

第108回CIS研究所パートナー会議事録(一般様用)

開催日: 2021年5月30日(日)
場所: CIS会議室 13時~16時
講師: 寺川 雅嗣 様
テーマ: また帰ってきた音の話

CIS研究所パートナー会議は可能な限り、事務所での会議を目指してまいりましたが、COVID19禍のため方針変更せざるを得ない状況のため、COVID-19 ワクチン接種 2回全員接種済まで、ZOOM利用のTV会議とさせて頂いて折ります

システム構築は、PC上にZOOMに接続で進めました。



テレビ会議風景



1 「また帰ってきた音の話」

本日のテーマ「また帰ってきた音の話」の発端は、(寺川さんの)マンションで或る日管理組合から一通のビラが各家に配布されたことから始まりました。その内容は…

回覧の概要:

入居者善人へのお願い
心ある方は守ってください。

- 1) 夜中に騒ぐ人がいます
- 2) 夜中に大きな音でテレビを鳴らす人がいます。
- 3) 夜中に子供が飛び跳ねるような音を立てるような人がいます。

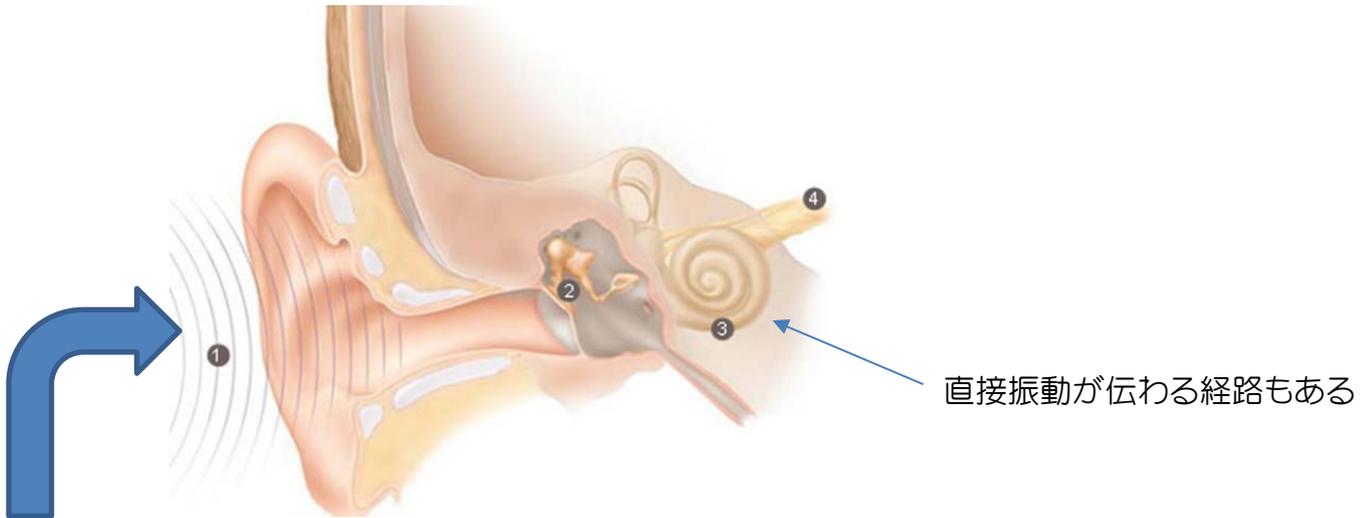
……と続き、心当たりのある人は……というような案内であった。

(以上が本日の話題の背景で、ここからが会議の始まりです)

2 この問題の元凶は「音と振動」である

音と振動について、理解できていないところがあるので、本日の話題として皆さん居討議してもらいたい。

神田さんのテーマから引用



人が音を感じる既知のメカニズム:

1. 音が外耳道に入る
音波が外耳道を通過して、鼓膜に当たります。
2. 鼓膜と耳小骨が振動する
音波は、鼓膜、そして中耳内の 3 つの骨(耳小骨)を振動させます。
3. リンパ液が内耳の中で振動する
振動が伝わると、らせん状の内耳(蝸牛)の中にあるリンパ液が振動し、蝸牛内の小さな有毛細胞を動かします。
4. 有毛細胞は、感知した動きを化学信号に変換し、聴神経に伝えます。
リンパ液の上には、波を感じ取る有毛細胞(3万~4万)がある。
5. 聴神経が脳に情報を伝える
聴神経がこの情報を電気インパルスによって脳に伝え、音として認識されます。

3 今回のテーマは、「音が聞こえる」という事象に注目することとする。

空気中を伝わる音波は縦波であり、横波はない。

直接振動が剛体を伝わってくる音波には縦波と横波がある。

音が聞こえるということは、音波が空気中を伝わってくる音波と、剛体である構造物を介して直接振動が伝わってくる、即ち伝送経路の異なる二種類の音が聞こえることを意味する。

