

研究題目	高周波音の測定と高周波音の聞こえに関する研究	報告書作成者	蘆原 郁
研究従事者	鎌倉友男, 伊藤洋一, 桐生昭吾, 中川誠司, 高橋弘宜		
研究目的	<p>超音波は、医用機器、洗浄、溶接などの産業機器に広く用いられている。中には、害獣撃退機や若者撃退機として、飲食店や公共施設、コンビニ店舗といった人の集まる場所で高レベルの高周波音を発生させているものもある（文献 1）。このうち、高周波若者撃退機は、東京都内の公園にも実験的に設置され、話題を集めている。</p> <p>歯科医用タービンのように、超音波の性質を利用しているわけではないが、副次的に高レベルの高周波音を出してしまう機器もある（文献 2）。超音波そのものを研究対象とする大学等の研究室では、研究員が音圧レベル 100 dB をこえるような超音波に日常的に曝されている（文献 1）。都市の環境騒音に 15 kHz をこえるような高周波の顕著なピーク成分がしばしば観測されている（文献 1, 3）。秋葉原駅近くの路上で観測された高周波成分の例を図 1 に示す。</p> <p>従来、人間の可聴域は、20 Hz 付近から 20,000 Hz 付近とされているが、近年の研究では、十分に音圧が高ければ 20,000 Hz をこえる超音波であっても、検知できる場合があること、音圧が 100 dB をこえる場合には、28,000 Hz 付近でも検知できる聴取者のいることが示されている（文献 4, 5）。図 2 は、無響室において、ツイータから提示される純音に対する聴覚閾値を測定した結果である。</p> <p>このような高いレベルの高周波音への曝露の安全性に関して系統的な研究は行われていない。従来のサウンドレベルメータによる騒音レベルの計測では、20 kHz をこえる高周波音を計測することすらできない。また、近年、骨導超音波を利用し</p>		

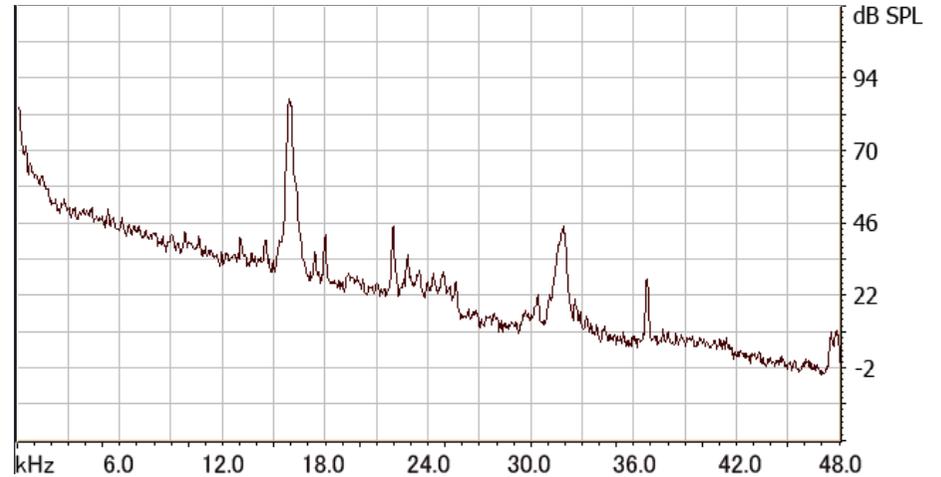


図1 都会における高周波音スペクトル例

秋葉原駅近くの路上で平日の昼間に観測された高周波音の例。16 kHz 付近に 80 dB SPL をこえるピークが認められる（文献 1）。

研究目的

た補聴器の研究が行われているが、骨導音のレベル計測方法も確立されていない。
そこで、空中超音波及び骨導超音波を利用する際の適性レベルを明確にすることを目的とし、そのための基礎研究として、以下の調査及び実験研究を実施した。

1. 都市環境騒音における高周波音の実態調査
2. 高周波最小可聴音圧測定を試み
3. 生理学的指標による高周波聴覚閾値測定を試み
4. 骨導超音波振動子の周波数特性の解析
5. 録音用マイクロホンの広帯域音場感度校

それぞれの研究方法、結果については、研究内容に記載する。

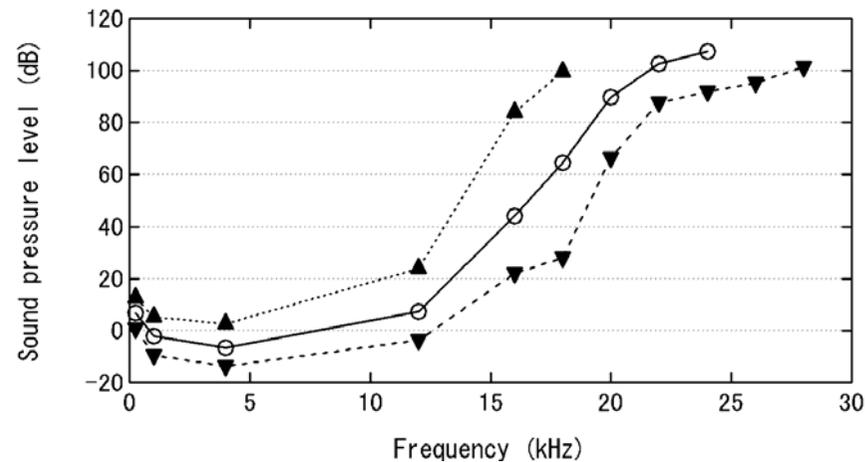


図2 ツィータから提示される純音に対する聴覚閾値

無響室で測定された32耳の聴覚閾値の最小値、中央値、最大値を周波数ごとにふろっとしたもの(文献4)。

研究内容

1. 都市環境騒音における高周波音の実態

1. 1 概要

都市の環境音を分析すると、15 kHz をこえる高周波のスペクトルピークがしばしば観測される（文献1）。東京に限らず、ニューヨークの街中でも同様な観測結果が報告されている（文献3）。観測される高周波成分の持続時間は、1秒に満たないものもあれば、数十秒に及ぶものもある。音圧レベルは、歩道上など、観測された位置において、場合によっては80 dB に達しており、音源近くでは、さらに高いレベルであると想像される。

