

〔研究ノート〕

## 音響情報提示における音量感を犠牲にしない気中音抑制と 狭間隔音源による広間隔音像定位制御\*

福島 学<sup>\*2</sup>, 沖田 和久<sup>\*3</sup>, 林 友哉<sup>\*3</sup>

**Airborne Sound Suppression without Sacrificing Loudness in Acoustic Information Presentation and  
Controlling the Localization of a Wide-Spaced Sound Image with a Narrow-Spaced Sound Source\***

Manabu FUKUSHIMA<sup>\*2</sup>, Kazuhisa OKITA<sup>\*3</sup>, Yuya HAYASHI<sup>\*3</sup>

<sup>\*2</sup>Department of Media Technologies, School of Engineering, Nippon Bunri University

<sup>\*3</sup>Department of Environmental Engineering and Applied Information Science,  
Graduate School of Engineering, Nippon Bunri University

キーワード：情報提示, 音量, 振動, 狭間隔, 音像

**Keywords** : information display, sound level, vibration, narrow spacing, sound image

### 1. はじめに

インターネットに代表される通信インフラの整備により, 様々なコンテンツが利用されるようになってきている。特に低遅延<sup>[1]</sup>の実現により双方向性に対するニーズに対応する技術の実現が必要となる。このためこれまでに双方向音場共有ネットワーク (ISFN: Interactive Sound Field Network) を提案<sup>[2]</sup>している。ここでは, 物理的に等価な現象再構築を目指す VR (Virtual Reality) に対して, 心理的に等価な再構築を目指すため, 音空間印象の主観評価実験に取組み, 「広い」感に関して制御可能であることを示してきた<sup>[3]</sup>。

このようなシステムを社会実装するには, 利用環境の条件への適用が必要となる。特に集合住宅においてはリモート接続により多様な目的を同一室空間で利用する。これは, 例えばコンサートのような周囲への配慮が設計<sup>[4]</sup>に盛り込まれている空間で実施するものを, 想定音量がはるかに小さいアパートの1室に再現するようなものである。このため, 生活音ですら騒音苦情の要因となる環境において問題の要因を増やすことになる。一方, リモートでコンサートに参加している人からすると, 周囲への配慮の結果, 満足できない体験しかできないこととなる。

このような問題は, 発生する音響エネルギーに対し, 室外部への遮音性能<sup>[5]</sup>の問題である。しかし, 遮音性

\*2022年7月15日受理

\*2 日本文理大学工学部情報メディア学科 教授

\*3 日本文理大学大学院工学研究科環境情報学専攻 大学院生

能はコストおよびメンテナンスの問題のため、日常生活を想定する室をコンサート等の大音量を想定することは現実的ではない。そこで、発生する音響エネルギーを抑制しつつ、音響エネルギーとして提示される音響情報の受信者が満足できる音量感を感じることの出来る技術を考える。

ここではこの問題のうち、空気を伝搬して耳で知覚する気中音のエネルギーを抑制する方法と、空間マスキング<sup>[6]</sup>により放射エネルギーを抑制する方法について検討する。

## 2. 音量感を犠牲にしない気中音抑制

### 2-1 基音知覚

人は倍音構成となる、例えばド( $4f_0$ )ミ( $5f_0$ )ソ( $6f_0$ )の和音を聴くと、提示されていないはずの基本周波数( $f_0$ )を知覚する。この現象を「Missing Fundamental」という<sup>[7]</sup>。これを考えるために、時間波形(左側)とその振幅スペクトル(右側)を図1に示す。図の1段目に純正律の「ド(C4)」で周波数が264Hz、2段目に「ミ(E4)」で周波数330Hz、3段目に「ソ(G4)」で周波数396Hz、4段目に上3段を合成した「和音(ドミソ)」が提示されると、基本周波数(1段目から3段目の最大公約数(Greatest Common Divisor)の周波数 $f_0=66\text{Hz}$ )を知覚することを意味している。時間波形(左側)は横軸に時間、縦軸に振幅、図の右側はFFTで求めたスペクトルから導出した振幅スペクトルであり、横軸に周波数、縦軸に振幅をdBで示している。

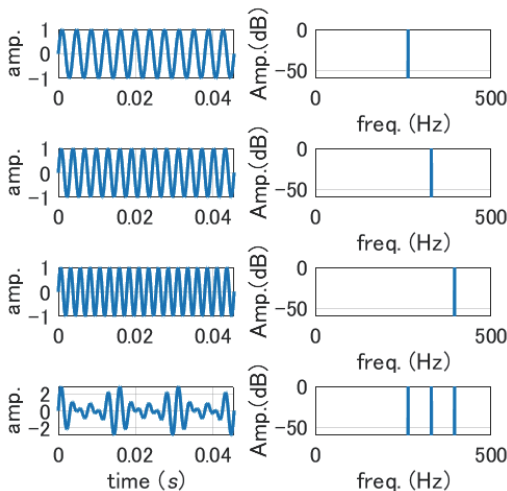


図1 純正律 ド(1段目)ミ(2段目)ソ(3段目)3和音(4段目)の時間波形と振幅スペクトル

図1は、1段目の「ド」よりも2段目の「ミ」、さらに3段目の「ソ」の周期(繰り返し1回分の時間)が短くなっており、周期の逆数である周波数が高くなる、すなわち音高(音の高さを表すもので俗称では「音程」と言う)が上がっていることを示している。