今回は1.による音である「空気中を伝わってくる音波」に絞り考察する。

工学的にはスピーカーを通して電気信号を音波に変換している。

しかし、自然界にある音は上記の剛体を伝搬して構造物を振動させることによる最終的には音波に変換されるものも、人の声やホイッスルのように空気中で作られる多彩な音が存在する。

ここで、日常生活で感じる音についての疑問点をあげてみよう。

何故、セミはあんなにやかましいの？

何で虫の声はあんなに大きな音が出せるの？

周りが静かなので大きく聞こえるだけ？

→ 聴覚には自動ゲイン制御機構がある。

次に、人が置かれている環境で音を感じる心理的な効果も存在する。

マスキング現象とは、簡潔に言うと二つの音が重なっている時に片方の音がかき消されて聞こえなくなる現象です。(→ 聴覚には自動ゲイン制御機構が有る。)

実際には存在している音でも人間には聞こえなくなります。

正確には、妨害音によってある音の最小可聴値が上昇する現象です。

※出典:ナツメ社 中村健太郎 著 図解雑学 「音のしくみ」

カクテルパーティー効果とは、周辺に雑音が多い中から特定の音を取り出す効果です。

パーティーのような騒がしい中で自分が知りたいことのみ聞こえる効果。

聞きたいことに神経を集中させることで雑音の中から聞きたい音が聞こえてきます。

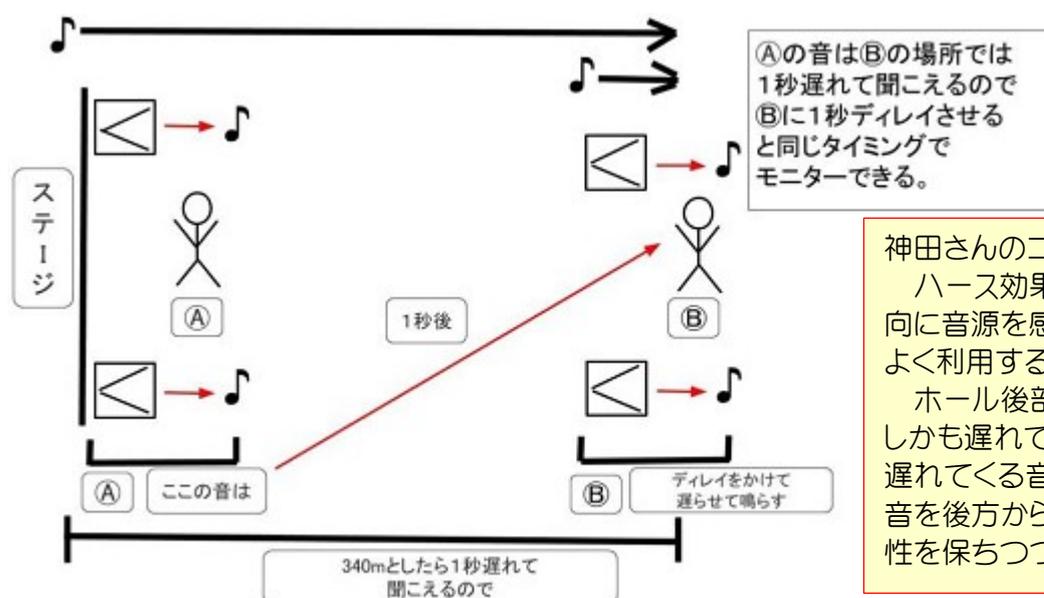
これは心理学的な事と考えられ、未解明とされています。

ある特定の音を録りたいと思った時、自分で聞いたときはその音はよく聞こえたのに、録った音を確認すると周りの雑音が入ってあまり聞こえないことがあります。これもカクテルパーティー効果によるものだと思います。



出典: <https://mjekshinri.com/cocktail/#i>

ハース効果とは、①同じ音が②複数の方向から③同音量で、音が発せられたときに、最も早く到達した音の音源の方向からすべてが聞こえているように感じてしまう現象のことです。



神田さんのコメント:
ハース効果(一番最初に聞こえた方向に音源を感じる)は、ホール音響ではよく利用する。
ホール後部では前からの音は小さくしかも遅れて聞こえるが、前から減衰し遅れてくる音から、わずかに遅らせた音を後方から補助することにより方向性を保ちつつ十分な音量で楽しめる。

出典: https://www.mush-music-school.com/blog_all/recording-13-tsubuki-delay-effect-parameter/

「音」に対する共通理解の確認:

人間が感じることができる音(可聴音)の周波数帯域はおおよそ 20 Hz から 20 kHz であり、音圧の範囲は 20 μ Pa か 20 Pa で、もっとも小さな音ともっとも大きな音との音圧の比(ダイナミックレンジ)は 10**6 にも及びます。

なお、騒音は音の一種であり、人間にとって不快な音を特別に騒音と呼んでいます。人間は、次のような音の物理的な特徴から音の違いを聞き分け、判断していると考えられています。

<音の高さ> 私たちが高い音、低い音といっているもので、主に音の周波数の違いに起因します。閉じ「ア」の音声でも高い声の「ア」と低い声の「ア」がありますが、これは「ア」としての音の、波の形は同じ様でもピッチ周波数が異なるためで、ピッチ周波数が高い音は高く、ピッチ周波数の低い音は低く聞こえます。

<音の大きさ> 同じ音の高さの「ア」という声でも、大きな声の「ア」と小さな声の「ア」がありますが、これは「ア」としての音の、波形は同じ様でも、大きな声の「ア」は振幅が大きく、小さな声の「ア」は振幅が小さいことに主に因ります。

<音色・音質> 私たちは、同じ音の大きさ、同じ音の高さでひかれていた楽器でも、その種類を聞き分けることができます。これは、楽器からでてくる音の音色や音質を聞き分けているからです。音色や音質は、現在でも十分には解明されていませんが、音の波形が微妙に異なることに因ると考えられています。出典:https://www.onosokki.co.jp/HP-WK/c_support/newreport/sound/soundsensor.pdf

<参考>

音の計測単位

通常音を計測する場合、音の周波数特性とその大きさが対象となります。周波数は計測単位として“Hz”が使用されます。音の大きさは、変化の範囲が非常に広いことから対数尺度が使用されます。また、“人間の感覚量は刺激量の対数に比例する”というウェーバ・フェヒナーの法則があり、聴覚も感覚量の一つで、あることから対数尺度が用いられています。

対数尺度の単位としては、アメリカのグラハムベル(Alexander Graham Bell)が電話における電力の電送損失を表すのに最初に用いたことから、ベル(B)が使用されています。

尚、ベル(B)では値が大きすぎるため、その10分の1であるデシベル(dB)が実際には使われています。また、音を扱う世界では、デシベル値を表す言葉として「レベル」を使用します。

「音の大きさ」をデシベル値にしたときは、「音の大きさのレベルは」「何dB」のように表現します。

今、ある音の音圧の実効値を p (Pa)、基準となる音圧の実効値を p_0 (Pa) としたとき、音圧レベル L_p (dB) は次の式で与えられます。

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2}$$

基準音圧 p_0 は、空気中の音の場合 20 μ Pa であり、正常の聴覚を有する人間の1kHzの純音に対する最小可聴値に近い値です。

次の図は音圧 p_0 (Pa) と音圧レベル L_p (dB) との関係を示したもので、音圧 $20 \mu\text{Pa}$ は音圧レベル 0dB 、 1Pa は 94dB 、 20Pa は 120dB に相当します。なお、可聴音ではありませんが、圧力の変動が 0.1 気圧(約 10000Pa)あったとすると、音圧レベルでは 174dB となります。



騒音の種類とその大きさ

<音速について>

各種媒体の音速

物質	音速 (m/s)	密度 (kg/m^3)	弾性率 (Pa)	物質	音速 (m/s)	密度 (kg/m^3)	弾性率 (Pa)
空気	341	1.2	14×10^4	木	3500~ 4500	300~ 800	$3.7 \sim 10 \times 10^9$
ヘリウム (He)	970	0.18	17×10^4	氷	3940	900	14×10^9
水	1480	1000	2.2×10^9	ガラス	4000~ 5500	2200~ 2600	$60 \sim 80 \times 10^9$
水銀	1380	13600	26×10^9	鉄	5290	7860	220×10^9