しかし、従来の報告では、高周波成分がどこから発生しているのかについては解明されていない。発生源を調べるには、録音と同時に映像を記録するか、録音しながらリアルタイムで周波数分析を行う必要があるが、それには大掛かりな機材と人手がかかってしまう。本研究では、高周波成分の発生源に関する手がかりを得るため、東京銀座、中央通の歩行者天国実施中と平常時の環境音の比較を実施した。つまり、大通りが通行する車両で満たされているときと、車両の進入が禁止され、歩行者で満たされているときの環境音を分析し、高周波成分の発生状況を調べたのである。

1. 2 方法

環境音は、図3に示すとおり、40 kHz 近くまでの広い周波数帯域をもつマイクロホン（SCHOEPS MK-5）を介して、リニアPCMレコーダ（SONY PCM-D1）に一旦記録し、パーソナルコンピュータにファイル転送後、オフラインでFFT分析を行った。録音装置のブロック図を図4に示す。

銀座の歩行者天国は、土曜、日曜、祝日の正午から17時まで実施されている。そこで、録音は、2010年3月6日（土曜日）の11時10分からの15分間、同じ日の12時10分からの15分間の計2回行った。2回とも、録音開始前にキャリブレーション（RION NC-74）にて音圧校正を行った。

録音場所は、銀座二丁目の歩道上、車道端から6.5 mほど離れた場所とし、マイクロホンを三脚に固定して録音中は動かさないものとした。2回の録音は、まったく同じ場所であった。

1. 3 結果と考察

研究内容

録音された15分間の騒音レベル（A特性音圧レベル）は、午前中が59 dB、午後が51 dBであり、車両の進入が禁止されたことによって8 dB騒音レベルが低減していた。

15分間のパワースペクトルのピークホールド値を図5に示す。午前に比べて、午後の音圧レベルが下がっていることに加えて、午前中は、10 kHz から20 kHz 付近に現れていた顕著なピーク成分が、午後には観測されていないことがわかる。これらの成分のいくつかは、録音位置でも音圧レベル70 dBをこえていた。

結果から、10 kHz から20 kHz にかけて観測された顕著なピーク成分の発生源が通行中の車両であると推測される。だとすれば、そのような車両のすぐ近くでは音圧が90 dB近く、あるいはそれ以上の場合も考えられる。