図1の4段目の時間波形は、図横軸の表示時間区間(0.0455(s))内に3回の繰り返しを示している。この周期(0.0152(s))の逆数が66Hzであることから、包絡線の周期を知覚していると考えられる。図1はFFTで求めたスペクトルを使用しており、FT(Fourier Transform: フーリエ変換)が、純音(単一周期の正弦波)の和で構成された複合音から、合成されている純音の大きさと周期を求める手法であり、図1の4段目左側に示す搬送波と包絡線の積で構成された複合音に対応していないため $f_0$ が存在しないかのようなグラフとなっている。

一方、純音の和で構成される複合音において必ずしも基本周波数(Fundamental Frequency)を知覚しない<sup>[8]</sup>ことも報告されている。これは、純音を合成した複合音において、和の関係のみを分析するFFTでは検出できない周期信号が存在することを示唆している。

そこで最初にドミソを式で考えることとする。ドミソは、 $f_0 = 66 \text{ Hz}$ としたときに、各周波数 $f_k$ は、

$$\text{ド} \quad f_1 = 4f_0 \quad (1)$$

$$\text{ミ} \quad f_2 = 5f_0 \quad (2)$$

$$\text{ソ} \quad f_3 = 6f_0 \quad (3)$$

となる。すなわち、式(1)から(3)からなる和音は、

$$\sin(2\pi 4f_0 t) + \sin(2\pi 5f_0 t) + \sin(2\pi 6f_0 t)$$

$$\text{但し、} t \text{ は時間、} \quad (4)$$

となり、式(4)は加法定理に基づき、

$$\begin{aligned} &= \sin(2\pi 5f_0 t) \\ &\quad + \sin(2\pi f_0 t(5-1)) + \sin(2\pi f_0 t(5+1)) \\ &= \sin(2\pi 5f_0 t) + 2\sin(2\pi 5f_0 t) \cos(2\pi f_0 t) \\ &= \sin(2\pi 5f_0 t) \{2 \cos(2\pi f_0 t) + 1\} \end{aligned} \quad (5)$$

となる。式(5)は和音が、ミ( $5f_0$ )を搬送波、 $f_0$ を包絡線とする積であることを示している。図2に式(5)最終式第一項の搬送波(1段目:左側が時間波形、右側が振幅スペクトル)、式(5)最終式第一項以降( $\{ \}$ の内側)の包絡線(2段目)、式(5)最終式(3段目)を示す。

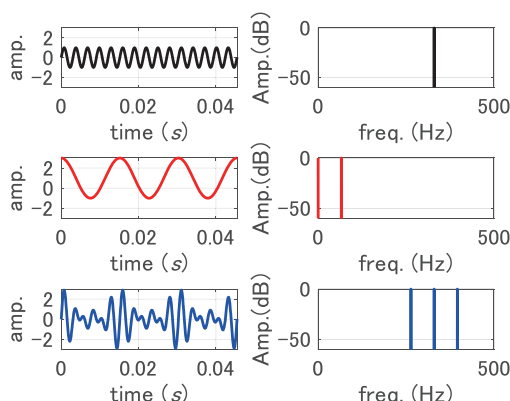


図2 搬送波（1 段目）包絡線（2 段目）3 和音（3 段目）の時間波形と振幅スペクトル

図1の4段目と図2の3段目が等しいことから、式(5)が正しいことと、FFTでは積で構成される波形を和の関係にしたものしか求めることができないことが確認できる。そこで、図2の3段目の時間波形（左側）を改めて図3に拡大表示し、時間領域の構造を確認する。図の青線が図2の3段目左側に示した和音の時間波形である。図の横軸は時間、縦軸は振幅を示している。式(5)の最終式第一項以降で示される包絡線を赤線で示す。この時、包絡線

$$2 \cos(2\pi f_0 t) + 1 \quad (6)$$

において  $\cos$  は  $\pm 2$  の値域（値の範囲）であるのに対し、オフセットが1, すなわち過変調であることがわかる。赤線の符号反転波形を緑線で示す。ここで着目すべき赤線と緑線が交差する過変調の範囲を黒四角枠で示す。

図3の黒四角枠は、青線で示した搬送波が過変調により符号反転を生じていることを示している。そこで包絡線を、プラスの領域と、過変調により生じるマイナスの領域に分けてそれぞれの性質を考える。

