

電車内放送における最適音量制御指針の検討

斉藤 肇[†] 金田 豊[†] 山本 聡[‡] 家口 孝一[‡]

[†] 東京電機大学大学院工学研究科 〒120-8551 東京都足立区千住旭町 5 番

[‡] 八幡電気産業株式会社 〒108-0074 東京都港区高輪 3 丁目 25 番 23 号

E-mail: [†] {14kmc11@ms, kaneda@c}.dendai.ac.jp, [‡] {yamamoto_sa, kaguchi-k}@yawatadenki.co.jp

あらまし 列車の走行中等の非常に大きな騒音下では、電車内放送が聞き取りづらくなる問題が生じる。この問題の解決法として音量の増加が考えられるが、過度な音量の増加は、耳障り感の発生につながる。これらの問題を解決するためには、最適な音量制御を行うことが必要である。本稿では、実録走行騒音及び実際の放送音源を用いて、それぞれの条件下での最適音量評価実験を行い騒音と最適音量の関係について検討を行った。しかし実験の結果最適音量は、1) 騒音の種類、2) 放送音声の種類によって大きなばらつきが発生することが分かった。本稿ではこれらの問題の対策として、1) 従来の A 特性に代わる騒音の評価特性の提案、2) 耳障り感のある放送音声への耳障り感低減処理を行うことで問題を解決し、騒音や放送音声による最適音量の差を低減した放送音量制御指針を得ることができたことを報告する。

キーワード 車内放送, 音量制御, 走行騒音, 耳障り感, 明瞭性

Study of optimum sound level control for broadcasting in a train

Hajime SAITO[†] Yutaka KANEDA[†] Satoshi YAMAMOTO[‡] and Koichi KAGUCHI[‡]

[†] Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University, 5 Senju-Asahi-cho, Adachi-ku, Tokyo, 120-8551 Japan

[‡] Yawata Electric Industrial Co., Ltd., 3-25-23 Takanawa, Minato-ku, Tokyo, 108-0074 Japan

E-mail: [†] {14kmc11@ms, kaneda@c}.dendai.ac.jp, [‡] {yamamoto_sa, kaguchi-k}@yawatadenki.co.jp

Abstract Under the very loud noise in a running train, it is difficult to listen to broadcasts. An increase in the broadcasting sound level is a possible solution to this problem. However, excessively increasing the broadcasting sound level is unpleasant for passengers. To solve this problem, optimum control of the sound level is required. In this study, the optimum broadcasting sound levels for various noise levels are investigated by performing subjective listening tests using real train announcements and recorded train noise. However, it was found that the optimum broadcasting sound level strongly depends on 1) the noise spectrum and 2) the variation among announcements. To solve the problem, we propose 1) a new alternative noise evaluation method to the conventional A-weighted method and 2) a method that reduces the stimulativeness of phonemes. Using these methods, optimum broadcasting sound level control that is less dependent on the noise spectrum and variation among announcements can be realized.

Keywords Broadcasting, Sound level control, Driving noise, Unpleasantness, Intelligibility

1. はじめに

電車の中では、様々な情報を乗客に伝えるために、車内放送システムが使用されている。近年では、プロのアナウンサーの声を事前に録音し、自動的に放送するシステムが導入されており、従来の車掌が行う電車内放送より、明瞭性の高い放送を実現している。

さて、列車の走行中には騒音が発生する。そして、地下の高速走行の場合など、場合によっては 90dB(A) 以上の大きな騒音となることがある。このような高騒音下では、放送音声がかえづらくなる問題が発生する。この問題の解決策として音量の増加が考えられる。しかし、過度な音量の増加は、放送音声がかえづらくなる問題が発生する。この問題の解決策として音量の増加が考えられる。しかし、過度な音量の増加は、放送音声がかえづらくなる問題が発生する。

るという別の問題の発生につながる。そのため電車内では、騒音を考慮した最適な放送音量制御の指針が必要である。

従来間嶋らや篠原らによって、高騒音下での電車内放送音量について、適切性、了解度、耳障り感の3点の関係が検討されてきた[1][2]。しかし、具体的な電車内の放送音量制御指針は、まだ明確化されていない。

