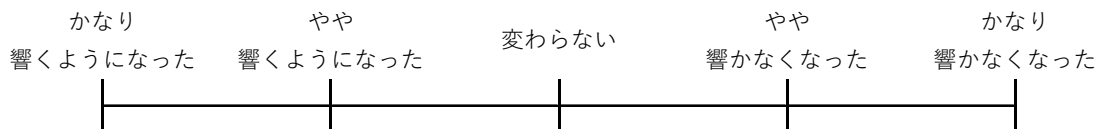
Q1.音の大きさは変わりましたか？



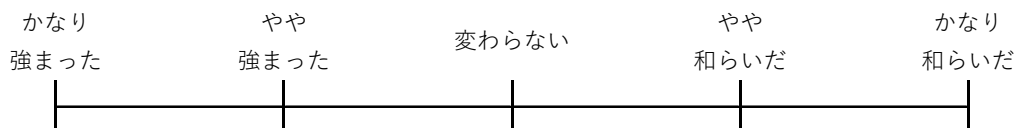
Q2.音色は変わりましたか？



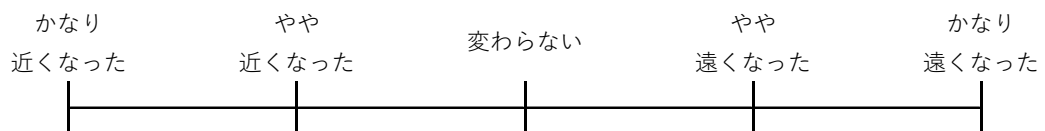
Q3.響きは変わりましたか？



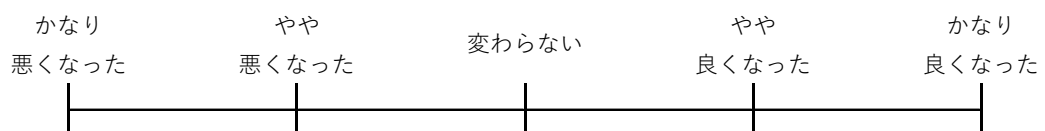
Q4.喧噪感は変わりましたか？



Q5.周囲との距離感は変わりましたか？



Q6.居心地は変わりましたか？

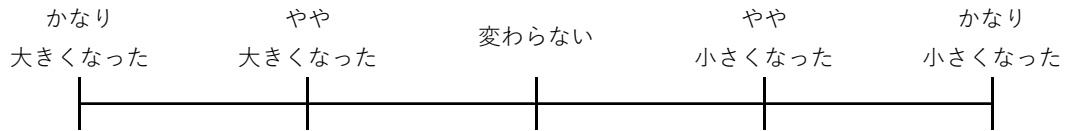


Q7. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

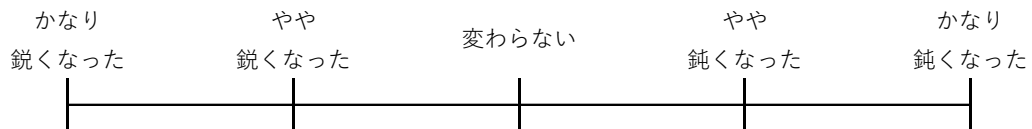
3番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛りに○をつけて下さい。