図4の1段目左側に搬送波、2段目左側に包絡線のプラスの領域、3段目左側に包絡線のマイナスの領域、4段目左側に1段目と2段目の積と、1段目と3段目の積、を加算した時間波形を示す。この時間波形は図3の青線で示した和音の時間波形と同じである。

時間領域の積は周波数領域で畳み込みとなる。そこで、1段目右側に示す搬送波のスペクトルに、1) 2段目右側の包絡線プラス領域のスペクトルを畳み込み、2) 3段目右側の包絡線マイナス領域のスペクトルを畳み込み、両者の和を4段目右側に振幅スペクトルとして示す。これは、FFTにより求めた振幅スペクトル

と異なり、時間領域の積と対応する周波数領域の畳み込みで求めたものである。

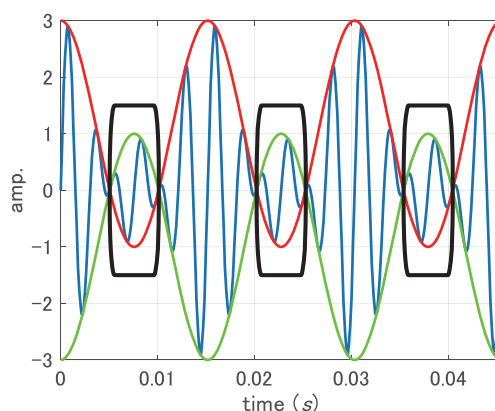


図3 3 和音の時間波形と包絡線

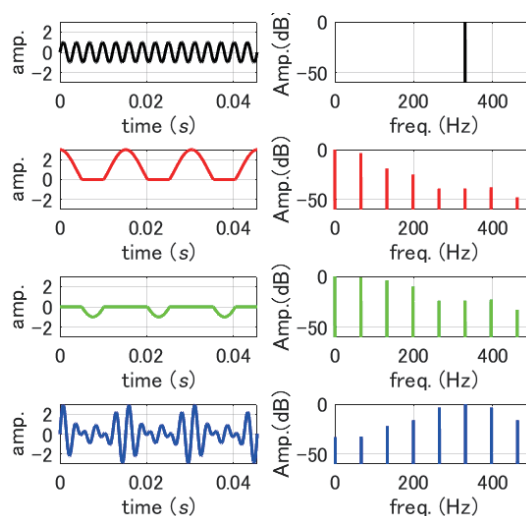


図4 搬送波（1 段目）振幅が正の包絡線（2 段目）振幅が負の包絡線（3 段目）3 和音（4 段目）

図4の4段目右側に示した振幅スペクトルが正しいことを確認するため、1) 周期を正確に推定する PLATE 法<sup>[9]</sup>で周期検出し対応を調べる、2) 主観評価実験により知覚される周波数を調べる<sup>[10]</sup>、を行う。

図5の1段目に再び図4の4段目右側の振幅スペクトルを示し、2段目に PLATE 法で検出した周期の逆数から求めた周波数を横軸上に  $\times$  で示す。図5の3段目に音高探索として、ピッチ知覚と同様に和音と純音を提示し同等と判断される純音を調べた結果のヒストグラムを示す。ここでは周波数探索範囲を48Hz（発振機の下限周

波数) から170Hzとしている。図5の1段目から3段目の横軸は周波数を示し、1段目の縦軸は大きさをdBで、3段目の縦軸は音高探索で回答された回数で示す。

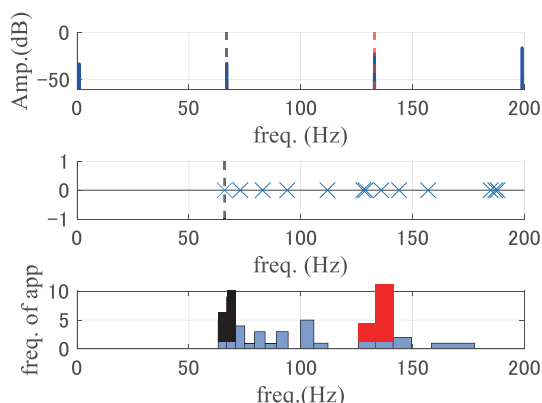


図5 3和音の振幅スペクトル(1段目), PLATE法で検出した周期の逆数から求めた周波数(2段目), 音高探索結果のヒストグラム(3段目),

図5の1段目は、66Hzの位置に黒破線と132Hzの位置に赤破線を示しており、2段目は66Hzの位置に黒破線を示す。図5の3段目は1段目と対応する箇所を黒と赤で塗りつぶしている。