本稿では、実際に電車内で測定した騒音及び電車内で使用されている放送音声を用いて、最も良い(音声が明瞭でかつ音量が大きすぎない)放送音量(以下最適音量と呼ぶ)を受聴実験により測定した。そして、その結果を基に測定した騒音の大きさから、最適音量を決定する Fig. 1 に示すような音量制御指針を作成することを目的とした。

2. 電車内騒音下における最適音量受聴実験

実験した電車内騒音環境下で、放送音声(実用されている女声アナウンス音声)の最適音量を被験者に評価してもらう実験を行った。

2.1. 実験環境

実験は、容積 102 m³、残響時間 0.6s の室内で行った。Fig. 2 に実験の配置図を示す。先ず、2台のスピーカ A、B を拡散性を持たせるように壁面を向けて設置し、実録騒音を再生した。また、スピーカでは出力が難しい低域の部分をサブウーファーで補った。

次に被験者の正面で耳元から 1m 先に放送音声を流すスピーカ C を設置した。被験者が音量を調整できるようにするため、ミキサーを被験者前に設置した。

2.2. 走行騒音

Fig. 3 に実際に実験で使用した走行騒音のスペクトルを示す。電車内騒音の特徴として全ての騒音が低域に強いパワーを持っている。一方、1kHz 以上の周波数成分にはカーブやブレーキ、車体やトンネルの構造等の影響によって、パワーの差が現れている。本実験では、走行中の騒音の中から代表的なスペクトルを持つ 6 つの騒音を選出して使用した。

実際の地下走行中の電車内では、約 60~90dB(A) の騒音が発生している。そのため本実験では、60, 70, 80, 90dB(A) となるように騒音を 4 段階に変化させ実験を行った。

2.3. 放送音声

放送音声は実際の車内放送で使用されている女性アナウンス 2 種を使用した。アナウンスの内容は、全アナウンスから無作為に選んだ「大岡山」、「右側です」を使用した。

2.4. 評価方法

実験条件をまとめた表を Table. 1 に示す。各騒音条件下(騒音 6 種、騒音レベル 4 段階、計 24 種)の走行騒音を再生し、放送音声(2 種)を被験者正面のスピーカか