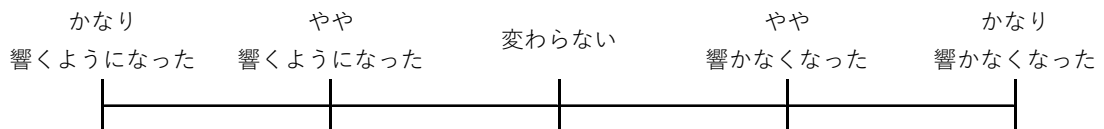
Q1.音の大きさは変わりましたか？



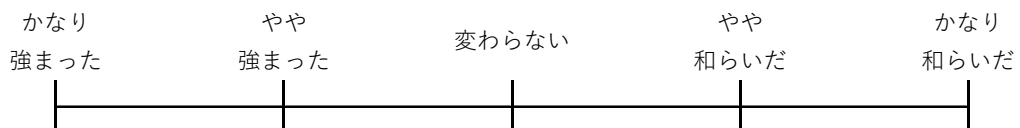
Q2.音色は変わりましたか？



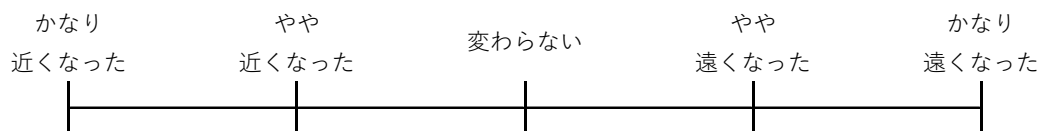
Q3.響きは変わりましたか？



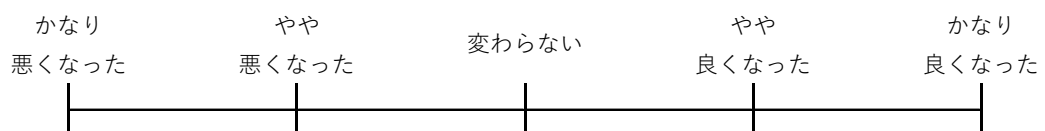
Q4.喧噪感は変わりましたか？



Q5.周囲との距離感は変わりましたか？



Q6.居心地は変わりましたか？

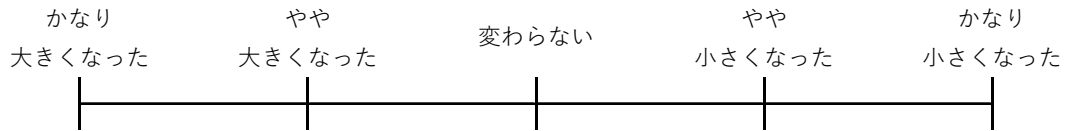


Q7. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

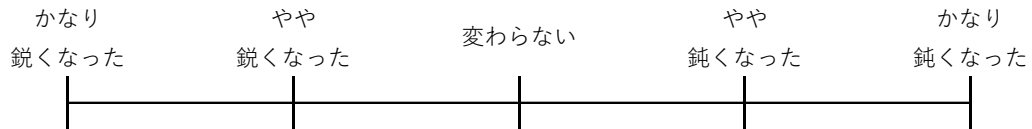
4番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛り
に○をつけて下さい。

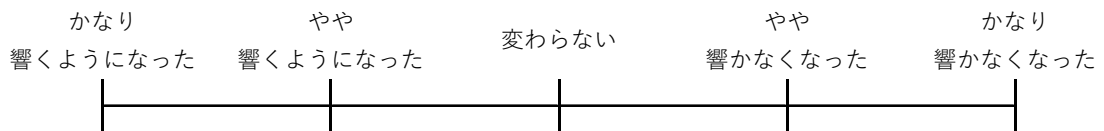
Q1.音の大きさは変わりましたか？



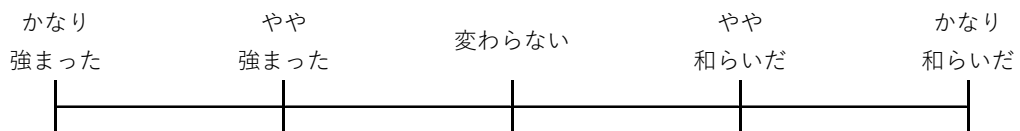
Q2.音色は変わりましたか？



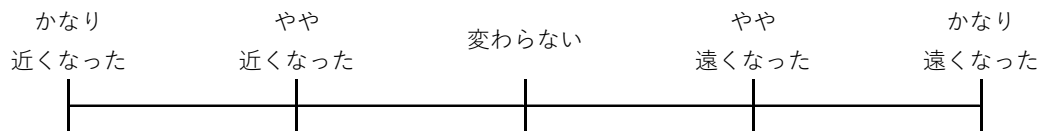
Q3.響きは変わりましたか？



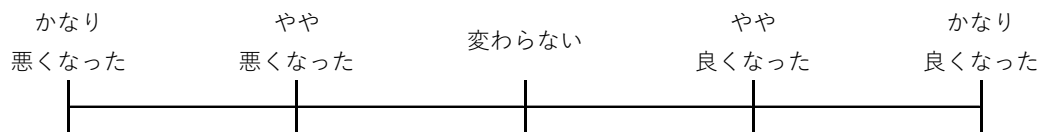
Q4.喧噪感は変わりましたか？



Q5.周囲との距離感は変わりましたか？



Q6.居心地は変わりましたか？

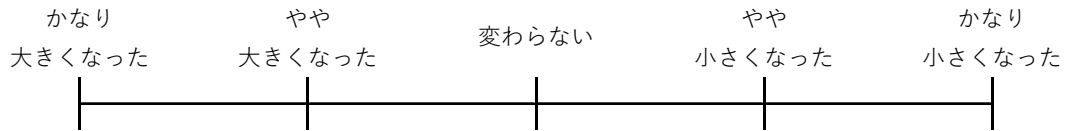


Q7. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

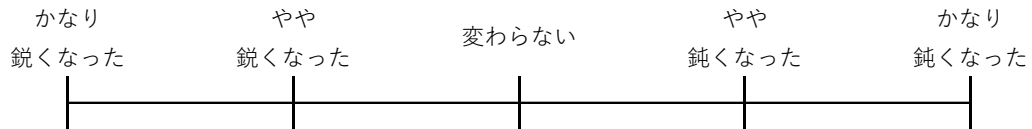
5番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛り
に○をつけて下さい。