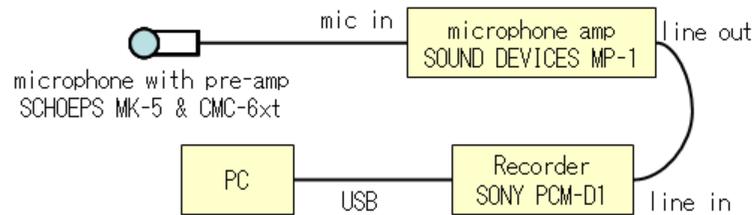


図4 録音装置ブロック図

広帯域マイクロホン(SCHOEPS MK-5)を介して、リニアPCMレコーダに、サンプリング周波数96,000 Hz、量子化ビット数24にて環境音を録音した。

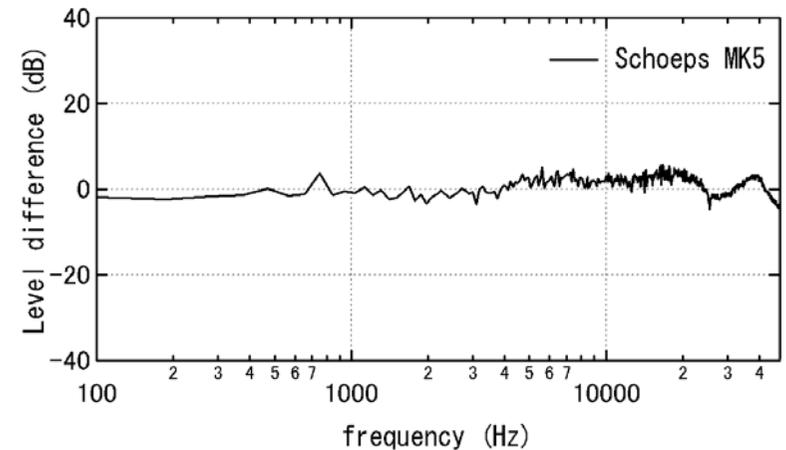


図3 マイクロホンの周波数特性

Brüel & Kjør type 4133 を基準とした SCHOEPS MK-5 の周波数特性

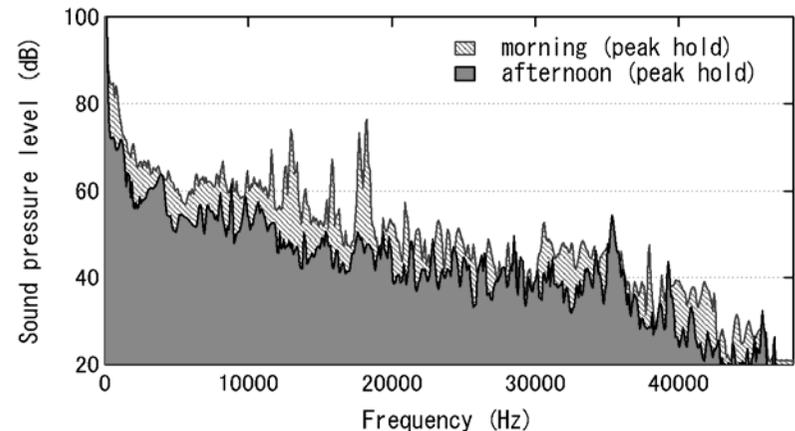


図5 銀座における環境騒音

歩行者天国実施前の環境音(赤)と実施中の環境音(青)のパワースペクトル。録音時間15分間のピークホールド値

研究内容

2. 高周波最小可聴音圧測定を試み

2.1 概要

近年の研究により、20 kHz をこえる超音波でも、音圧レベルが 80 dB をこえる場合、聴取可能な場合があること、音圧が 100 dB をこえる場合、中には 28 kHz 付近まで検知できる聴取者がいることが報告されている（文献 4, 5）。しかし、検査音をツイータから提示する場合、波長の短い高周波音は回折しにくく、頭部や耳介の影響を強く受けるため、頭部の位置や向きの変化によって、外耳道入り口での音圧が非常に大きく変動することも問題点として指摘されている（文献 5）。

頭部の動きによる影響を減らすには、検査音をヘッドホンから提示する方法が考えられるが、超音波帯域の聴覚閾値を測定するには、90 dB から 110 dB 程度の音圧で純音を提示でき、なおかつ検知できるような低調波歪を出さないような、線形性に優れたヘッドホンが必要となる。また、ヘッドホンから提示されている検査音の音圧を外耳道内で測定するのは容易ではない。

本研究では、市販されている複数の音楽用ヘッドホンの中から、線形性に優れた機種を選定し、高周波帯域の最小可聴音圧測定を試みた。検査音の音圧は、検査耳ごとに、外耳道入り口近傍に固定したプローブマイクロホンによって測定した。

2.2 方法

ヘッドホンを用いて、12 kHz から 30 kHz までの最小可聴音圧測定を行った。使用するヘッドホンには、広い周波数帯域と優れた線形性が求められる。そこで、事前調査として、市販されている密閉型ヘッドホン 8 機種について、周波数帯域と純音再生時の非線形歪の量について検討した。その結果、歪が比較的少ないことから、コンデンサー型イヤースピーカ、STAX 4070 を用いるものとした。STAX 4070 の周波数帯域は、7 Hz から 41,000 Hz である。

外耳道内にて音圧を測定するためのプローブマイクロホン（ETYMOTIC RESEARCH ER7C）は、マイクロホンの先に

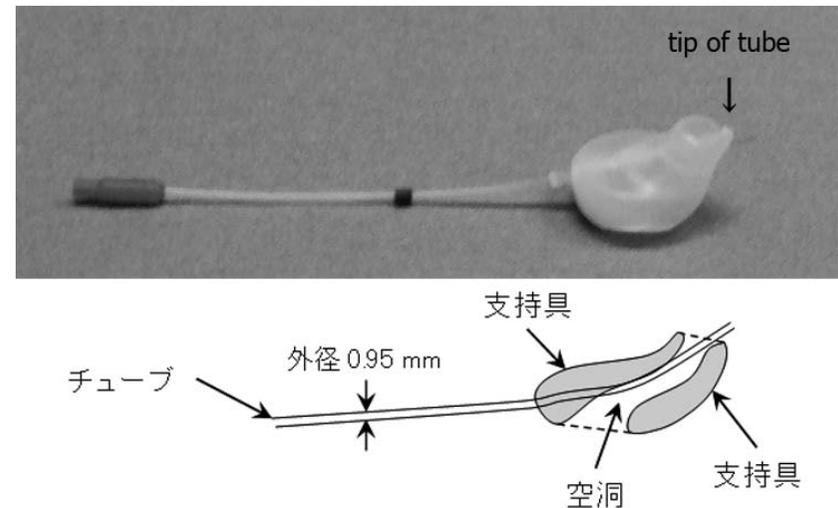


図 6 プローブマイクロホンのチューブ支持具

チューブを外耳道内に固定するための支持具の外観(上)と断面図(下)。支持具は中が空洞となっており、音は遮断されず、外耳道内に伝搬される。

研究内容

シリコン製のチューブが伸びているもので、チューブの外径は0.95 mmと非常に細い。チューブを外耳道内に挿入することによって、外耳道内の音を録音できるが、チューブは非常にやわらかく、外耳道内でのポジショニングが容易ではない。特に、本実験では、上から耳覆い型ヘッドホンを装着するため、チューブの先端が正しく外耳道に挿入されているかどうか確認することができなくなる。そこで、図6に示す支持具を作製し、チューブの先端が外耳道入り口から5 mmほど入ったところに固定されるようにした。プローブマイクロホンの周波数特性は、計測用1/2インチマイクロホンBrüel & Kjør type 4133を基準器とする比較校正を行い、補正した。

測定は防音室にて実施し、最小可聴音圧は、12 kHz から2 kHz おきに30 kHz まで、3-down 1-up 変形上下法にて測定した。1回の測定は8回目のreversal point までとし、後半4回のreversal point での音圧の平均値を閾値と定めた。8回目のreversal point に達する前に最大提示音圧をこえた場合は、スケールアウトとした。聴取者は、19歳から24歳の健常者12名、検査耳は23耳であった。再現性を確保するため、測定は2回ずつ行われた。