以上のことから、式(6)に示した包絡線のスペクトルを知覚していると判断する。

## 2-2 振動提示による音圧抑制

人が基本周波数( $f_0$ )を知覚していることが明らかとなった。空气中に放射される音(気中音)は、両耳で信号を受け取るため、信号の位相スペクトルが変化すると音色が変わって感じることもある。しかし、低周波は振動として感じる事ができ、接触により知覚する振動において、位相差の知覚感度は高くない。それでも人が受け取るエネルギーが知覚量として等しくなるならば、低周波振動を提示することで気中音の音圧エネルギーを低下させても、人は同等の音量感を知覚することが考えられる。

気中音は例えば賃貸アパート等における騒音問題の要因となる。振動を直接人に提示するならば、それによる振動騒音の可能性が低くなる。すなわち、気中音の音圧エネルギーを抑えつつ受聴者の音量感が損なわれないならば、コンサートやライブ会場、映画館といった大音量で提示される場所と同等の音量感を味わえる。

この発想に基づき、ボディソニックという製品があ

り、現在も聴覚障がいの方が音楽やリズムを楽しむことの出来る装置として活用がなされている<sup>[11]</sup>。しかし、これらでは音源をフーリエ変換しローパスフィルタ通した低周波成分を振動として提示している。このため、図1の4段目右側の低域部分のみを提示することになり過変調の元となる音源が存在しないため、図4の4段目右側の低域(過変調により発生する周期)が提示できていない。

そこで、ここでは基本周波数を振動として提示することで、気中音圧レベルを抑えることが可能であるかを調べる。

実験は主観評価実験を行う。刺激は2種類で、気中音として3和音、振動として3和音の $f_0$ である。3和音はドミソである式(1)(2)(3)の周波数で構成され、合成すると式(4)となり、 $f_0$ は66Hzである。このとき、刺激の長さはそれぞれ2秒間、振幅は $10^{-1}$ 、 $10^{-0.5}$ 、 $10^0$ 、と対数で3段階とし、計9個の刺激とする。

振動を再生するため図6に示す振動板を作成した。材質はアクリル板を使用しており、寸法70mm×120mm、厚さが3mmである。

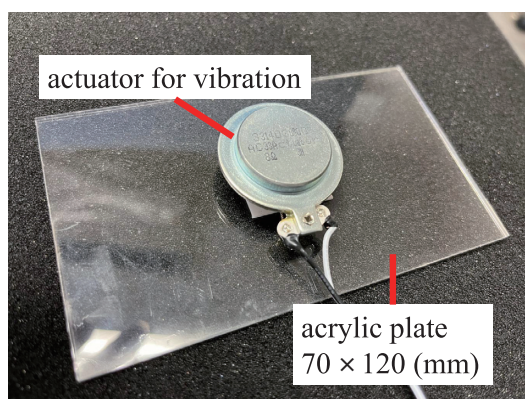


図6 振動板(アクリル板とアクチュエータで構成)

実験協力者は、図7に示すように機器を装着する。3和音の気中音(sound)はヘッドホンにより提示し、振動(vibration)は図7赤丸で示す胸下に図6の振動板をベルトで装着する。

主観評価実験の回答は一対比較法2者強制選択法で行う。対で提示される刺激のいずれが「大きいか」を回答する。計4名の実験協力者で実験を行った結果を図8に示す。横軸は気中音(3和音)のエネルギーをdBで、縦軸は振動のエネルギーをdBで、丸の大きさは選択頻度(数値は選択度数)、である。図中青線は振動刺激の



図7 機器の装着状況

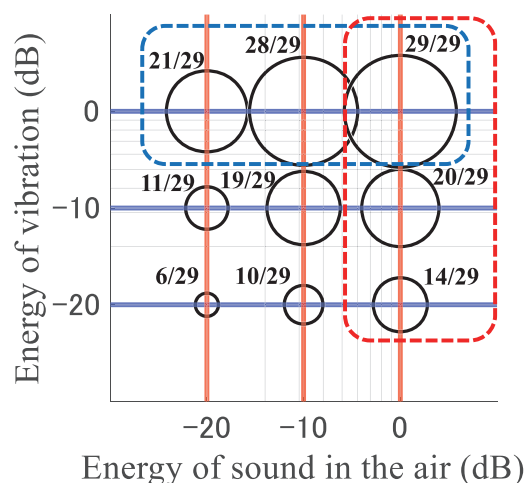


図8 主観評価実験により得られた選択度数  
(横軸：気中音のエネルギー，縦軸：振動のエネルギー，丸の大きさ：選択頻度)

エネルギーが等しい箇所，赤線は気中刺激のエネルギーが等しい箇所，青破線枠は同一振動エネルギーにおける気中音エネルギーが変化する範囲，赤破線枠は同一気中音エネルギーにおける振動エネルギーが変化する範囲を示している。