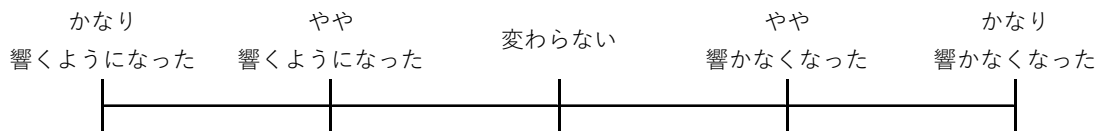
Q1.音の大きさは変わりましたか？



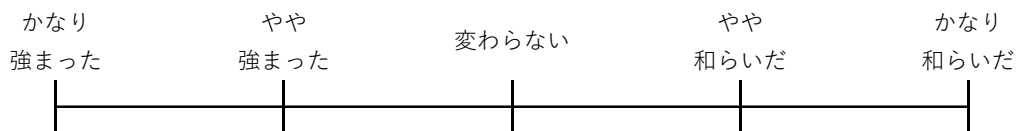
Q2.音色は変わりましたか？



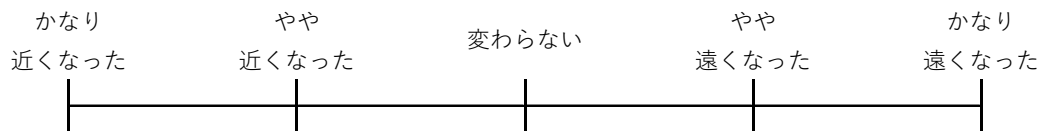
Q3.響きは変わりましたか？



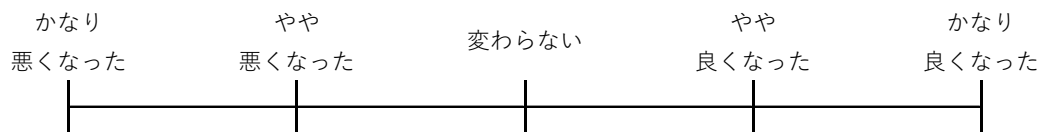
Q4.喧噪感は変わりましたか？



Q5.周囲との距離感は変わりましたか？



Q6.居心地は変わりましたか？



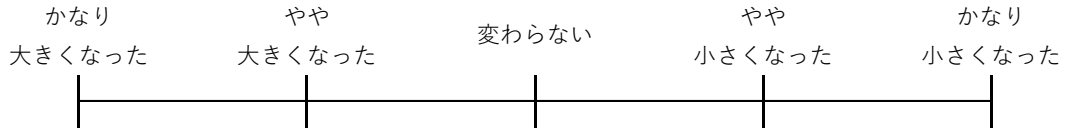
Q7. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

実験①のアンケート用紙（駅のコンコース）

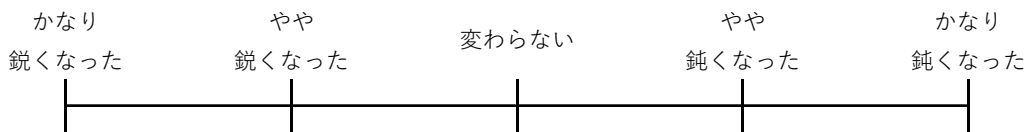
1 番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛りに○をつけて下さい。

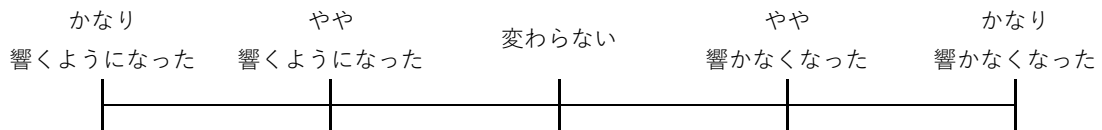
Q1.音の大きさは変わりましたか？



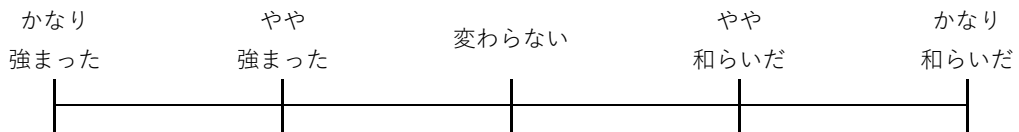
Q2.音色は変わりましたか？



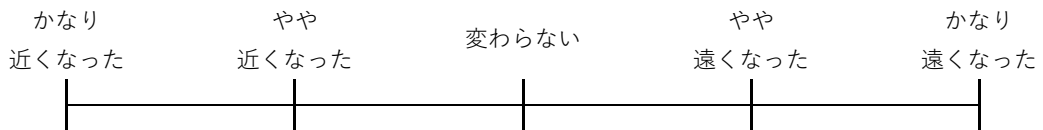
Q3.響きは変わりましたか？



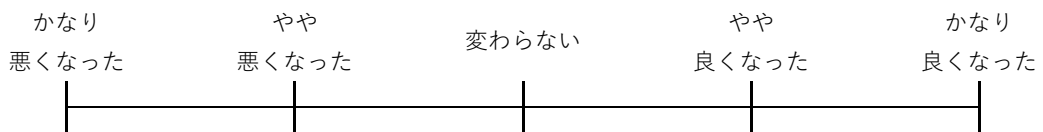
Q4.喧噪感は変わりましたか？



Q5.周囲との距離感は変わりましたか？



Q6.居心地は変わりましたか？

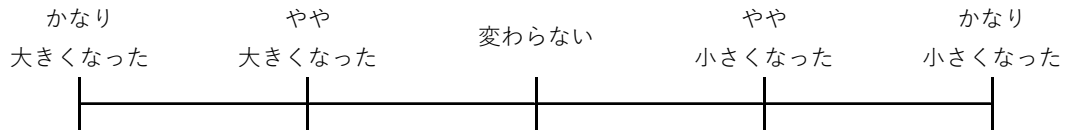


Q7. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

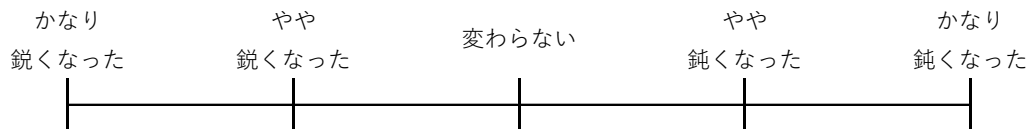
2番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛り
に○をつけて下さい。