スピーカーのボイスコイルは縦波も横波も発生するが、横波は伝達されない。

001A_210530_1304_Merged.mp3

T=25:58

確かめたい事項の中で

4 確かめたい事項 面駆動スピーカー

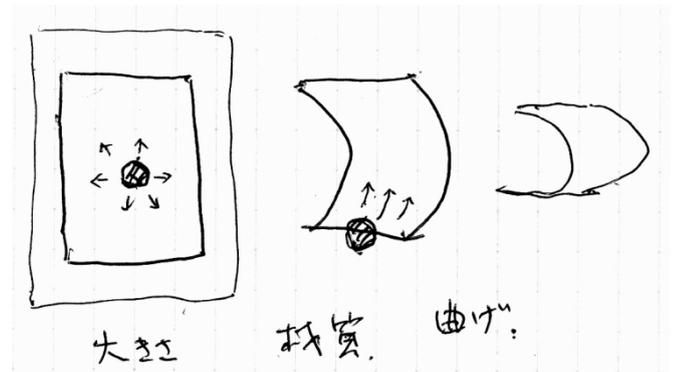
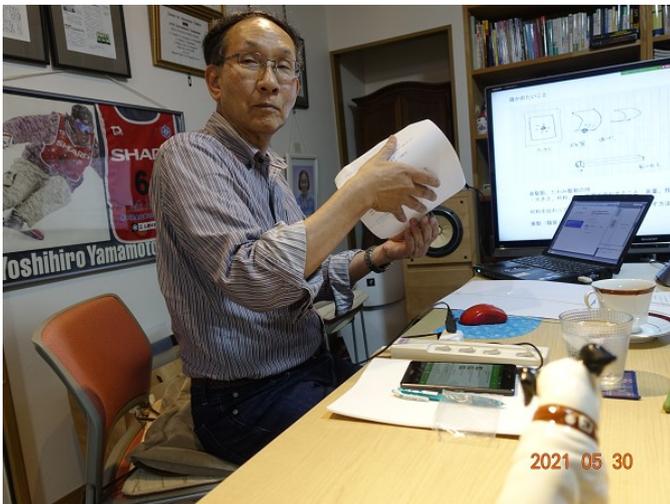


固体表面に張り付けて音を発生させるもので、
今日の実験では、

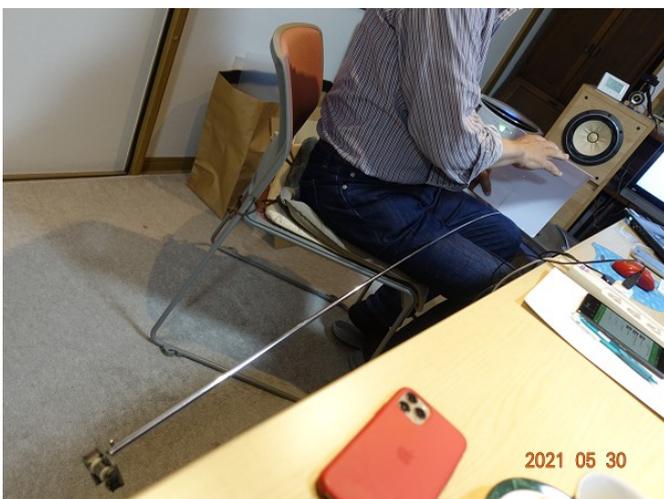
- プリプロピレンの薄板、
- 発泡スチロールの薄い板、
- 机の面に張り付ける。

大きな物体に張り付けると音は大きい。
高音の身が出る、低音は出にくい。

実験では、テーブルが一番大きい音が出る。

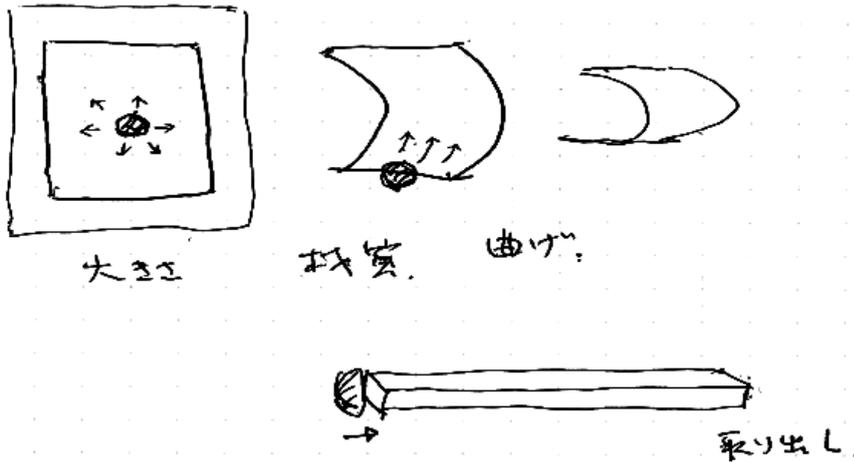


写真のように、薄板のエッジに面駆動スピーカー
を張り付け、薄板を曲げると大きな音が聞こえる。



細く長いロッドアンテナの一端にオルゴールを
接着し、別の端に板状の面に接触させると、音が
再現され大きく聞こえる。

オルゴールをロッドアンテナを介することなく
直接接着するとより大きい音が聞こえるのは
伝送ロスがなくなるからであろうと予測できる。



縦・横波の測定、
指向性、
周波数特性、

面駆動、たわみ駆動の時

- 大きさ、材料、たわみ量で変化すること:音量、指向性、周波数特性
- 材料を伝わっていく「音」を音波として取り出す方法
- 振動(騒音)対策の調査

神田さんのコメント:

理解しておくべき項目

- 空中を伝わる音は縦波だけ-横波はない
- ボイスコイルは縦波を横波も発生するがコーンから空中に出るのは縦波のみである。
- *ボイスコイルを電気信号でドライブするとき逆起電力は、音響特性に影響するという説が有るが、今回のテーマから遠い事案であり、今回はは取り扱わない。
- ...→ 今後の検討課題として積み残す。

確かめたい事項・疑問点のまとめと、神田さんの定性的説明

- オルゴールの音は縦波で伝わっている。
- 縦波で伝わってくる振動を板を曲げると振動音が大きく出てくる現象は、やわらかい振動版の端の方で駆動してもいた全体には振動は伝わらず、空気を振動させることができない。やわらかい紙をU字状に曲げると剛性が高まり曲面全体に振動が伝わる。この柔らかなものスピーカーのコーン紙のように円錐状にすると最も剛性が高まり硬い物体となる。そのような形状に曲げることにより、面は剛体となりたわむことなく空気に振動を伝えることができ大きな音として振動を伝えることができる。薄い板状の部室は、円筒状や円錐状にすることにより高い剛性を持った材料となり、結果として空中に音を発散(ドライブ)することができる。

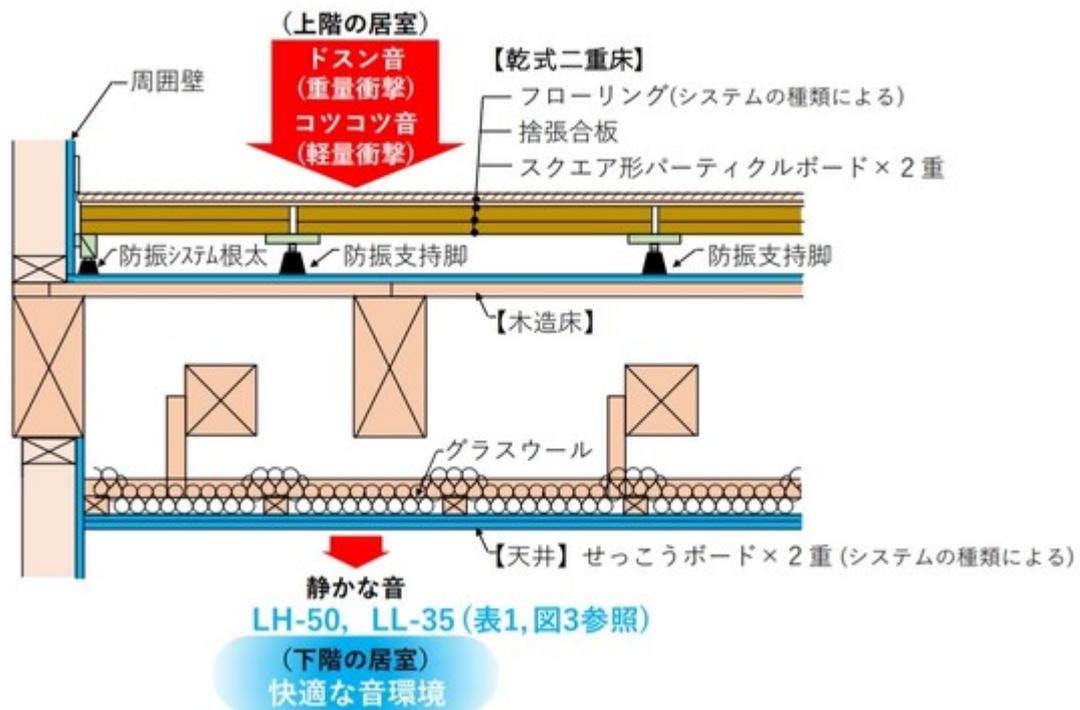
5 建築、構造物の振動を防ぐ事例

マンションの音の話は、音の発生源から建物の構造体に振動が移り建物全体に伝搬し、その建物を伝わってくる縦波が、離れた部屋の剛性の或る壁材や天井材で再び音になり騒音となるものと考えられる。

以上の推論から、建物の構造体に発生した振動を居住空間に伝わらなくする即ち、構造体と居住空間をゴムのような振動を伝えない構造を居室空間に取り入れ、振動を隔離することにより騒音を取り除くことができるはずである。(この表現は、定量性には欠けるところが有るかもしれないが、定性的に十分な説明と思われる)