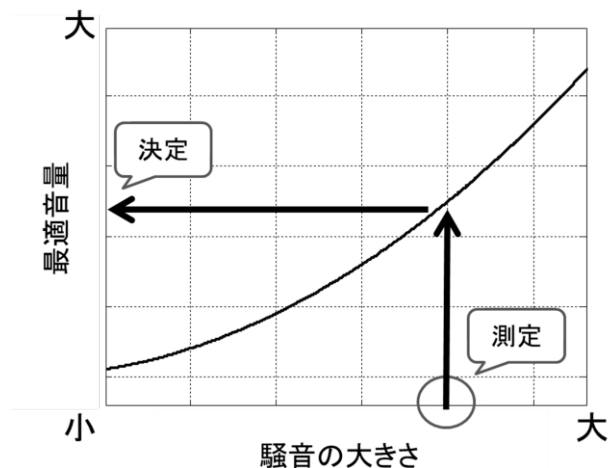


Fig. 1 目的とする放送音量制御指針

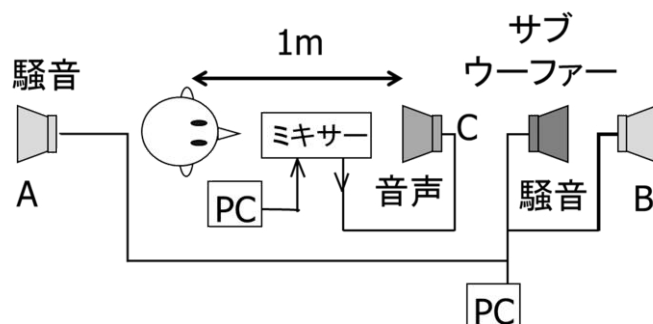


Fig. 2 実験の配置図

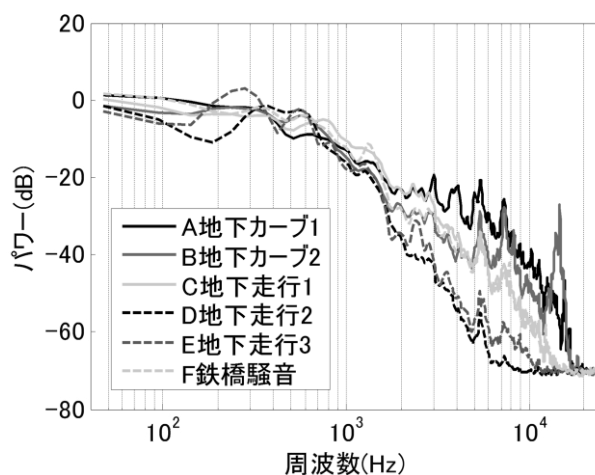


Fig. 3 実験に使用した実録走行騒音のスペクトル

Table. 1 実験条件

放送音声	2 種	「大岡山」 「右側です」
騒音	6 種	地下カーブ騒音 2 種 地下走行騒音 3 種 鉄橋走行騒音 1 種
騒音レベル	4 段階	60, 70, 80, 90dB(A) の 10dB 刻み
被験者	6 人 (20 代)	

らループ再生した。被験者はミキサーで音量を最低値から上げ、最適である音量だと思ふところで止めるように指示した。音量の上げ下げによる調整は可とした。被験者は成人の健聴者6名で行った。

3. 騒音の違いによる最適音量受聴実験結果

3.1. A特性騒音レベルを用いた最適音量の評価

各騒音条件下(騒音の種類・レベル)において各被験者の選択した最適音量を、被験者と放送音声に関して平均し、これを最適音量として Fig. 4 に示した。Fig. 4 の横軸は A 特性騒音レベル、縦軸は最適音量を表す。この図から、A 特性で騒音を評価した場合、同じ騒音レベルであっても騒音の種類により、最適音量の差が最大 8dB と大きくなるのが分かった。この結果は、A 特性騒音レベルで最適音量を求めると、最適音量が1つに定まらなくなり、適切な放送音量制御ができないことを意味する。

3.2. A 特性騒音レベルによる最適音量の差の原因

Fig. 5 に同じ A 特性騒音レベルの値を持つ騒音2種(A, D)と放送音声の平均パワースペクトルを重ねた図を示す。この図から放送音声の低域に対しては、どちらの騒音でも同様に放送音声がマスキングされているのに対して、高域に関しては騒音の種類によって放送音声へのマスキングの仕方が異なることが確認できる。この結果から、放送音声の了解性を確保するためには、騒音Aの場合は騒音Dの場合より放送音声の最適音量が大きくなる必要があることが分かる。

また、Fig. 6 に A 特性のゲイン特性を示す。A 特性は、1~8kHz 付近大きなゲインを持ち、周波数が1~8kHz から離れていくにつれてゲインが小さくなる特性を持っている。Fig. 5 と併せて考えると騒音を A 特性で評価した場合、電車内騒音下において聞き取りに重要である、高域の騒音の大きさが騒音レベルには十分に反映されていないことが分かった。

これらの事が、A 特性では同じ騒音レベルであっても放送音声に対する「騒音の妨害の大きさ」を正しく評価できない原因であると考えた。

4. A 特性に代わる騒音評価特性

4.1. 提案する騒音評価特性

Fig. 4 において騒音Aは、同じ A 特性騒音レベルであっても、他の騒音に比べて高い放送音量を必要とする。一方、Fig. 3 において騒音Aは他の騒音に比べて高域に強いパワーを持っている。同様に騒音B, C, F など、Fig. 3 において最適音量が大きい騒音ほど高域に強いパワーを持っている傾向がある。

そこで、「騒音の妨害の大きさ」を考える上で重要である、高域の強い騒音を大きく評価することを考えた。Fig. 5 の放送音声と騒音のスペクトルの関係から、特に 1kHz 以上の周波数が電車内騒音下の聞き取り重

