

平成 30 年 5 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K14079

研究課題名(和文)音源付近の加圧により音声明瞭度を向上させる現象の解明

研究課題名(英文)Elucidation of enhancement phenomena of the speech intelligibility when applying pressure near the sound source

研究代表者

添田 喜治 (Soeta, Yoshiharu)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・生命工学領域・主任研究員

研究者番号：10415698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、2種類のオルゴール、既製のスピーカー、携帯電話を音源として用い、アクリル板、プラスチック板、硬質塩ビ板、低発砲塩ビ板を用い、厚さ、曲げの強さが異なる条件で、音源付近の加圧により音圧と繰り返し成分が増加する現象を詳細に明らかにすることを目的とした。実験の結果、厚さ0.5mmのアクリル板が最も良くこの現象を再現することができた。スピーカー・携帯電話では、あまりよく現象を再現できなかった。外部から圧力を加えるのではなく、内部にこの現象を発生する仕組みを組み込むことで、既存のスピーカーや携帯電話でも加圧による音圧と繰り返し成分が増加する現象を起こすことが可能と考えられる。

研究成果の概要(英文)：It was previously discovered that the sound pressure level (SPL) and repetitive component of sound generated by a music box increased when applying pressure near the music box using a thin acrylic board. Applying this phenomenon, it is possible to increase the SPL and intelligibility of sound without increasing the amount of electric power used. The present study used four types of boards and three types of sound sources (i.e., a music box, loudspeaker, and mobile phone) to reproduce and clarify increases in the SPL and repetitive component due to pressurization near the sound source in more detail. It was found that a 0.5-mm-thick acrylic or plastic board produced the highest SPL and most repetitive component. The phenomenon could not be reproduced well for the loudspeaker or mobile phone. By incorporating a mechanism that generates this phenomenon inside a loudspeaker, it is possible to increase the SPL and intelligibility of existing loudspeakers and mobile phones.

研究分野：音響工学

キーワード：加圧 音声明瞭度 繰り返し成分

1. 研究開始当初の背景

音は、発生源である音源の振動により生じる。人間は、声帯を振動させて発声する。スピーカーやヘッドフォンは、電磁石により振動板を振動させて音を発生させる。太鼓、木琴、ヴァイオリン、ピアノ等の楽器は、弦、個体の棒、板等を叩いたり、摩擦した時にそれらの物体が振動して、音が発声する。

発生した音は、空間を粗密波として伝わる。その空間で音は、壁・床・天井等での反射・屈折・吸収の影響を受け、人間の耳に到達する。到達した音を人間は、脳で知覚・認知する。

音源の発生、伝搬に関しては、物理学、音声学、楽器音響学、建築音響学など様々な分野で多くの研究がなされてきた。我々は、ヴァイオリン(添田 2012)、寺院内(Soeta et al. 2013)、地下鉄車両内(Soeta and Shimokura 2011)の音響測定により、ヴァイオリンの魂柱(ヴァイオリン属の楽器において表板と裏板を直接つなげる唯一の棒)・寺院内陣床下の柱・新オーストリアン工法トンネルの地圧(土や岩盤の圧力)において、音源付近に圧力が加えられることによって、音圧や音の繰り返し成分が増加することを発見した。これは、従来の楽器音響学や建築音響学では説明できない現象である。

2. 研究の目的

この音源付近を加圧することで音圧と繰り返し成分が増加する現象を利用することで、スピーカー等の拡声装置から発生する音の音圧レベルや音声明瞭度を改善することを着想した。この現象は、音源付近に力を加えるという単純なことから発生しているため、適応信号処理を用いた騒音抑圧、音声強調のような複雑な計算とそれを実現するシステムなどは必要としない。さらに、新たに電力消費を必要とせず、音圧や音声明瞭度の増加を実現できる。

この現象が解明できれば、同じ入力・電力で、従来よりも音圧は大きく音声明瞭度が高いスピーカーの開発や、既存のスピーカーにデジタル信号処理するだけで音圧や音声明瞭度を改善することが可能となり、騒音下の聴取環境や高齢者・難聴者の聴取環境を改善できる。この原理により、公共放送、テレビ、カーオーディオ等のスピーカー、ヘッドフォン、補聴器など様々な製品の音の聴き取りやすさの向上が、波及効果として期待できる。