例1) 乾式2重床の木造最高レベル遮音システム

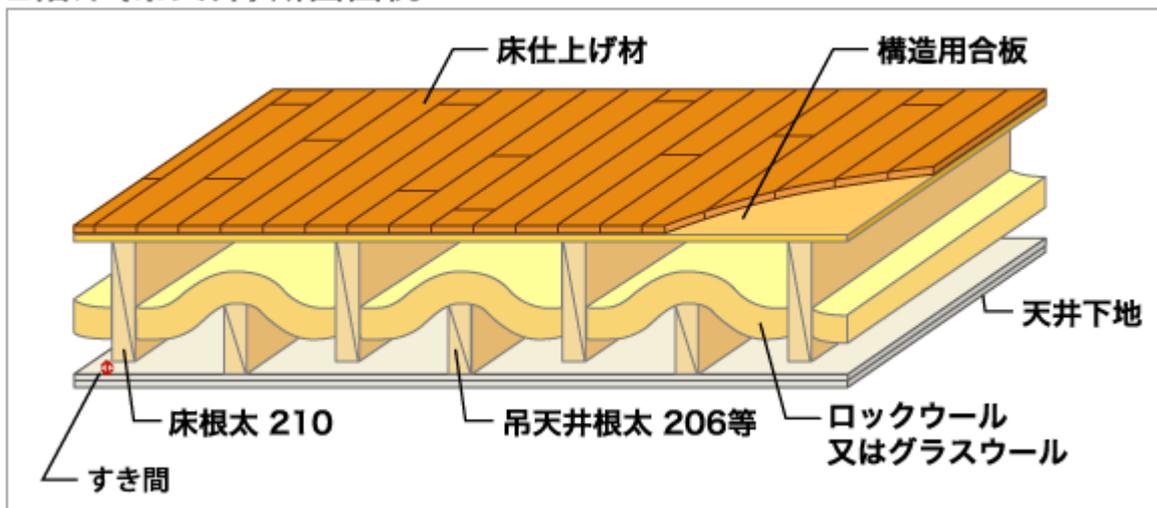
<https://built.itmedia.co.jp/bt/articles/2004/24/news061.html>



例2) 吊り天井

<https://www.2x4assoc.or.jp/quality/livability/livability01.html>

2階床(吊天井)断面図例



本項目のまとめ:

外部から入り込む居室内の音・騒音・雑音は、剛性の大きい扉や二重ガラス窓で防ぐことが可能であるが、住居の建物構造体そのものを伝わってくる振動が起因する音は、ゴムダンパーに代表される、静荷重はしかり支え振動を伝えない構造が必要である。

現実的な対策: 床材は裏面にスポンジ状の建材で浮かせることにより振動を反射・吸収させ構造体に振動を伝えない構造にする配慮が取られている。

空気中の音波は止める方法は多々あるものの、剛体を伝わる振動伝搬速度は非常に速く、減衰に
 くいことから振動を止める手段は非常にむづかしい。

振動が音に代わるメカズムは何？

隣のビルの発電機の振動が当該ビルの5階でその低周波が一番大きくなり、その環境下では頭が
 痛くなる事例があった。そこで各種計器で測定したが、音で伝わっている形跡はなく土地・建物に
 振動として伝わった結果であった。この場合、ビルを取り壊すしか方法が無いという結論に至った。

神田さんのコメント:

個体を伝わる振動は共振周波数が有り、隣のビルの振動を止めることは困難ですが、固有振動数
 を止めるか周波数を変えることはできると思います。

ただしこれも受ける方よりも出す方の対策が効果的です。発電機の耐震の固定方法で対策できます。
 ということで、

積極的な改善法は、

- * 振動発生源で外部への伝達を極力抑えるのが効果的。

受動的ではあるが努力目標は、

- * 振動を受ける側では、問題となる振動の周波数を強振からずらせることで振動被害を
 抑える。

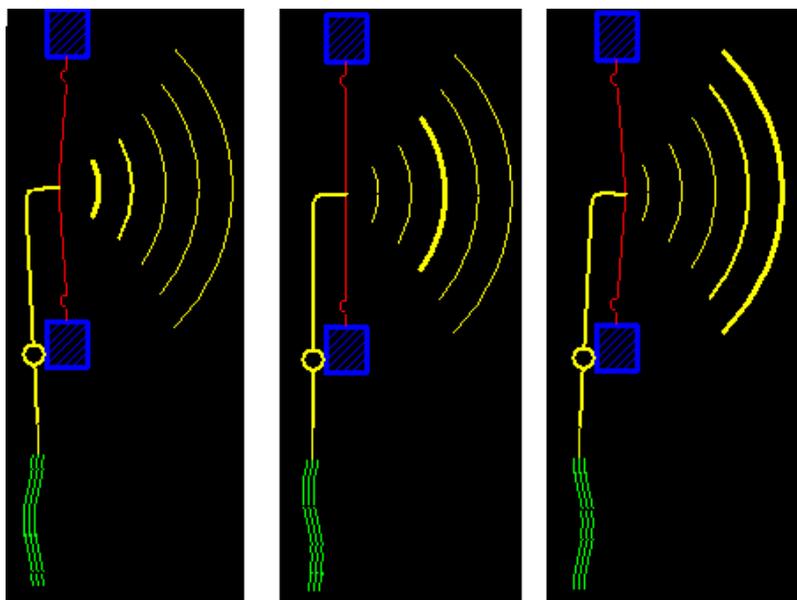
神田さんのコメント:

面駆動スピーカーについて、このスピーカは振
 動版がないスピーカとして考えてください。

振動板としていろいろなものを利用して音を
 聞く装置ですから振動板としては硬くて軽いも
 のが効率が良くなります。

振動が音の変わるメカズムの説明例ですが、

[動作原理 / サウンドボックス \(gtr.co.jp\)](http://gtr.co.jp) がわかりやすい説明だと思います。



蓄音機でかける一般のSP盤(SPLレコード)
 は、音の波(音波=粗密波=空気振動)が
 横方向の振動として盤上を走る溝に記録
 されています。蓄音機ではサウンドボッ
 クスの針先でその溝をトレースし、カンチ
 レバーを介して接続されたダイヤフラム
 を揺らして音波として再現しています。

蓄音機初期には振動を縦方向(盤の深さ
 方向)に記録したレコードもありました。再
 生には専用の縦振動用サウンドボックス
 が必要で、一般のサウンドボックスは使え
 ません。但し動作原理は同じでちょっと乱
 暴に言うと、サウンドボックスの針の付き
 方がカンチレバーの延長上に付いてるか

(上図)、途中で横に90度曲がって付いてるかが違うだけです。

後年、蓄音機の普及に伴い縦振動は淘汰され横振動レコードだけ(*1)になりました。

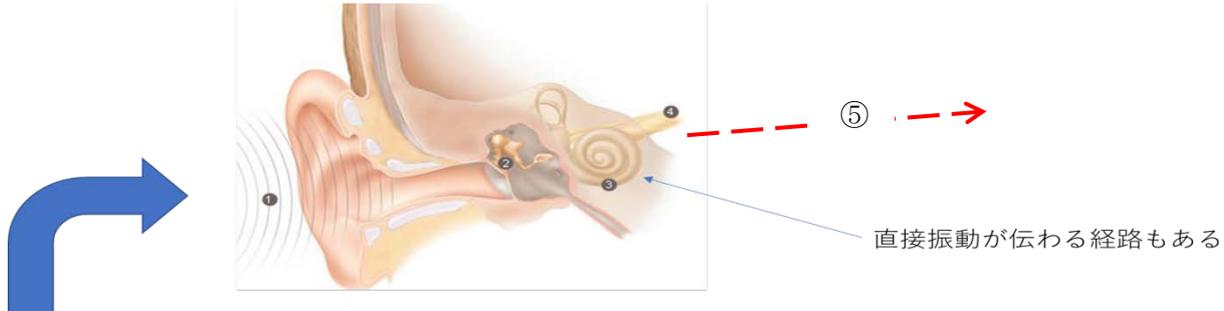
針先の力点に加えられた横振動は支点を介して、てこの原理で作用点に伝えられダイヤフラムを振
 動させます。その間は機械的な力の伝達のみで電氣的仕掛けはありません。

6 横道テーマ (Yokomiti テーマ)

この会の特徴の一つとして、テーマを議論している中で当初の話題から派生的に生まれるテーマに興味に向く事が有ります。派生的話題には魅力ある事象や興味深いテーマが含まれており、記録するとともに、今後の話題とする準備として可能な限り記録にとどめることにします。今後、横道テーマはYとし、複数ある場合はY1、Y2、Y3...と表記するようにします。

今回のテーマは、マンションの騒音に関する対処法と言う位置づけで、階上の音の影響や、遠く離れた場所からの振動が元と考えられる騒音などあるが。ここでいったん戻って、音の聴こえるメカニズムを考えておきましょう。

Y1) 人が音を感じる場合、通常空間を伝わってくる音波を耳で聞くことである。



2ページの2)項で1~4は確認しているので重複を避けるために弱調表示しておく。

①.音が外耳道に入る

音波が外耳道を通して、鼓膜に当たります。

②.鼓膜と耳小骨が振動する

音波は、鼓膜、そして中耳内の3つの骨(耳小骨)を振動させます。

③.リンパ液が内耳の中で振動する

振動が伝わると、らせん状の内耳(蝸牛)の中にあるリンパ液が振動し、蝸牛内の小さな有毛細胞を動かします。

④.有毛細胞は、感知した動きを化学信号に変換し、聴神経に伝えます。

リンパ液の上には、波を感じ取る有毛細胞(3万~4万)がある。

⑤.聴神経が脳に情報を伝える

聴神経がこの情報を電気インパルスによって脳に伝え、音として認識されます。

1~4まで正常に機能している場合、空気中を伝搬してきた音波は、電気インパルス信号となって伝送線路である、聴覚神経を通して大脳に伝達され音を認識する。

朗報！ <https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2015-06-16>

伝送路の⑤に何らかのダメージが有る場合、治療方法が無かったが、2015年6月16日、京都大学 関谷徹治 医学研究科研究生(医師)らの研究グループは、新しい細胞移植法を開発、音を聞き取るための脳の神経、聴神経の機能を再生させることに成功しました。