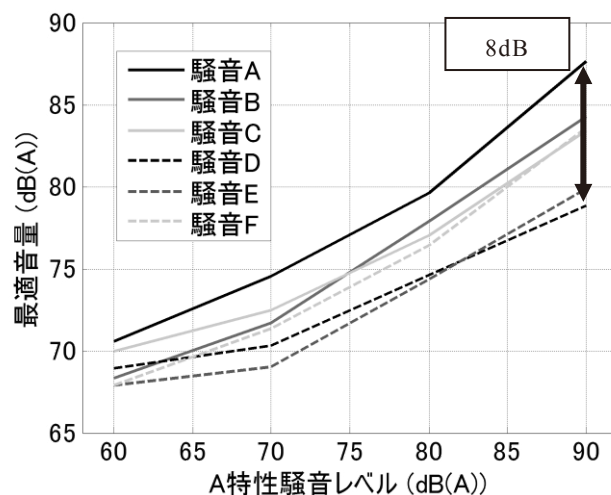


Fig. 4 A 特性騒音レベルを用いた最適音量の評価

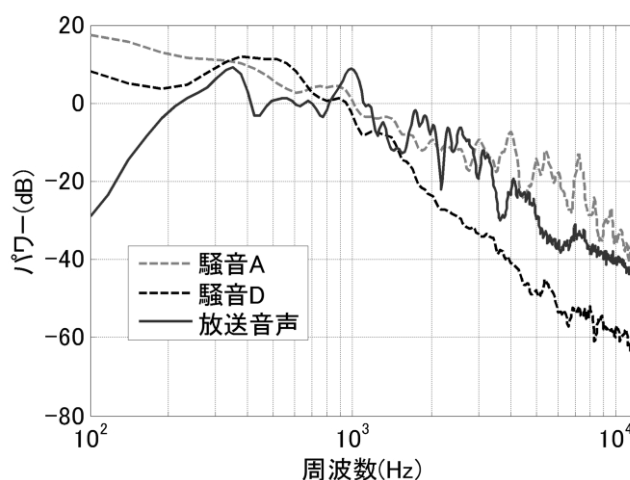


Fig. 5 放送音声と騒音のスペクトル

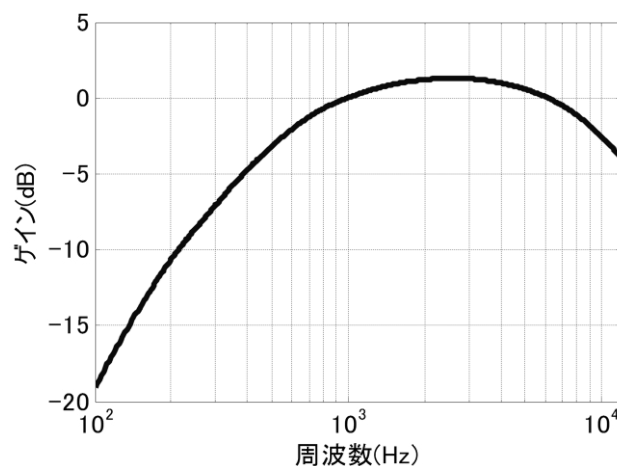


Fig. 6 A 特性のゲイン特性

要であることが分かる。しかし、Fig. 3 の騒音のスペクトルから、騒音は高い周波数になるにつれてパワーが小さくなるため、高域のパワーの違いが全周波数を合わせた騒音の大きさに反映されない。

そこで、1kHz 以上の高域の騒音成分を反映させるた

めに、高域強調特性を持つ1次差分フィルタを用いて高域を大きく評価した。また、どの騒音でも同様に音声の埋もれてしまう1kHz以下の騒音をカットするハイパスフィルタを用いた。以上の2つのフィルタを組み合わせたものを提案特性とした。Fig. 7に提案特性のゲイン特性を示す。

従来法と提案する騒音レベルの算出法の違いをFig. 8に示す。従来、電車内の騒音の大きさを得るためには、録音した電車内騒音に対して、A特性を掛けた後にパワーを計算することでA特性騒音レベルを算出していた。対して提案法では、録音した電車内騒音に対して提案特性を掛けた後にパワーを算出することで提案特性を用いた騒音レベルを算出した。

4.2. 提案法を用いた評価結果

3.1で説明した最適音量受聴実験の結果(Fig. 4)に対し、提案特性を用いて評価した騒音レベルを横軸として書き直したものをFig. 9に示す。Fig. 9に示されたように、提案特性を用いることにより、騒音の種類による最適音量の差が3dB以下となった。このことから提案特性を用いることにより、より適切な音量制御指針が得られることが確認できた。