本研究では、音源に、様々な材質の板を密着させ、板の取り付け位置や圧力の加え方を変えて、音圧や繰り返し成分が増加する現象を再現し、この現象の特徴を明らかにする。

3. 研究の方法

実験は、無響室で行った。用いた音源は、2種類のオルゴール(A, B)、スピーカー(BOSE社製 SoundLink Mini)、携帯電話(Apple社製 iPhone 4s)の合計4種類であ

った。

3. 1. 測定方法

無響室内に木製の台を設置し、その上に板と音源を設置し、音源から 50 cm 離れた位置に設置した無指向性マイクロフォン(ACO社製 TYPE 7312)で、音源から発生する音を測定した。

板の種類と厚さの影響を検討するために、アクリル板(0.5, 1 mm)、プラスチック板(0.2, 0.3, 0.5, 1, 1.5 mm)、硬質塩ビ板(0.5 mm)、低発砲塩ビ板(1, 2 mm)を用いた。板の大きさは、標準で 320 mm × 180 mm、大で 320 mm × 300 mm、小で 320 mm × 120 mm であった。

板の一方はクリップで木製台に固定し、板のもう一方をクリップで留め、木製台に固定したクリップと糸で結び、板にかかる圧力を変化させた。板とクリップの自重だけの圧力弱条件、板が 45 度曲がる圧力中条件、板が 70 度曲がる圧力強条件、の合計 3 条件で実験を行った。

オルゴールから流れる音楽はそれぞれ、A が Let It Go、B が星に願いを、スピーカーと携帯電話が Motif A(ロイヤル・パヴァーヌ)と Motif B(シンフォニエッタ作品 48 第 III 楽章アレグロ・コン・プリオ)であった。スピーカーと携帯電話からは、スイープ音を出し、インパルス応答を測定した。録音した音楽は、自己相関関数を用いて解析した。

3. 2. 解析方法

自己相関関数は、ある信号とその信号の時間遅れの信号との相関係数の時間関数である。自己相関関数を計算することで得られる 5 つの指標は、(1)遅れ時間が 0 の時のエネルギー $\Phi(0)$ (等価騒音レベルに相当)、(2)正規化自己相関関数の有効継続時間 τ_e (エンベロープが 0.1 になる遅れ時間で定義される)、(3)最大ピーク振幅 ϕ_1 、(4)最大ピーク遅れ時間 τ_1 である(ϕ_1 と τ_1 はそれぞれピッチの強さと基本周波数に相当)、(5)初期減衰幅 $W_{\phi(0)}$ (スペクトル重心に相当)である(Soeta and Ando 2015)。本研究では、オルゴール A・B、スピーカー、携帯電話から出力され、無響室で録音された音楽を自己相関関数で解析し、各指標を算出した。

インパルス応答解析では、持続時間 20 秒で 20 Hz から 20 kHz まで周波数が変化するスイープ信号を用いた。スピーカー、携帯電話から出力し、無響室で録音されたスイープ信号に、逆スイープ信号をたたみ込むことでインパルス応答を得た。システムの伝達周波数特性を見るために、得られたインパルス応答をフーリエ変換して、1/3 オクターブバンド毎のパワーを算出した。

4. 研究成果

3 種類の実験を行った。実験 1 では、オルゴール A を用いて、アクリル板(0.5, 1 mm)

を用いて、板の厚さ、曲げの強さの影響を調べた。実験2では、オルゴールBを用いて、アクリル板(AC 0.5, 1 mm),プラスチック板(PL 0.2, 0.3, 0.5, 1, 1.5 mm),硬質塩ビ板(KE 0.5 mm),低発砲塩ビ板(TE 1, 2 mm)板の種類の影響を調べた。実験3では、スピーカーと携帯電話を用い、既存のスピーカーについて、音源付近の加圧により音圧と繰り返し成分が増加するか検証した。

4.1. 自己相関解析

0.5, 1 mmのアクリル板に3段階の圧力を加えてオルゴールAを鳴らした時の、自己相関関数解析結果を図1に示す。0.5, 1 mmのアクリル板に3段階の圧力を加えてオルゴールAを鳴らした結果、等価音圧レベルに相当する $\Phi(0)$ は、音源付近に圧力を加えることで音圧レベルが増加し、増加量は、アクリル板0.5 mmで中程度の圧力条件時に最大となった。有効継続時間 τ_e については、アクリル板0.5 mmで弱・中程度の圧力条件時には増加するが、それ以外の条件では減少となり、限定された条件下でのみ、音源付近に圧力を加えることで繰り返し成分が増加した。