18 kHz 以上の周波数では、提示する検査音の音圧が高くなると、聴取可能なレベルの低調波歪が発生してしまう場合があったため、聴取者が歪を検知しないよう、15 kHz の low-pass フィルタ処理したピンクノイズを同じヘッドホンからマスキングとして提示した。

2.3 結果と考察

2回の測定値の差が10 dB 未満であったものだけを有効データとし、有効データの1回目と2回目の平均値を閾値とした。得られた閾値の23耳中の最小値、中央値、最大値を図7に示す。12 kHz、14 kHz では、全耳から閾値が得られたが、16 kHz では1耳、18 kHz では3耳がスケールアウト、20 kHz では10耳から、22 kHz では5耳からそれぞれ有効データが得られた。しかし、24 kHz 以上では全耳がスケールアウトであった。

閾値は、先行研究(文献4, 5)と同様に、14 kHz から20 kHz にかけて急激に上昇している。最小値を見ると、20 kHz から22 kHz にかけては上昇が緩やかになってい

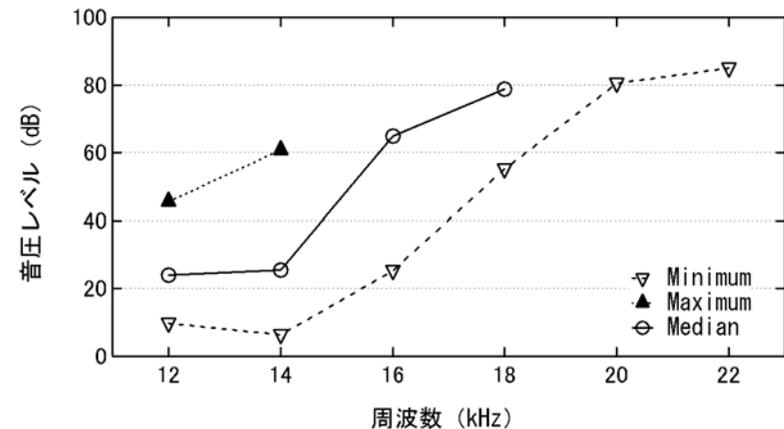


図7 最小可聴音圧測定結果

23 耳の最小可聴音圧のうち、有効データ中の最小値(▽)、中央値(○)、最大値(▲)を周波数の関数として表示。

研究内容

るが、これも先行研究の結果に一致している。22 kHz での閾値は最小でも音圧レベルで 85 dB に達していた。検査音をツイーターから提示した先行研究（文献 4）でも、32 耳中の閾値の最小値は、22 kHz において 87 dB であり、ヘッドホンを用いた今回の結果とほぼ同じであった。

結果から、検査耳ごとに外耳道内にて音圧を測定することにより、聴取者の頭部の位置や向きの変動に対して、より頑健な閾値測定ができる可能性が示された。しかし、今回の実験でも、外耳道内の音圧の個体差は大きく、周波数によっては 20 dB をこえていた。これはヘッドホンと頭の形状や外耳道との相性によるものと考えられるが、最大提示音圧のばらつきを低減することが課題として残された。

3. 生理学的指標による高周波聴覚閾値測定を試み

3.1 概要

ツイーターを使用した先行研究（文献 4, 5）や本研究でのヘッドホンによる最小可聴音圧測定は、いずれも聴取者にキー操作やボタン押しによる反応を求める自覚的検査方法である。このため、認知的な要因によるバイアスを完全に排除することはできない。そこで、他覚的な検査方法として、生理学的な反応を指標とする聴覚閾値測定を試みた。指標としたのは、聴性脳幹反応（Auditory Brainstem Response 以下 ABR）である。

3.1 方法

健常な 20 歳代の成人 20 名を対象とし、10 kHz から 2 kHz おきに 30 kHz までの聴覚閾値について、3-down 1-up 変形上下法による心理学的な測定と ABR による他覚的測定を実施した。実験は東京都市大学の無響室にて行った。

ABR を誘発するには、立ち上がりの急峻な信号を用いる。また、数百回から数千回の同期加算を行うので、短時間に繰り返すことのできる持続時間の短い刺激音がいられる。今回は、持続時間 1 ms の tone pip を用い、提示間隔は 85 ms とした。しかし、持続時間の短い信号はスペクトルが広帯域に広がってしまい、周波数選択性に欠ける。特に低域側のサイドローブは、反応を誘発する恐れがあるので、中心周波数から 2 kHz 低い周波数を遮断周波数とする high-pass フィルタをとおした。刺激音は、サンプリング周波数 96 kHz、量子化ビット数 16 のデジタル信号である。このようにして作成した中心周波数 12 kHz の tone pip のスペクトル例を図 8 に示す。

刺激音は、DA 変換され、アンプ (YAMAHA P2040)、ハイパスフィルタ (PIONEER DN-100) を介して、スーパーツイーター (PIONEER RT-R100) から提示された。聴取者は無響室内のベッドに仰向けに横たわり、スーパーツイーターは、聴取者の左耳、外耳道入

研究内容

り口から 50 cm の位置に設置された。刺激音の音圧は、聴取者がいないとき、スーパーツィータの正面前方 50 cm にて校正された。

ABR は、頭皮上の銀皿電極により導出された。電極位置は、国際電極配置法より以下のように装着した。

- ・ 導出電極 (+) ・ ・ Cz (中心正中部)
- ・ 基準電極 (-) ・ ・ Ai (左耳耳朶)
- ・ ボディアース (E) ・ ・ Fpz (前頭極正中部)