当初の研究では従来から広く行われている細胞移植法を採用し、細い注射針などを神経組織に刺して、細胞を神経内部に注入しました(神経内移植法)が、注入された細胞は数週間後までに死んでしまいました。ところが、偶然に神経表面に漏れ出した細胞が、「自力で神経内に入り込んで生き延びる」というこれまで報告されていない現象を発見しました。そこで、次の実験では、細胞を神経内に注入するのではなく表面に置くことにし、これを「表面移植法」と名付けました。その実験の結果、表面移植された細胞は、瘢痕化した神経内に次々と入り込み、瘢痕組織を利用しながら形を変えつつ、長期間にわたって生き続けました。そして、3ヶ月後にラットに音を聞かせてみると、聴神経の機能が改善していることが明らかになりました。

聴神経再生研究状況: <https://www.kuhp.kyoto-u.ac.jp/~ent/Scholar/ANregeneration.html>

Y2)内耳と聴神経の病気

出典 http://kodajibi.com/page_naijitochoushinkeinobyouki.html

老人性難聴

加齢により、徐々に両方の耳の聞こえが悪くなってきます。このような場合、聴力検査をすると、特に高い音の聞こえが悪くなっています。主に、内耳の細胞の老化現象によるものですが、聴神経や脳の細胞にも老化が起こります。老化現象のため、聴力を改善させることは困難です。特に聞こえが悪い場合は、耳鼻科で、補聴器を使ったほうがいいのか相談しましょう。

メニエール病

内耳には、音を聴き取る蝸牛と、体のバランスをとる三半規管および前庭があり、それぞれ水の入った袋の構造をしています。それぞれの袋は内部でつながっています。何らかの原因で水が余計にたまって水ぶくれが起きると、ぐるぐる回るめまいと、耳鳴りと、難聴が起こります。聴力検査をしてみると、難聴は特に低音部におこります。

突発性難聴

ある日突然に起きた難聴で、原因不明ですが、障害の起きた場所が内耳と考えられるものを突発性難聴といいます。耳鳴りも伴うことが多いです。内耳の蝸牛のほかに、三半規管や前庭も一緒に障害されることがあり、このときは、ぐるぐる回るめまいや吐き気も伴います。原因については、ウイルスとも血液循環障害ともいわれています。治療開始が早いほど治る確率が高く、治療開始が遅いほど難聴や耳鳴りが残ってしまう可能性があります。

低音障害型急性感音性難聴(低音障害型突発難聴)

突発性(または急性)に起こった、低音域に限局した感音性難聴です。聴力検査をしてみると、低いほうの音だけが聞こえが悪くなって、内耳性と考えられる難聴です。突発性難聴が低音部だけに起こったもの、または、メニエール病で聞こえだけがわるくてめまいを伴わない状態とも考えられています。突発性難聴と違って、いったんは良くなっても、また繰り返して聞こえが悪くなることがあります。耳鼻科で検査と治療を受けましょう。

騒音性難聴

長年にわたって、うるさい音の中で、仕事をしたり、暮らしていると、難聴や耳鳴りが起こることがあります。聴力検査をすると、特に4000Hz(ヘルツ)(1秒間に4000回の音の振動のある、比較的高い音)のところの聞こえが悪くなっています。治療して治ることは困難なので、予防が大切です(騒音下の作業には耳栓をするなど)。

比較的まれな病気 聴神経腫瘍

感音性難聴、耳鳴り、回転性めまいはほとんどは内耳が原因で起きますが、まれに聴神経に腫瘍ができていてもこのような症状が起こります。顔面神経麻痺が起こることもあります。腫瘍がだんだん大きくなっていくと、顔面の知覚障害、頭痛、小脳の障害(手足の共同運動がうまくできない、うまく歩けない、など)が起こってきます。耳鼻科でこの病気が疑われたときは、CTやMRIを撮って調べる必要があります。 Y2 資料 完

7 今後の日程

第109回 6月27日(日)13時～ 久米 健司 様

HP <http://www.cis-laboratories.co.jp/index.html>

以上