アクリル板(0.5, 1 mm),硬質塩ビ板(0.5 mm),低発砲塩ビ板(1, 2 mm)を比較すると、 $\Phi(0)$, τ_e のどちらも、アクリル板0.5 mmで圧力・中条件が最大となった。圧力の効果は、板・厚によって様々であるが、低発砲塩ビ板に関しては、圧力が強いほど τ_e が長くなる傾向が見られた。

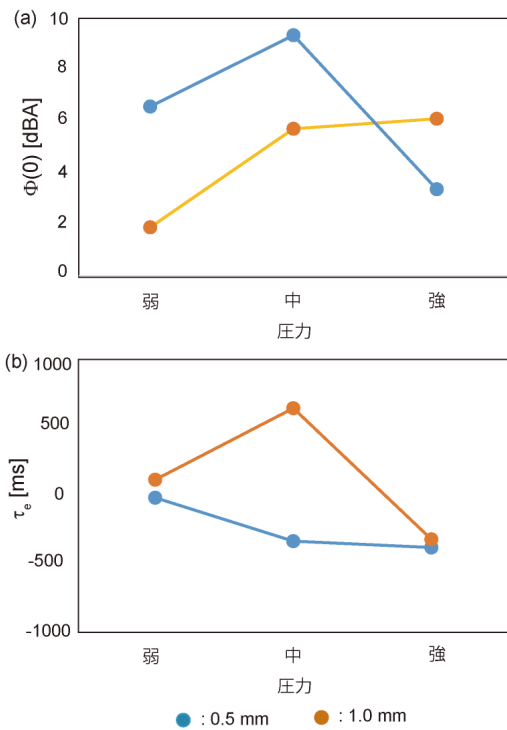


図1 0.5, 1 mmのアクリル板に3段階の圧力を加えてオルゴールAを鳴らした時の、自己相関指標($\Phi(0)$, τ_e)解析結果

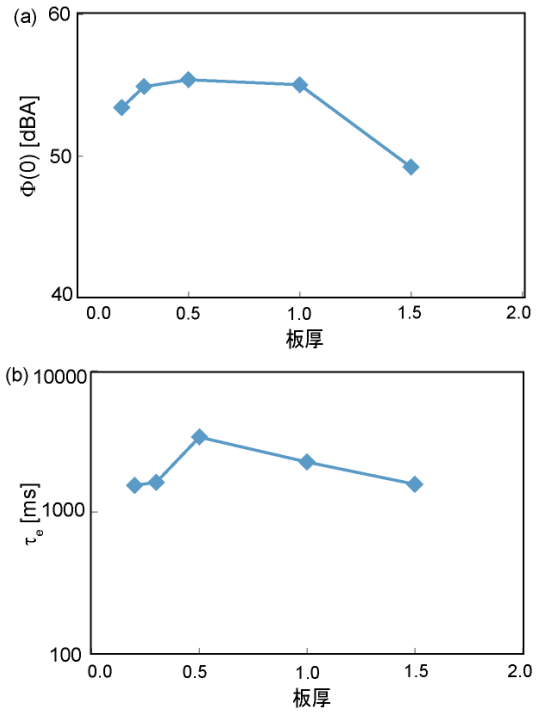


図2 種々のプラスチック板厚時と自己相関指標($\Phi(0)$, τ_e)の解析結果

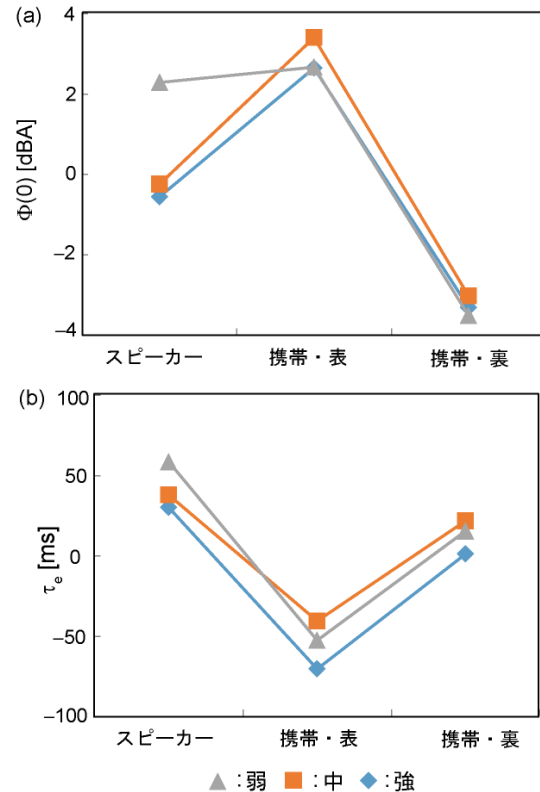


図3 スピーカーと携帯電話より音楽発生時の自己相関指標($\Phi(0)$, τ_e)解析結果

プラスチック板の厚さの影響を見ると $\Phi(0)$, τ_e のどちらも0.5 mmで最大となった

(図2). 0.2, 0.3 mmの板厚では、薄すぎてぺらぺらな感じであり、1.5 mmの板厚では、厚みがありすぎて曲げることが困難であるので、音源付近に圧力を加えることで音圧レベルや繰り返し成分を増加させるには、0.5 mm程度が適切な厚さと考えられる。

1/3 オクターブバンドパワーレベルの解析結果を見ると、どの板・厚さの条件についても、1000 Hzと2000 Hz付近が大きくなった。音源だけの周波数特性をみると、1000 Hzと2000 Hz 付近に大きなパワーが存在するが、2000 Hzのほうが大きいので、板・厚による音圧レベル増加は、1000 Hzが最大であると考えられる。