図8は，青破線枠における気中音エネルギーが低下したときの選択度数の変化が，赤線枠における振動エネルギーを低下した時の選択度数の変化に比べて少ないことを示している。破線枠以外においてこれが全て成立している。図8の気中音と振動の大きさが共に最大（0 dB）である刺激が29回と最も選ばれているが，気中音の大きさのみを10dB下げ振動の大きさはそのまま（0 dB）である刺激は28回選ばれており，気中音を10dB下げても両者が最大の時と同等の選択回数を示している。

これらのことから基本周波数を振動として提示することで，気中音を10dB抑制しても同等の音量感が得られることが明らかとなったと判断する。

### 3. 音像定位制御

#### 3-1 音像形成阻害要因と制御

音響情報提示において，気中音の音圧エネルギー（音量）を下げて基本周波数を振動で提示することで音量感が損なわれないことが分かった。

さらに気中音の音圧エネルギーを低下する方法として，空間マスキング<sup>[12]</sup>がある。これは，同一方向から到来する音響エネルギーにおいて小さな音が大きな音によりマスク（聞こえなくなる）されるものである。単耳

マスキングはMPEGにおける情報圧縮<sup>[13]</sup>でも用いられているものである。これを拡張すればさらに気中音エネルギーを抑制できると考えた。

そこで音の到来方向を制御する音像定位制御に着目する。

両耳聴による空間把握は，両耳時間差およびレベル差により形成される音像<sup>[14]</sup>により音源および反射物を，響きの長さや特徴から室の容積<sup>[15]</sup>や概形を知覚<sup>[16]</sup>する。このことから，音響的に空間を再構築するには，反射を含む音源と室印象の提示が必要となる。キルヒホッフ積分を基本原理とする音響場<sup>[17]</sup>では，この両者を境界面の記録と再構築で行うものである。しかし，設備的に大規模となり，気中音エネルギーの抑制が必要な賃貸アパートでは実現が難しい。

そこでここでは空間把握の内，音像に着目し，小規模かつ外来雑音や近傍壁面等による音環境変化に頑強な音像定位制御を考える。またここでは，ヘッドホンやイヤホンが，装着ストレスや難聴の危険性を持つ<sup>[18]</sup>と指摘されていることから，トランスオーラル（外部スピーカによる音響情報提示）で考えることとする。

トランスオーラルで音像を定位するには，本来音源が所定の場所にある場合に両耳に届く音響現象を両耳で形成すれば良い。しかし，トランスオーラルでは，1つのスピーカから放射された音響信号は両耳に届いてしまう。すなわち，図9に示すように，右耳（ear R）で形成すべき信号を右のスピーカ（Sp R）から放射しても，赤の破線を通して左耳（ear L）に届いてしまう。この

目的外の耳に届く伝送路をクロストーク（図9中の赤破線）と言い、電話における混線（他の人の通話が聞こえる現象）と同じである。このクロストークが音像の定位位置を妨害する。

このクロストークをキャンセルするには、左耳に届く右スピーカの音を打ち消す（符号反転信号）を制御スピーカ・左スピーカ（Sp L）から放射しなければならない。しかし、左スピーカから放射された制御信号は、青破線を経由して右耳に届くクロストークを生じる。このため、スピーカと耳の伝送特性を計測し、キャンセルする方法が提案されている。しかし、これは伝送路における逆関数問題であるため、系の特性変化に脆弱である。

このため、目的地点に指向性を持つスピーカの利用<sup>[19]</sup>や、スピーカアレイによる波面合成<sup>[20]</sup>を行う方法が提案されている。その1つが音響樽である。

いずれの手法も図9に示すクロストーク制御信号  $h_c(t)$  をいかに構成し、環境変化に頑強な音像定位制御方式とするかが課題である。

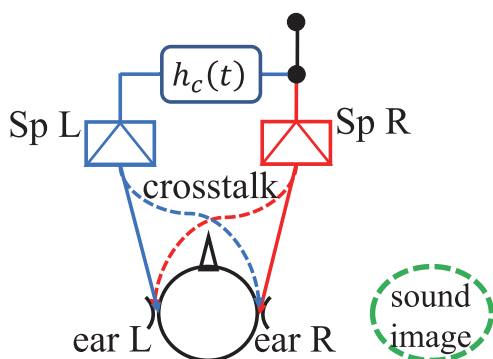


図9 定位を妨害するクロストーク（赤と青の破線）とフィルタ  $h_c(t)$

### 3-2 AVS方式

これまでの音像定位制御が物理特性から定位制御を試みているのに対し、人が定位を感じた際のパラメータを利用するのがAVS (Adjustable Virtual Surround) 方式である<sup>[21]</sup>。この方式は図9が伝送路に着目しているのに対し、図10に示すように片側チャンネルから制御信号を放射するシンプルなものであり、聴知覚が音量差 (ICLD: Inter Channel Level Difference) と時間差 (ICTD: Inter Channel Time Difference) であることからこの2パラメータを音像が所望の位置に定位するように調整する方法である。