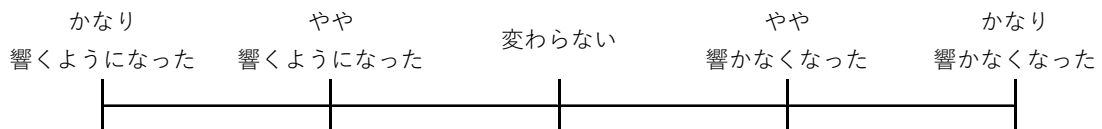
Q1.音の大きさは変わりましたか？



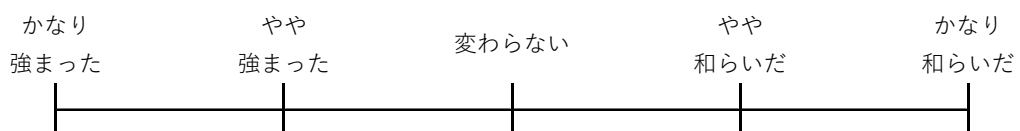
Q2.音色は変わりましたか？



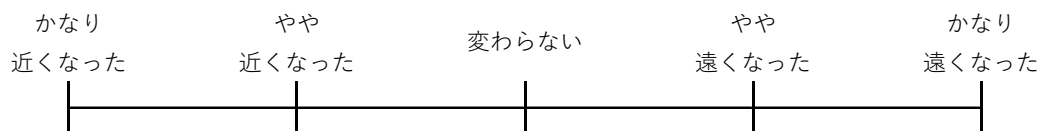
Q3.響きは変わりましたか？



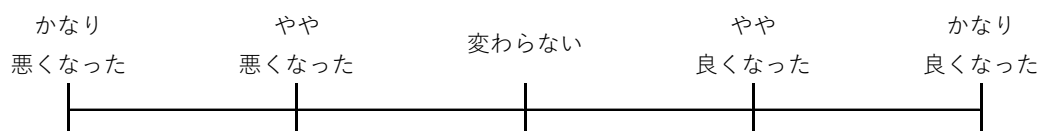
Q4.喧噪感は変わりましたか？



Q5.周囲との距離感は変わりましたか？



Q6.居心地は変わりましたか？

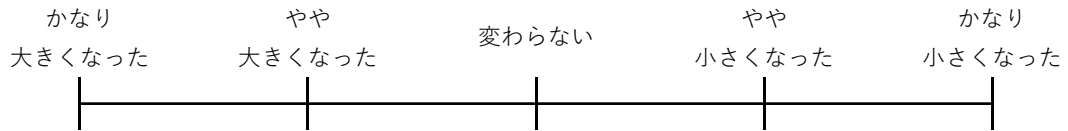


Q7. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

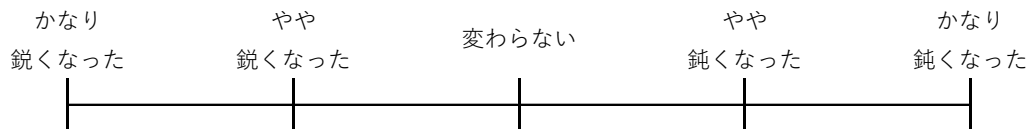
3番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛り
に○をつけて下さい。