スピーカー・携帯電話に、板を接触させ圧力を加えた場合の結果、 $\Phi(0)$ は、携帯電話を表向きにした場合のみ増加した。 τ_0 は、スピーカー、携帯電話を裏向きにした場合には、増加した。音圧が増加する場合には繰り返し成分が減少し、音圧が減少する場合には繰り返し成分が増加するという傾向であった。

スピーカー・携帯電話に、板を接触させ圧力を加えた場合の1/3 オクターブバンドパワーレベルの解析結果を見ると、スピーカーの場合は、増加量は5 dB以下と少ないが、500 Hzと1000 Hz付近が増加する傾向が見られた。携帯電話を表にした場合に、2000 Hz付近に音圧レベルの顕著な増加が見られた。

4. 2. インパルス応答解析

インパルス応答を解析することにより得られた、スピーカーと板を含む音源系の伝達関数(周波数特性)を図4に示す。携帯電話を裏向きにおいて、弱い圧力をかけた時に、顕著な音圧レベルの増加が、特に200, 400 Hzといった低周波成分で見られた。携帯電話を裏向きにおいて、中程度の圧力をかけた場合や、スピーカーに弱い圧力をかけた時にも、低周波成分に約5 dBの音圧レベルの増加が見られた。500 Hz以上でも音圧レベルの増加は見られるが、周波数に関わらず一定の増加量であった。

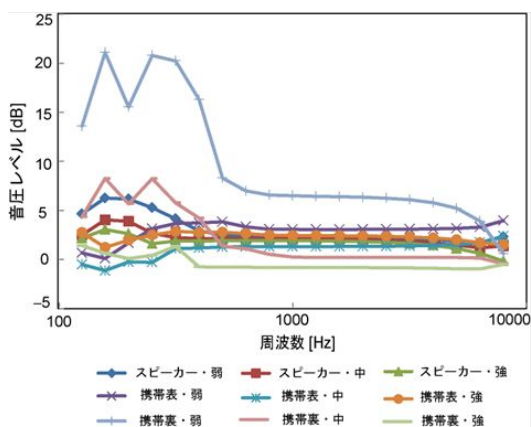


図4 音源・板を含めた音源系の伝達関数

4. 3. 考察とまとめ

本研究では、音源に、様々な材質の板を密着させ、板の取り付け位置や圧力の加え方を変えて、音源付近に圧力を加えることで音圧や繰り返し成分が増加する現象を詳細に調べた。過去の研究では、非常に限られた条件での実験であったので、今回より詳細に現象の特徴をつかむことができた。