ABR による聴覚閾値の判定は、V 波を指標とする目視によるものとした。

3.2 結果と考察

20 名 20 耳の閾値測定結果を図 9 に示す。閾値の有効データの平均と標準偏差を示している。ただし 18 kHz 以上では ABR が確認できなかったケースがあり、22 kHz では 1 耳のみからしか反応が得られなかった。このため、20 kHz, 22 kHz では実際の閾値の平均値、標準偏差は表示されているものより大きかったことになる。

心理学的手法による自覚閾値に比べて、ABR による他覚的閾値は 20 dB ほど高いが、両者はほぼ平行である。閾値が 14 kHz 付近から 20 kHz 付近にかけて急激に上昇する点も一致している。

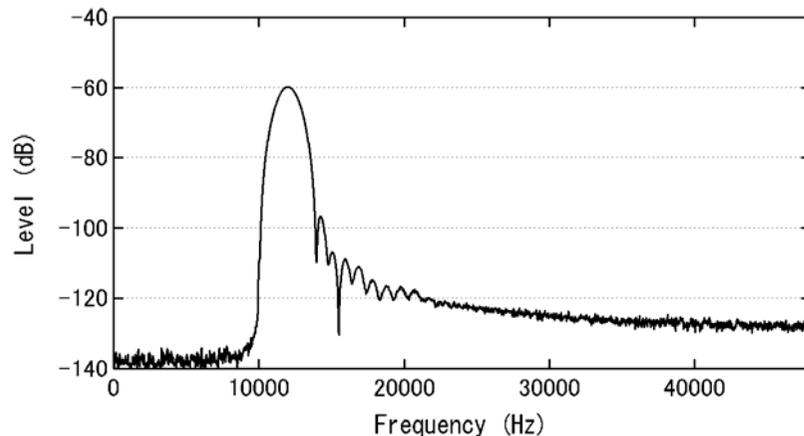


図 8 tone pip 刺激のパワースペクトル

中心周波数 12 kHz, 持続時間 1 ms の tone pip のパワースペクトル。遮断周波数 10 kHz の high-pass フィルタ処理したもの。

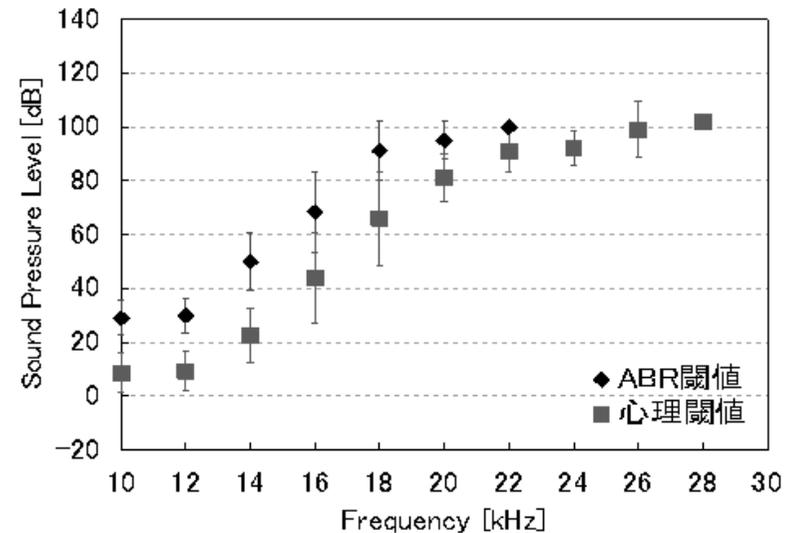


図 9 自覚閾値と ABR 閾値

心理的手法による聴覚閾値と ABR による他覚的閾値の比較。

研究内容

4. 骨導超音波振動子の周波数特性の解析

4.1 概要

周波数 20 kHz 以上の高周波であっても、骨伝導（骨導）で呈示された場合は明瞭な音として知覚される。また、この骨導超音波は重度感音性難聴者にも知覚されることが報告されている（文献 6）。この現象を利用した重度難聴者用の新型補聴器への開発が試みられている一方で（文献 7）、その呈示レベルの計測手法は確立されていない（文献 8）。

骨導超音波の呈示には、頭部（乳様突起）に約 5.1 N で押しつけられた圧電セラミック振動子が用いられる。骨導超音波呈示レベルの推定のためには、振動子の出力-周波数特性の把握が不可欠であるが、それは生体頭部への押付状態によって変化し、正確な振動状態の把握は容易ではない。本研究では、振動面に接触する材質や荷重量といった要因が超音波振動子の周波数特性に及ぼす影響を調べ、生体頭部振動の実測値との比較を試みた。

4.2 方法

可聴域から超音波域までの stepped sine 信号（10~43 kHz の 1 kHz 毎の正弦波骨導音、時間長 2 秒）を振動子から出力し、その際の超音波振動子、および生体頭部の振動計測を行った。計測にはレーザドップラ振動計（小野測器 LV-1720）を用いた。

4.2.1 荷重された振動子の振動計測

真鍮の錘（115, 305, 517 g）を用いて振動子に荷重した際の振動面の動きを計測した。錘と振動面との間には天然ゴムもしくはシリコンゴム（どちらも 3 mm 厚）を介在させた。振動子は振動面を上にして台座に固定され、その上に介在物、さらに錘が設置された。錘と介在物に開けられた小孔を通して振動面にレーザ光を照射することで、振動面の動きを計測した。