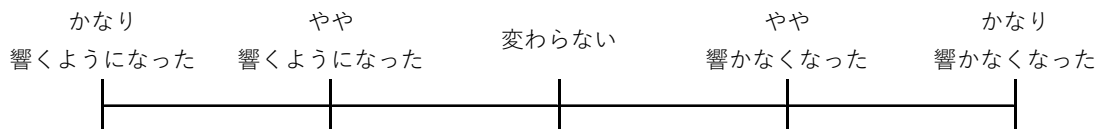
Q1.音の大きさは変わりましたか？



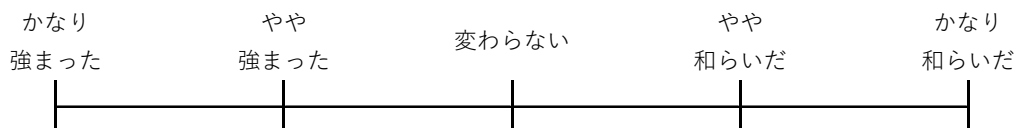
Q2.音色は変わりましたか？



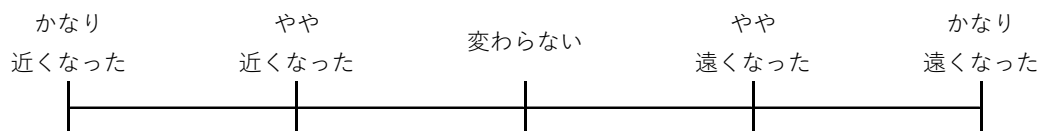
Q3.響きは変わりましたか？



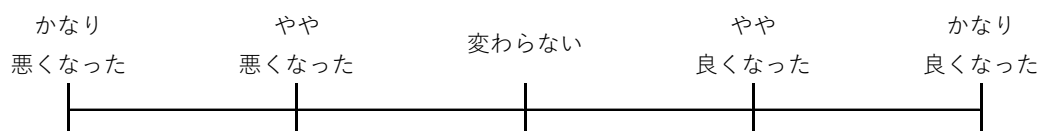
Q4.喧噪感は変わりましたか？



Q5.周囲との距離感は変わりましたか？



Q6.居心地は変わりましたか？

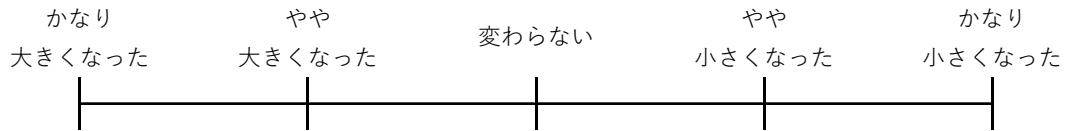


Q7. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

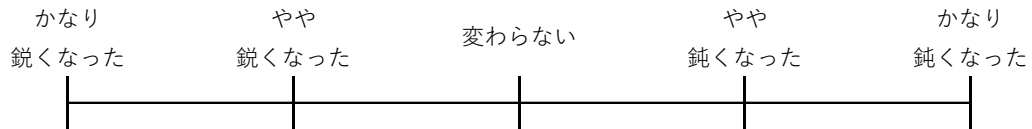
4 番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛りに○をつけて下さい。

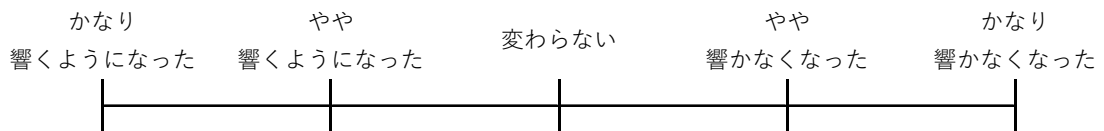
Q1. 音の大きさは変わりましたか？



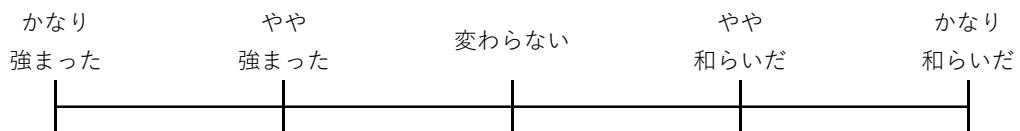
Q2. 音色は変わりましたか？



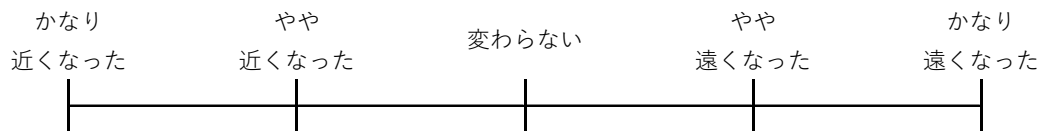
Q3. 響きは変わりましたか？



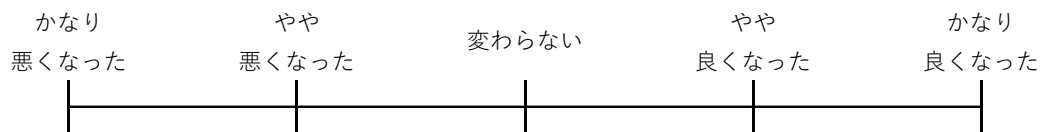
Q4. 喧噪感は変わりましたか？



Q5. 周囲との距離感は変わりましたか？



Q6. 居心地は変わりましたか？

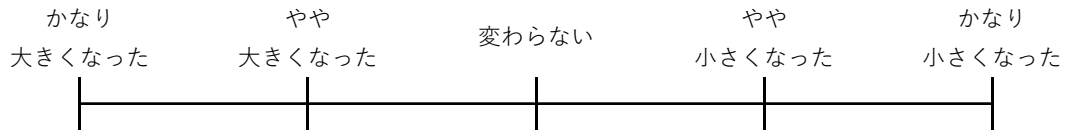


Q7. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

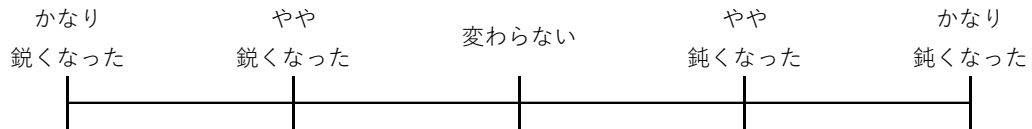
5番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では周囲の音がどのように聞こえたか該当する目盛り
に○をつけて下さい。