音源付近に圧力を加える板としては、アクリル板、プラスチック板、硬質塩ビ板、低発砲塩ビ板を検討したが、この中ではアクリル板が最も良いことがわかった。厚さとしては、0.5 mmが良いことがわかった。柔らかすぎず硬すぎず、適度な柔軟性のある板・厚さが良いようであるが、最適条件については、今後シミュレーション等により検討する予定である。

板の大きさに関しては、板の大きさが変わると、音圧レベルの増加する周波数が変化した。これは、板の共振と関連していると考えられるが、板の大きさと共に共振周波数が低下するといった単純な効果でないので、共振以外の要素がこの現象に関係していると考えられた。これは、音源に板をどのように接触させ、どのように圧力を加えるかが関連すると考えられるので、接触、圧力の加え方については、今後さらに検討していく予定である。

過去の研究(添田 2012)においては、音源付近に圧力を加えることで、音圧レベルと自己相関関数の有効継続時間がどちらも増加したが、今回のいくつかの実験条件においては、音圧レベルの増加が大きいときに、有効継続時間 τ_0 が減少した。これも、音源に板をどのように接触させ、どのように圧力を加えるかが関連すると考えられるので、接触、圧力の加え方については、どのようにすれば音源の振動を板によって大きく増幅できるか、さらに検討していく。

スピーカー、携帯電話を用いた検討において、オルゴールと同様に、音源付近に圧力を加えることで音圧や繰り返し成分が増加する現象を確認することができた。これは、この現象を利用して、既存のスピーカーに板を接触させて圧力を加えるだけで、音圧レベルや繰り返し成分を増加、つまりスピーカーから発生する音の明瞭度を改善できることを意味している。しかし、今回の実験で得られた音圧レベルや繰り返し成分の増加量は、オルゴールでの検討結果ほど大きいものではなかった。これは、音源の振動部分に直接板を接触できていないためと考えられる。今後は、スピーカー・携帯電話の振動部分にうまく圧力を加える方法を検討する。また、板の大きさに関しても、今回の検討した条件では、実用上は難しい場合が多いので、実用上使える大きさでの検討を行う。

<引用文献>

添田喜治, 人が高級, 心地よいと感じる音,

新製品開発における高級感・上質感・本物感の付与技術 340-347 (2012).

Soeta, Y., Shimokura, R., Kim, Y., Ohsawa, T., and Ito, K., Measurement of acoustic characteristics in relation to sound source location and direction of Japanese Buddhist temples, Journal of Acoustical Society of America, 133, 2699-2710 (2013).

Soeta, Y., and Shimokura, R., The impact of external environments on noise inside a train car, Noise Control Engineering Journal, 59, 581-590 (2011).

Soeta, Y., and Ando, Y., Neurally based measurement and evaluation of environmental noise, Springer, (2015).

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Yoshiharu Soeta, Elucidation of enhancement phenomena of sound pressure level and repetitive components by applying pressure near sound source, ICIC Express Letters, Part B:Applications, 査読有, vol. 9, No. 6, pp. 509-514, 2018
DOI:10.24507/icicelb.09.06.509

Yoshiharu Soeta, Ryota Shimokura, Application of correlation analysis for temporal design in our environment, Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration (ICSV22), 査読無, pp. 1-8, 2015

〔学会発表〕(計2件)

Yoshiharu Soeta, Elucidation of enhancement phenomena of sound pressure level and repetitive components by applying pressure near sound source, 12th International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2017), 国際学会, 2017

Yoshiharu Soeta, Ryota Shimokura, Application of correlation analysis for temporal design in our environment, 22nd International Congress on Sound and Vibration(ICSV22), 国際学会, 2015

〔図書〕(計2件)

Yoshiharu Soeta, Intech, Chapter11:Psychophysiological Evidence of an Autocorrelation Mechanism in the Human Auditory System, In Advances in Clinical Audiology, オープンアクセス図書の一部, 2017, 20p.

DOI: 10.5772/66198

Yoshiharu Soeta, Yoichi Ando, Springer, Neurally based measurement and evaluation of environmental noise, 2015, 264p.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://staff.aist.go.jp/y.soeta>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

添田 喜治 (SOETA, Yoshiharu)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・バイオメディカル研究部門・主任研究員

研究者番号：1045698