パラメータ探索は聴覚の臨界帯域幅が1/4オクター

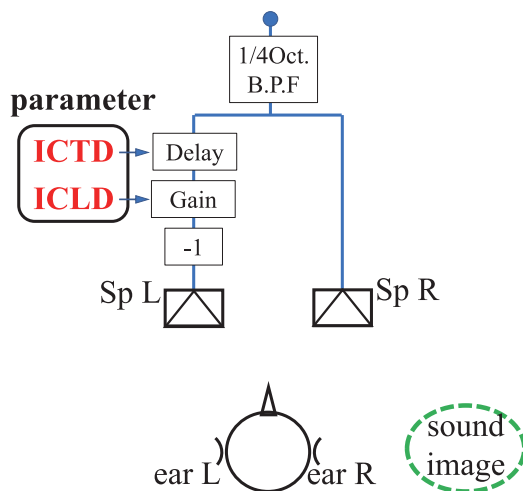


図10 AVS方式の基本処理

ブバンドである<sup>[22]</sup>ことから、1/4オクターブバンド毎に事前に行う。探索には帯域バンドパルスや帯域バンドノイズを試験音として使用する手法が提案されている<sup>[23]</sup>。これまでに主観評価実験により事前に探索したパラメータを探索時と異なる近傍壁面での反射がある環境下でも狭間隔に配置した音源の位置条件が同じであれば、音像定位が安定することが確認されている<sup>[24]</sup>。

従来法で課題だった逆関数問題を生じず室および周辺反射音環境に頑強な手法であるが、人の聴知覚に基づく手法であるため、音像定位のメカニズムについて解明されていない点がある。

これまでにメカニズムの一部で両耳に到達する信号は音源が定位位置に存在している時の信号と必ずしも一致せず、人が誤って知覚してしまう「錯聴」による定位制御である可能性が示唆されている<sup>[25]</sup>。このため、AVS方式における定位の要因をさらに調査し解明する必要がある。

### 3-3 定位角制御要因解明の取組

AVS方式のパラメータを探索し、その時の定位音像角と両耳計測信号を記録する。図11は実験時の機材配置図を示しており、図12には実際の実験環境を示している。ダミーヘッドを聴取者の頭部と見立て、ダミーヘッドの両耳位置(図12赤丸)にイヤホンマイクを装着した。反射によって探索結果に影響を与えることを抑えるため壁面や床面には吸音材を設置した。またダミーヘッド及び2スピーカ間の中心を室内の対角線上を通るように設置した。各スピーカからダミーヘッド中心までを1m

離し、両スピーカの開き角は $50^\circ$ とした。入力及び計測信号のサンプリング周波数は44.1kHzとした。

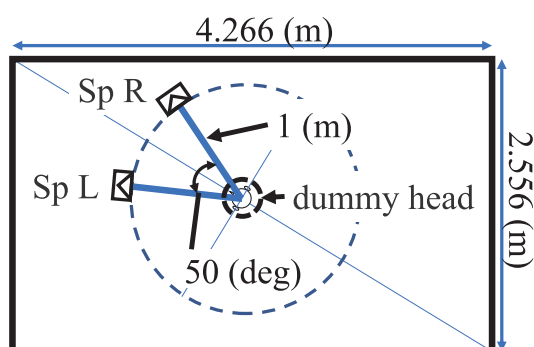


図11 実験時の機材配置図

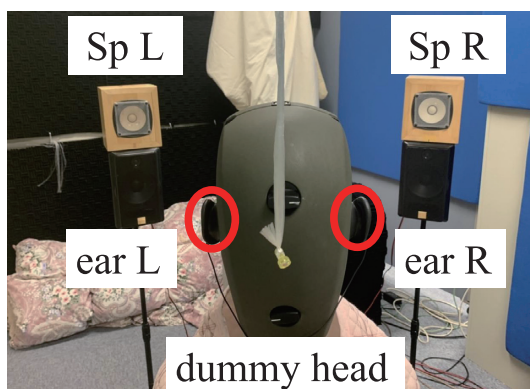


図12 実験時の様子

今回は側方定位時のパラメータだけでなく、異なる定位角についてもパラメータを探索することで側方定位と横方向定位との比較を行う。今回探索した帯域は中心周波数500Hzである。図13に、音像マップに記録した定位音像角（黒丸）と角度に対応するパラメータを示す。音像マップには音像の位置を記録しやすいように $0^\circ$ から $15^\circ$ 刻みで $120^\circ$ まで①～⑧までのマーカを設けた。スピーカは図中のマーカ番号①と②の間に位置する。記録した音像定位角は3つであり、最も側方に定位したのは $90^\circ$ で、最も正面に近く定位したのは $30^\circ$ であった。パラメータについて見てみると定位角が変わるごとに ICTD と ICLD とともに変化している。特に ICLD の変化が顕著である。