また、被験者個人内の最適音量のばらつきを見るために、一つの騒音レベルに対する各被験者の最適音量の標準偏差を計算した。Fig. 4では、電車内騒音で一般的な大きさである80dB(A)の標準偏差、Fig. 9では60dBでの標準偏差を求めた。その結果、Fig. 4では、約1.9dB、Fig. 9では、約1.0dBとなった。この結果から提案特性を用いることで、被験者個人内の最適音量のばらつきが約1dB抑圧できることが確認できた。

5. 放送音声の違いによる最適音量受聴実験

3章で述べた最適音量受聴実験の結果では、放送音声の平均を最適音量と再定義したため、放送音声の種類の違いによる最適音量の差について考えていなかった。そこで、放送音声の数を増やし放送音声の種類の違いによる最適音量の差について検討を行った。

5.1. 実験条件

実験環境は2章のFig. 2と同様の環境で行った。また、実験条件をまとめた表をTable. 2に示す。放送音声は、2章の実験条件で示した、「大岡山」、「右側です」に加えて「急行電車の停車駅は」、「終点尻手です」の2種を加えた計4種で行った、騒音はFig. 3で示した実録騒音A、C、Dを用いた。また、騒音レベルは2章で行った実験同様に60、70、80、90dB(A)となるように変化させて実験を行った。

5.2. 評価方法

各騒音条件下(騒音3種、騒音レベル4段階、計12種)及び放送音声(4種)を使用し最適音量受聴実験を行った。実験方法については2章で行った実験と同様の

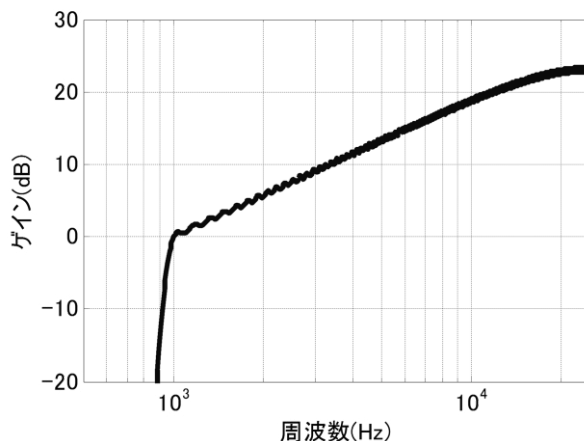


Fig. 7 提案特性のゲイン特性

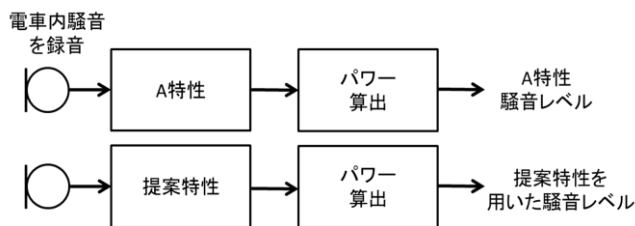


Fig. 8 提案特性を用いた騒音の評価法

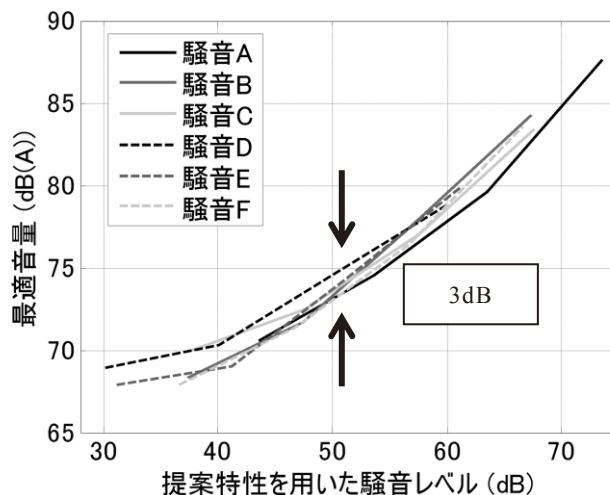


Fig. 9 提案特性を用いた騒音レベルと最適音量の関係

Table. 2 実験条件

放送音声	4種	(a)「急行電車の停車駅は」 (b)「終点尻手です」 (c)「大岡山」 (d)「右側です」
騒音	3種	地下カーブ騒音1種 地下走行騒音2種
騒音レベル	4段階	60, 70, 80, 90dB(A)の 10dB刻み
被験者	6人 (20代)	