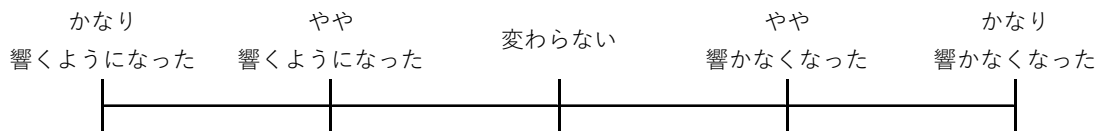
Q1.音の大きさは変わりましたか？



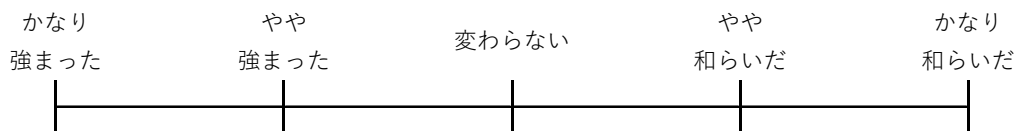
Q2.音色は変わりましたか？



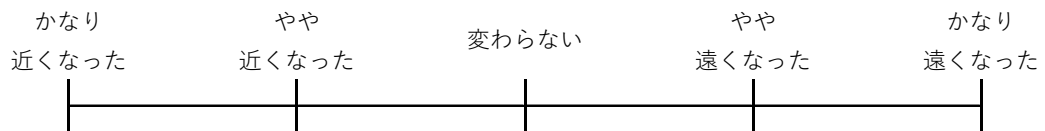
Q3.響きは変わりましたか？



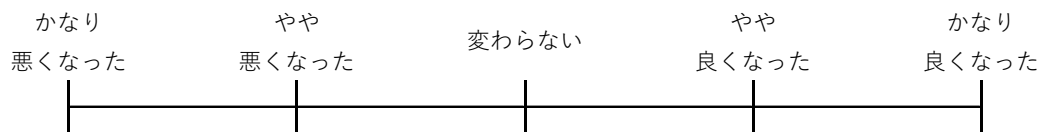
Q4.喧噪感は変わりましたか？



Q5.周囲との距離感は変わりましたか？



Q6.居心地は変わりましたか？



Q7. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書きください。

3. 実験②：ボックスの中で発声した際の自身の声の聞こえ方

この実験では、自身の声の聞こえ方をボックスに入る前と後で評価してもらいます。

● 実験の流れ

先ほどの実験同様、以下4つの手順を1セットとして行って頂きます。

手順1	手順2	手順3	手順4	手順5
椅子で発声 (約7秒)	ボックス内へ 移動・座位 (10秒)	ボックス内で 発声 (約7秒)	ボックス内で 回答 (30秒)	椅子に戻って 着席 (10秒)

● 作業についての注意点

先ほどと同じ

● 発声する文章

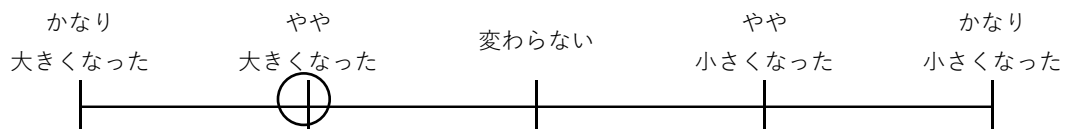
「私は〇〇(あなたの名前)です。只今実験中です。ボックスにいます。」

普段通りの声を出してください。ワンフレーズごとに一呼吸置いてください。

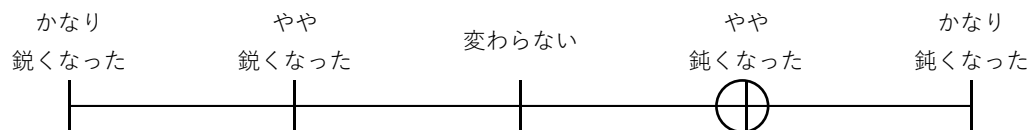
● 評価について

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では声がどのように聞こえたか該当する目盛りに○をつけて下さい。

Q1. 声の大きさは変わりましたか？



Q2. 音色は変わって聞えましたか？



Q3. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書き下さい。

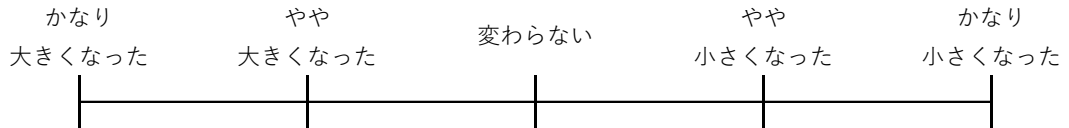
次のページからアンケート用紙になります。

実験②のアンケート用紙

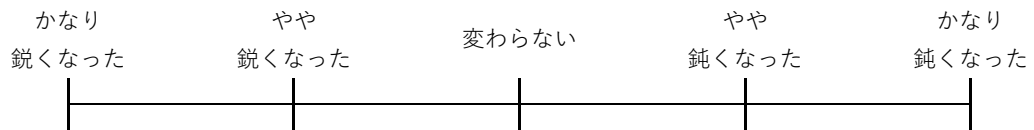
1 番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では声がどのように聞こえたか該当する目盛りに○をつけて下さい。