4.2.2 生体頭部の振動計測

正常聴力を有する被験者 1 名を無響室内のイスに座らせ、頭部をヘッドレストに固定した。振動子によって骨導超音波を被験者の左乳様突起部に呈示し、同側の耳甲介に貼付された反射板上での頭部振動を計測した。レーザドップラ振動計のセンサヘッドは、照射レーザ光が直接この反射板に焦点を結ぶように、被験者の左耳の真横に支持された。振動子への印加電圧は 30 kHz で 10 dB SL となる強度に固定された。

4.3 結果と考察

振動子単体での周波数特性を図 10 に、517 g に荷重された場合の特性を図 11 に示す。振動子単体では約 40 kHz に明瞭な共振ピークが認められる。しかし、介在物が天然ゴム、もしくは存在しない場合は、振動子単体が持っていた共振ピークはほぼ消失した。シリコンゴムではそのピークは保持されていたものの、共振ピークが低い周波数へシフトした。また、生体頭部

振動の測定結果を図 12 に示す。30 kHz あたりに共振ピークを持つ周波数特性が得られている。

図 11 に示されたように、振動面に接する材質が硬い場合は振動子の共振の鋭さが減少するが、比較的軟らかいシリコンゴムではその鋭さは保持されたまま、共振ピークが低周波側にシフトしたような特性が得られた。シリコンゴムと皮膚の弾性率(表皮:約 0.14 MPa, 真皮:約 80 kPa, 皮下組織:約 34 kPa)は比較的近いことから、皮膚組織に押しつけられた場合であっても、共振の鋭さは保持されたまま、共振ピークのシフトだけが生じている可能性は高い。「頭部押付状態ではおよそ 30 kHz の聴こえが大きくなる」という申請者らが経験的に得た知見とも合致することから、およそ正確な頭部振動が計測できたと推測することができる。

5. 録音用マイクロホンの広帯域音場感度校正

5.1 概要

2010 年現在、産業技術総合研究所・計量標準総合センターにおいて、世界に先駆けて 20,000 Hz から 100 kHz における音響標準の開発が進められている。基本的には、絶対校正された基準マイクロホンを用いた計測用マイクロホンの校正である。しかし、計測用マイクロホンは高価であり、取り扱いに注意を要する。そこで、より一般的な録音用マイクロホンについて、可聴域から 100 kHz までの感度校正を試みた。

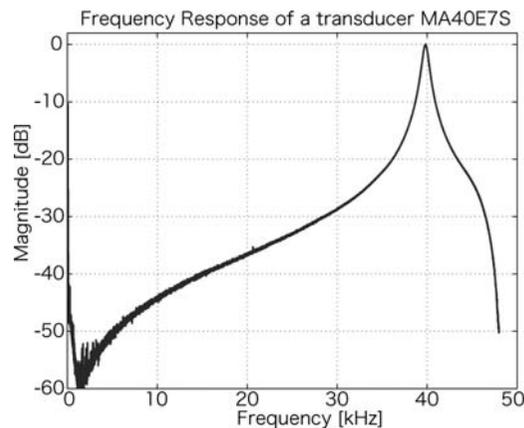


図 10 振動子単体の周波数特性
共振ピークを 0 dB として正規化してある。

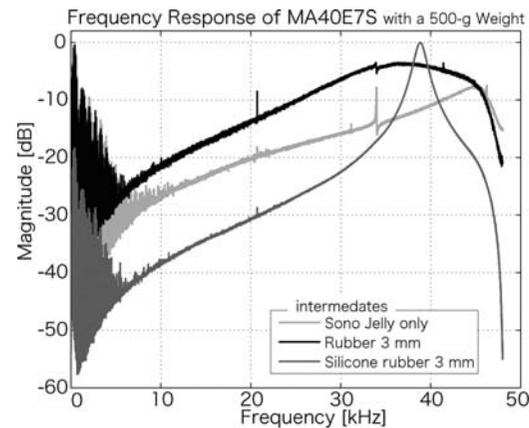


図 11 荷重した場合の周波数特性
シリコン介在時の共振ピークを 0 dB として正規化してある。

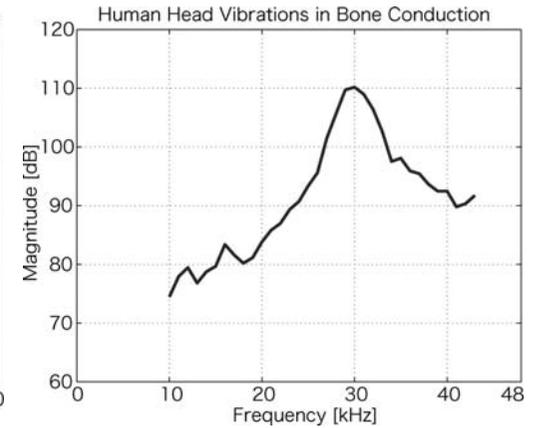


図 12 頭部振動の周波数特性
0 dB は振動速度 0.01 m/s に相当する。

5.2 方法

録音用マイクロホン SANKEN CO-100K の感度を感度が既知な基準マイクロホンとの比較によって求めた。20 Hz から 20,000 Hz に関しては、カプラ校正法にて絶対校正された 1/2 インチマイクロホンを基準とし、20,000 Hz 以上については、自由音場相互校正法により絶対校正された 1/4 インチマイクロホンを基準とした。比較校正は無響室にて、スピーカから純音を呈示して、1/3 オクターブ刻みで実施した。