図14に音像定位角ごとの両耳計測信号の時間波形を示す。図は上段に左耳位置、下段に右耳位置で計測した信号をそれぞれ横軸に時間（秒）、縦軸に振幅（6つの信

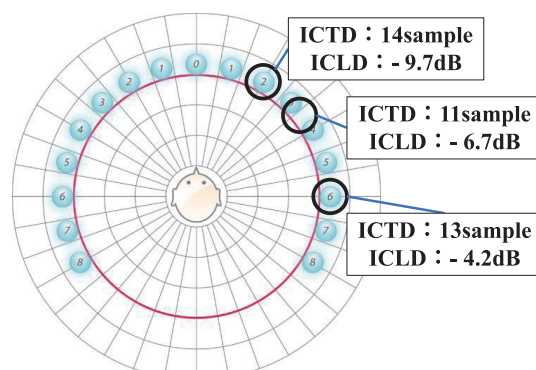


図13 中心周波数500Hz 帯域のパラメータ探索結果

号の最大値で正規化）で表示している。図中の黒破線で囲った箇所を定位角ごとに比較すると、 $90^\circ$ 定位時は左耳より右耳の振幅が大きいのにに対して、定位が正面に近づくにつれて右耳の振幅は小さくなっている。この変化が定位角の制御に影響を与える要因の一つであると考えられる。

定位角の違いによってパラメータ及び両耳計測信号の変化が見られた。特に放射エネルギーと関連するレベルの変化が顕著に表れており、気中音の抑制に繋がることが確認できた。引き続きパラメータや帯域、受聴者等を変えて調査を進めていく。

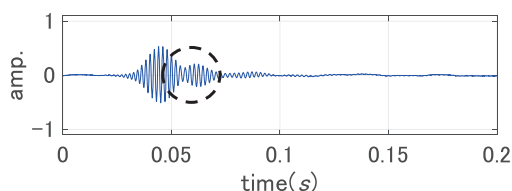
#### 4. おわりに

通信インフラの整備に伴うコンテンツの多様化は、低遅延の実現によりさらにその可能性を高めている。その中の1つに種々のイベントを仮想的に体験するインタラクティブエンタテインメントが含まれている。

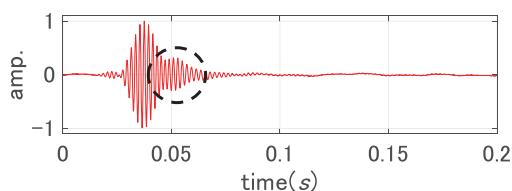
しかし、音響設計された室であれば周囲への騒音問題を生じないが、自室を用途に応じて使い分ける場合、日常生活を想定した室において同等の刺激提示が必要となる。これは騒音問題の要因となり、日常生活に支障をきたすことが考えられる。

そこで本稿では、空気中を伝搬する音（気中音）のエネルギーを利用者が感じる音量感を損なうことなく抑制する技術として、1）空気を伝搬して耳で知覚する気中音のエネルギーを抑制する方法、2）空間マスキングにより放射エネルギーを抑制する方法、について検討した。

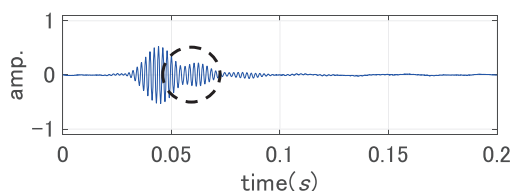
検討の結果、気中音とならずまた室外部に伝搬することのない装着型振動板により振動エネルギーを提示することにより、気中音のエネルギーを10dB抑制しても同



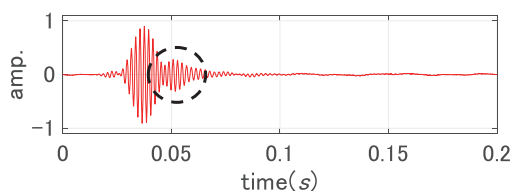
(a) 90° 定位時の両耳計測信号



(b) 55° 定位時の両耳計測信号



(c) 30° 定位時の両耳計測信号

図14 定位角ごとの両耳計測信号  
(上段：左耳，下段：右耳)

等の音量感となることを明らかとした。また、音像定位制御として、室内反射等の一般に音像定位を阻害するといわれる要因に対してロバストな AVS 方式において、定位要因の一部が明らかとなった。