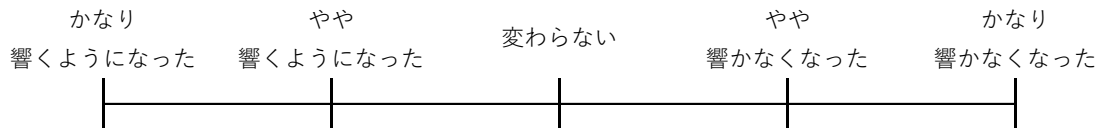
Q1. 声の大きさは変わりましたか？



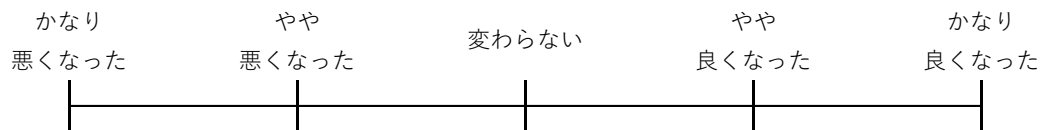
Q2. 音色は変わって聞えましたか？



Q3. 響きは変わりましたか？



Q4. 居心地は変わりましたか？

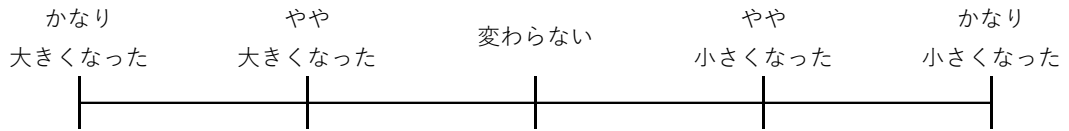


Q5. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書き下さい。

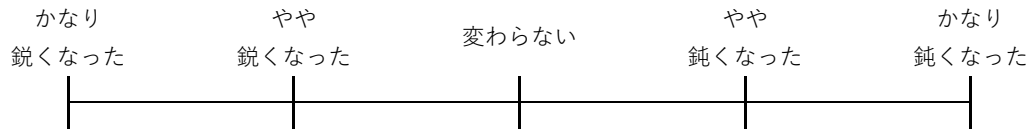
2番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では声がどのように聞こえたか該当する目盛りに○をつけて下さい。

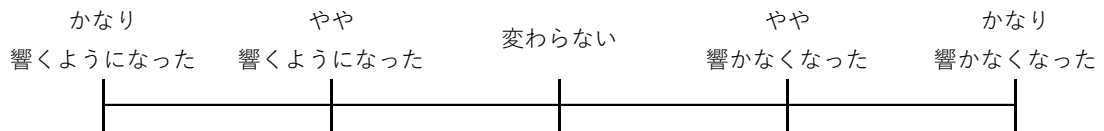
Q1. 声の大きさは変わりましたか？



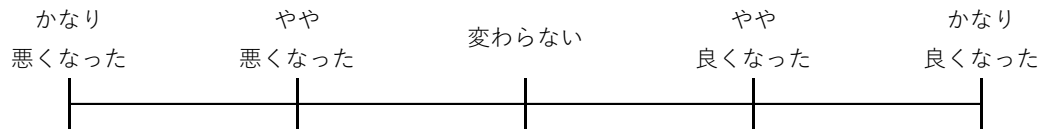
Q2. 音色は変わって聞えましたか？



Q3. 響きは変わりましたか？



Q4. 居心地は変わりましたか？

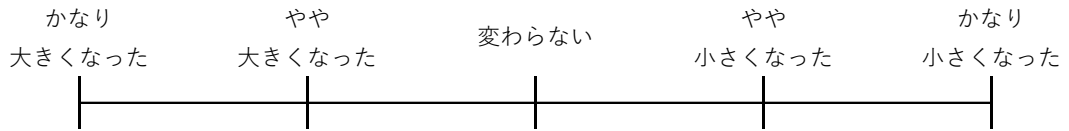


Q5. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書き下さい。

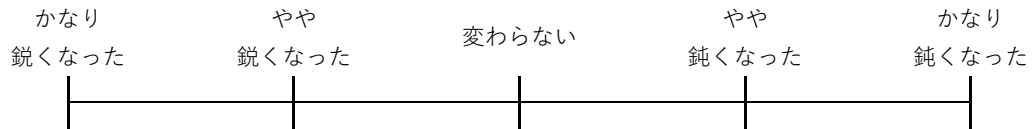
3番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では声がどのように聞こえたか該当する目盛りに○をつけて下さい。