5.3 結果と考察

測定された録音用マイクロホンの音場感度特性を図 13 に示す。0 dB は 1V/Pa である。このように校正された録音用マイクロホンをを用いることにより、取り扱いに注意を要する計測用マイクロホンをを用いることなく、100 kHz までの騒音計測を容易に行うことが可能となる。

6. まとめ

都市環境騒音中にしばしば観測される 10 kHz 以上の顕著なピーク成分の発生源について調べるため、歩行者天国実施中及び平常時の銀座中央通の環境音を計測した。その結果、歩行者天国実施中のスペクトルには 10 kHz をこえる帯域に突出したピーク成分はほとんど出現しなかったことから、高周波成分の発生源が通行中の車両であることが示唆された。

頭部の位置や向きの影響を受けにくいヘッドホン提示による高周波聴覚閾値測定方法について検討し、外耳道内にプローブマイクロホンを固定することにより、従来よりも高い精度で閾値が測定で

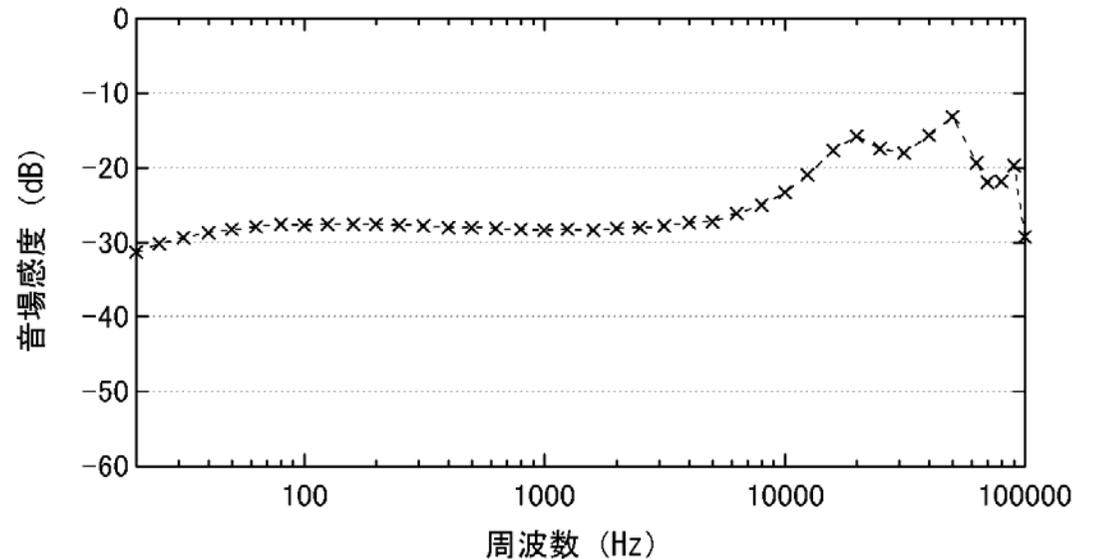


図 13 録音用聴広帯域マイクロホンの周波数特性

録音用聴広帯域マイクロホン (SANKEN CO-100K) の音場感度を絶対校正された基準マイクロホンとの比較によって求めた結果。

きる可能性を示した。また、ヘッドホン提示でも、ツイータを用いた先行研究の結果と同様の結果が得られた。

ABR を指標とする高周波の他覚的聴覚閾値測定手法について検討し、症例はわずかだが、22 kHz でも反応が得られるケースが認められた。閾値自体は心理学的手法による閾値より 20 dB ほど高いが、その形状は酷似しており、14 kHz 付近から 20 kHz 付近にかけて、閾値が急上昇することが末梢聴覚系の誘発電位でも確認された。

レーザドップラ振動計を用いて頭部振動を計測した結果、超音波振動子の共振ピーク周波数がシフトするものの、ピークの鋭さは保たれていることが示された。

絶対校正された計測用マイクロホンを基準とする比較校正によって、市販されている録音用超広帯域マイクロホンの音場感度を校正した。校正されたマイクロホンは、引き続き高周波騒音の計測に役立てることができる。

文献

- 1) 蘆原 郁, “身のまわりにある超高周波音の実態調査,” 日本音響学会誌, 65, 23-28, 2009
- 2) 山田朋美, “歯科医療機器から発生する超高周波音-歯科切削騒音による不快感の低減を目指して-, ” 日本音響学会誌, 65, 52-57, 2009
- 3) 蘆原 郁, “生活環境音の広帯域周波数分析,” 聴覚研資, H-2007-126, 2007
- 4) K. Ashihara, “Hearing thresholds for pure tones above 16 kHz,” J. Acoust. Soc. Am., 122, EL52-EL57, 2007
- 5) 蘆原 郁, “16 kHz から 30 kHz の聴覚閾値,” 聴覚研資, H-2005-32, 2005
- 6) Lenhardt et al., Science, 253, 82-85, 1991
- 7) Nakagawa et al., Trans. Jpn. Soc. Med. Biol. Eng., 44(1), 184-189, 2006
- 8) 中川誠司, “骨導超音波知覚の解明,” 日本音響学会誌, 65, 46-51, 2009