#### 参考文献

- [1] 徳差雄太, 松谷健史, 空閑洋平, 村井純, "低遅延により自然な遠隔コミュニケーションを実現する映像配信システムの提案", 情報処理学会, マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, pp. 911-917, vol. 2013, 2013-07-03
- [2] 通信・放送機構: ISFN (Interactive Sound Field Network) の研究 (研究開発), 1998年7月~2003年3月
- [3] 八子勲, 福島学, 柳川博文, "双方向音場共有ネットワーク (ISFN: Interactive Sound Field Network) 構築のための音場表現語の選定・類別と音場表現語「広い」に対する知覚量の制御", R&D 研究開発報, 株式会社パイオニア, pp. 1-11, No. 3, 2001
- [4] 橋秀樹, "室内音響測定の実状と今後の課題", 日本音響学会誌49巻, 2号, pp. 97-102, 1993
- [5] 木村翔, 安岡正人, "建築物の遮音性能基準 (JIS 案) について", 日本音響学会誌, 32巻, 10号, pp. 647-661, 1976
- [6] 加藤巧大, 西口正之, 渡邊貫治, 高根昭一, 安倍幸治, "聴覚の空間的マスキング効果を考慮した3D音響信号の符号化に関する基礎検討", 信学技報, vol. 118, no. 495, EA2018-145, pp. 271-278, 2019年3月
- [7] Wikipedia, "Missing fundamental", [https://en.wikipedia.org/wiki/Missing\\_fundamental](https://en.wikipedia.org/wiki/Missing_fundamental), (2022年6月21日)
- [8] 大串健吾, "複合音の高さの知覚形成のメカニズム", 日本音響学会誌, 32巻 (5号), pp. 300-309, 1976
- [9] 長瀬翔太, 他, "位相情報に着目した高解像度周波数分析法 (PLATE) の提案", 日本音響学会, 1-P-40, 2018.
- [10] 林友哉, 沖田和久, 伊藤毅登, 福島学, 松本光雄, 風間道子, 柳川博文, "和音 (3音) の非整数比と整数比によるピッチ知覚に関する一検討", 日本音響学会, 日本音響学会2022年春季研究発表会講演論文集, 2-1P-5, 2022

- [11] Pioneer, "身体で聴こう音楽会とボディソニックについて", <https://jpn.pioneer/ja/corp/sustainability/karadadekikou/about/>, (2022年6月16日)
- [12] K. Saberi, L. Dostal, T. Sadralodabai, V. Bull and D. R. Perrott, "Free - Field Release from Masking", *J. Acoust. Soc. Am.*, 90 (3), pp. 1355-1370, 1991
- [13] 興子田未踏, 中沢誠, 山崎芳男, "空間的マスキングを用いた高能率符号化", 日本音響学会講演論文集, 1-8-10, 1998
- [14] イェンス ブラウエルト, 森本政之, 後藤敏幸, "空間音響", 鹿島出版会, pp. 129, 1986
- [15] Schroeder, Manfred R., "New method of measuring reverberation time.", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 37, pp. 409-pp. 412, 1965
- [16] Dokmanić, I., Parhizkar, R., Walther, A., Lu, Y. M., & Vetterli, M., "Acoustic echoes reveal room shape", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110 (30), pp. 12186-pp. 12191, 2013
- [17] 伊勢史郎, "没入型聴覚ディスプレイ「音響樽」", 日本バーチャルリアリティ学会誌, 25巻(2号), pp. 7-pp. 12, 2020
- [18] WHO, "1.1 billion people at risk of hearing loss", <https://www.who.int/vietnam/news/detail/10-03-2015-1.1-billion-people-at-risk-of-hearing-loss>, (2022年6月13日)
- [19] 前田久美, "超指向性スピーカのチャンネル間レベル差による音像制御", 三重大学, 2013
- [20] 木村敏幸, 勝本道哲, 寛一彦, "波面合成法を用いた立体音場再生における合成音像定位モデル", 情報処理学会研究報告音楽情報科学(MUS), 2007巻(81号), pp. 73-pp. 80, 2007
- [21] Takeshi Shiraishi, Kazuyuki Nishimura, Hirofumi Yanagawa, and Manabu Fukushima, "Expanding sound image localization by using narrowband inter-channel time and level differences", *Proc. of AES 13th Tokyo Regional Convention*, July, 2007
- [22] 氏原淳一, 境久雄, "聴覚神経系の側抑制と臨界帯域の関連", 日本音響学会誌, 29巻(6号), pp. 339-pp. 346, 1973
- [23] 西村一行, 白石健, 高岡創, 棚原憲照, 福島学, 柳川博文, "音像定位領域拡大手法における試験音の比較検討～狭帯域パルスと狭帯域ノイズの比較検討～", 日本音響学会秋季研究発表会, 3-P-24, 2007
- [24] 高岡創, 棚原憲照, 西村一行, 白石健, 福島学, 柳川博文, "反射のある室における狭帯域 ICTD および狭帯域 ICLD による音像定位領域拡大手法の実験的検討", 日本音響学会秋季研究発表会, 3-P-23, 2007
- [25] 沖田和久, 林友哉, 上原正志, 加藤弘士朗, 福島学, 松本光雄, 柳川博文, "AVS 方式におけるパラメータ探索結果と両耳マイク計測信号の関係調査", 日本音響学会, 日本音響学会2022年春季研究発表会講演論文集, 2-1P-2, 2022
-