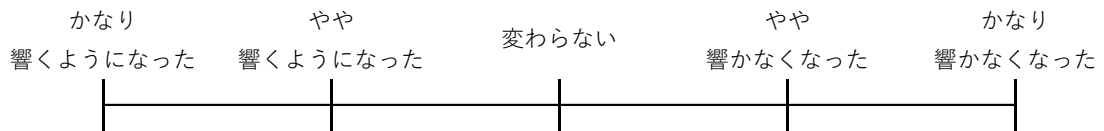
Q1. 声の大きさは変わりましたか？



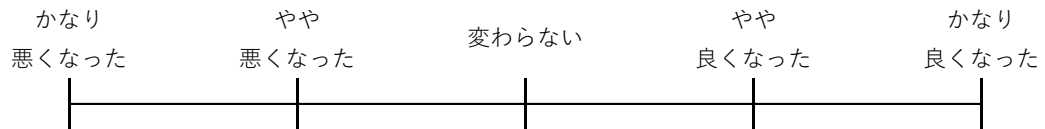
Q2. 音色は変わって聞えましたか？



Q3. 響きは変わりましたか？



Q4. 居心地は変わりましたか？

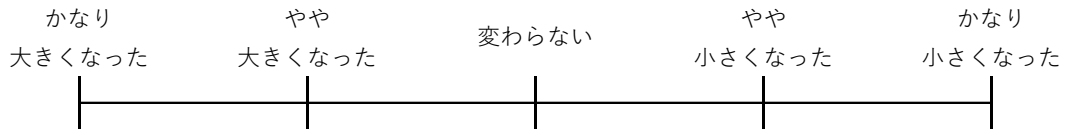


Q5. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書き下さい。

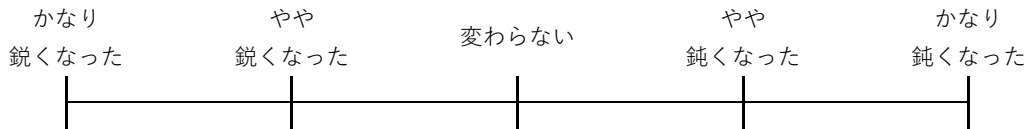
4番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では声がどのように聞こえたか該当する目盛りに○をつけて下さい。

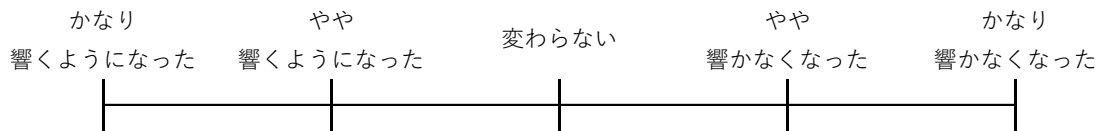
Q1. 声の大きさは変わりましたか？



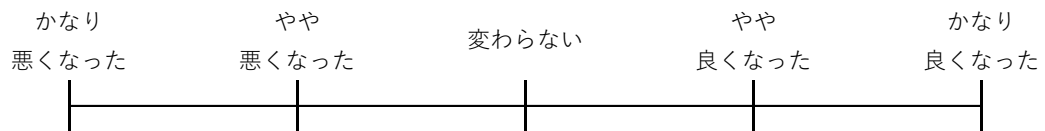
Q2. 音色は変わって聞えましたか？



Q3. 響きは変わりましたか？



Q4. 居心地は変わりましたか？

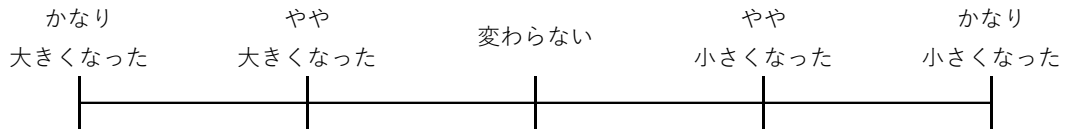


Q5. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書き下さい。

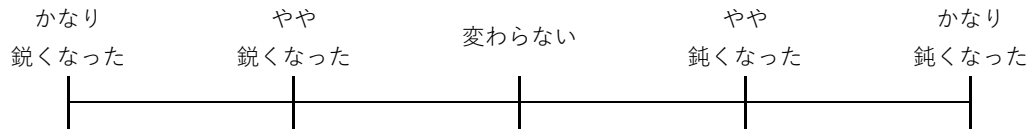
5番目のボックス

ボックスに入る前と比べ、ボックスに入った後では声がどのように聞こえたか該当する目盛りに○をつけて下さい。

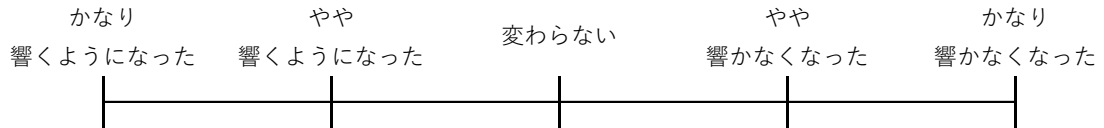
Q1. 声の大きさは変わりましたか？



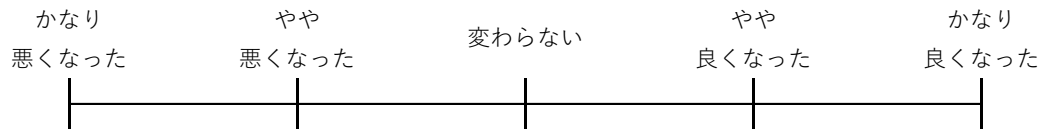
Q2. 音色は変わって聞えましたか？



Q3. 響きは変わりましたか？



Q4. 居心地は変わりましたか？



Q5. その他、気が付いた点・上記設問に対して補足したいことなどがあればお書き下さい。

アンケートは以上になります。ご協力ありがとうございました。