研究のポイント	<p>サウンドレベルメータで計測される騒音レベルは、健常者の平均的な聴感に基づく A 特性音圧レベルであるため、15 kHz をこえる成分は過小評価され、20 kHz 以上の成分はまったく反映されない。このため、環境騒音における高周波成分については系統的な研究はほとんど行われていない。今回の調査では、40 kHz 近くまで録音可能な広帯域マイクロホンを用い、都市の同じ場所で、車両通行中と車両通行禁止中の環境音を計測することで、高周波成分の発生源に関する知見を得た。このような調査は国際的にも貴重なものと考えられる。</p> <p>周波数が高くなると、音波は障害物の影響を強く受けるため、音場での閾値測定では、聴取者自身の頭部、耳介により、聴取者がいないときとはまったく異なる音圧が受聴されている可能性がある。このため、実際の耳元の音圧には、大きな個体間差が生じるだけでなく、頭部の位置や向きのわずかな変化が大きな音圧の違いを生じてしまう。</p> <p>この問題を解決するには、頭部が動いても、音源と耳の相対位置が変わらないヘッドホンを用いて検査音を提示する、いわゆる最小可聴音圧 (minimum audible pressure) を測定すること。通常の音場での閾値測定のように聴取者がいない基準位置で音圧校正を行うのではなく、また、HATS (Head And Torso Simulator) のような人工耳を用いるのでもなく、検査耳ごとに外耳道内の音圧を測定する必要がある。本研究では、プローブマイクロホンとヘッドホンを用いた高周波最小可聴音圧の測定を試みた。</p> <p>十分に高い音圧であれば超音波でも検知できることが報告されているが、それが可聴音と同じ聴覚系を介して知覚されているのかどうかは明確にされていない。本研究では、高周波音に対して聴性脳幹反応を計測することにより、末梢聴覚系が高周波音に反応するのかどうか調べた。</p> <p>超音波を骨導で呈示すると、重度難聴者でも知覚されることから、補聴器への応用が提案されているが、骨導超音波の呈示レベルを測定する手法が確立していない。そこで、振動面に接触する材質や荷重量といった要因が超音波振動子の周波数特性に及ぼす影響を調べ、生体頭部振動の実測値との比較を試みた。</p> <p>感度を超音波まで含めた広い周波数帯域にて録音用マイクロホンの精密感度校正を試みた。</p>
---------	---

研究結果

東京、銀座の中央通にて、歩行者天国の実施直前と直後の環境音を広帯域マイクロホンにて録音し、比較した結果、歩行者天国実施中は、全体的な騒音レベルが8 dB低下したのみならず、通常時に観測されていた10 kHzから20 kHzにかけての突出したピーク成分がほとんど見られなかった。このことから、都市環境音にしばしば見られる高周波のスペクトルピークが、通行中の車両に起因するものと推察できる。

ヘッドホンから検査音を呈示した最小可聴音圧の測定では、検査耳ごとに外耳道内に挿入したプローブマイクロホンによって、検査音の音圧を測定することによって、ヘッドホンと検査耳とのカップリングによる音圧のばらつきの影響を低減できた。得られた最小可聴音圧は、14 kHzから20 kHzにかけて急激に上昇し、22 kHzでは、最小でも音圧レベル85 dBに達していた。結果から、外耳道内での音圧が十分に高ければ20 kHzをこえる超音波でも検知できる場合のあることが、あらためて示された。

聴性脳幹反応を指標とした測定では、心理学的手法による測定よりも全体的に閾値が高かったものの、閾値の上昇カーブの形状は、ほとんど同じであり、20 kHzをこえる音が検知されるのも、可聴音と同じ末梢聴覚系を介した感覚によることが確認された。

骨道超音波の呈示レベルを測定する手法について検討するため、40 kHzに共振周波数を持つ超音波振動子を頭部の皮膚組織に押し当て、頭部振動の周波数特性を測定した結果、ピークの周波数が30 kHz付近にまで下がるが、ピークの鋭さは保持されていることが確認された。

20,000 Hz以下は1/2インチ、20,000 Hz以上は1/4インチのそれぞれ絶対校正済みのマイクロホンを基準マイクロホンとする比較校正により、20 Hzから100 kHzの感度校正が行われた。

今後の課題

都市環境音に含まれる高周波成分の主要な音源として通行中の車両が推測されるが、車両のどのようなメカニズムが関与しているのかについては、現時点では不明である。また、そのような車両のすぐ近くや、車室内での音圧がどのくらいなのかについても、さらに詳しい計測が必要である。

検査音の音圧を検査耳ごとの外耳道内にて測定することで、ヘッドホンの装着具合による音圧の個体差が結果に及ぼす影響を低減できる。しかし、今回の実験でも、外耳道内の音圧そのものには、かなりの個体差が観測された。このことは、呈示できる最大音圧レベルが検査耳ごとに大きく異なることを意味している。検査耳ごとの測定条件を統制には、最大呈示音圧をそろえることが重要であり、検査音の呈示手法について、さらに検討が必要である。

聴性脳幹反応を指標とした聴覚閾値の測定により、22 kHz でも閾値を得られたケースがあったが、心理的手法で閾値を測定する場合には、持続時間が数百 ms から 1 秒程度の刺激を用いているが、聴性脳幹反応を誘発するには、持続時間の短い刺激を用いなくてはならない。このことは、聴性脳幹反応を指標とした閾値が心理的手法による閾値より 20 dB ほど高くなった一因と考えられる。そこで、持続時間の長い刺激を用いた誘発反応である、聴性定常反応による閾値測定も試みたが、今回は結果を得るところまで捗らなかった。

また、誘発反応を指標とする閾値測定では、波形から目視によって閾値を判定しているため、観測者の主観が影響する場合がある。より客観的な判定方法を検討する必要がある。

今回の測定により、皮膚組織に押し当てた超音波振動子から伝わる振動ピークの鋭さが保持されることが示された。骨導超音波を使用する上での適正な刺激レベルの範囲を明確にすることが今後の重要な課題である。

今回感度校正された録音用マイクロホンを用いることにより、より高い精度で高周波騒音の実態を解明することが可能になると期待される。