条件で行った。

5.3. 放送音声の違いによる最適音量の差

各騒音条件下(騒音の種類・レベル)において各被験者の選択した最適音量を、被験者と騒音の種類に関して平均し、これを最適音量と再定義した。

各放送音声の、騒音レベルと最適音量との関係を曲線近似したものを Fig. 10 に示す。Fig. 10 の横軸は 4 章で提案した Fig. 7 の特性を通して測定した騒音レベル(以下単に「騒音レベル」と略称)を表す。

Fig. 10 より、放送音声の種類の違いによって最適音量に最大 3dB 程度の差があることが分かる。また、放送音声(a), (b)のように、放送音声(c), (d)に比べて、最適音量が小さくなる傾向のある放送音声があることが確認できた。

5.4. 放送音声の違いによる最適音量の差の原因

従来、電車内放送音声においては、耳障りに感じやすい音韻が有ることが確認されており、それは、1) 2-4kHz の周波数成分が強い有声音、2) 高い周波数成分が強い無声音であることが報告されている[3]。Fig. 11 に耳障りに感じやすい音韻のスペクトログラムを示す。

Fig. 11 において有声音である「きゅ」は 2-4kHz の周波数成分に強いパワーを持っていることが分かる。このような有声音は、人の聴覚特性最も聞こえやすい帯域であるため、耳障りに感じてしまう。

また、Fig. 11 において無声音である「し」は、6kHz 以上の周波数成分に強いパワーを持っていることが分かる。このような無声音は、主に低域に強いパワーを持っている電車内騒音下では、埋もれにくく他の音韻よりも耳障りに感じてしまう。

そして、Fig. 10 で最適音量が小さい放送音声(a), (b)にはそれぞれ「急行」の「き」、「尻手です」の「し」や「す」のように耳障りに感じやすい音韻が含まれていた。よってこれらの耳障りな音韻を含む放送音声は音量を増加させると耳障りに感じる音韻の影響が強くなるため、放送音声の最適音量が低下したと考えた。

5.5. 耳障り音韻への対策と結果

放送音声の種類による最適音量の差を減少させるためには、音声に含まれる耳障り音韻に対する耳障り感低減処理が有効だと考えられる。本稿では菊池らの提案した一次差分を用いた耳障り感低減処理[4]を用いた。この手法の処理手順について、Fig. 12 に示す。

まず、一次差分フィルタで放送音声の高周波成分を強調し、強調した音声信号を短時間窓かけで短時間区間の信号に分割する。そして、分割した短時間区間信号の中でパワーレベルの大きい区間を耳障り音韻区間と推定する。最後に、耳障り音韻と推定した区間の振幅を抑圧し、短時間に分割された信号を合成する。こ

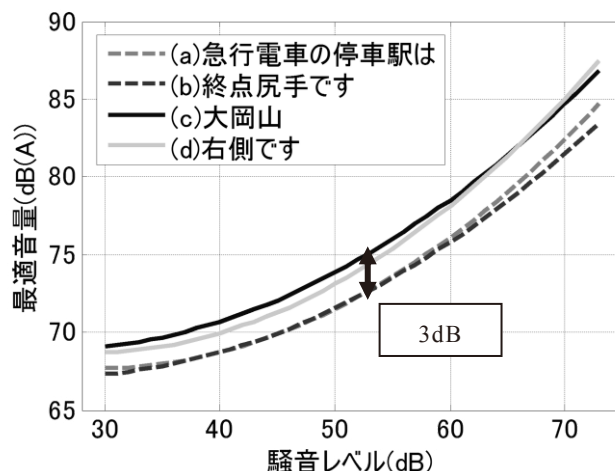


Fig. 10 放送音声の種類の違いによる最適音量の差

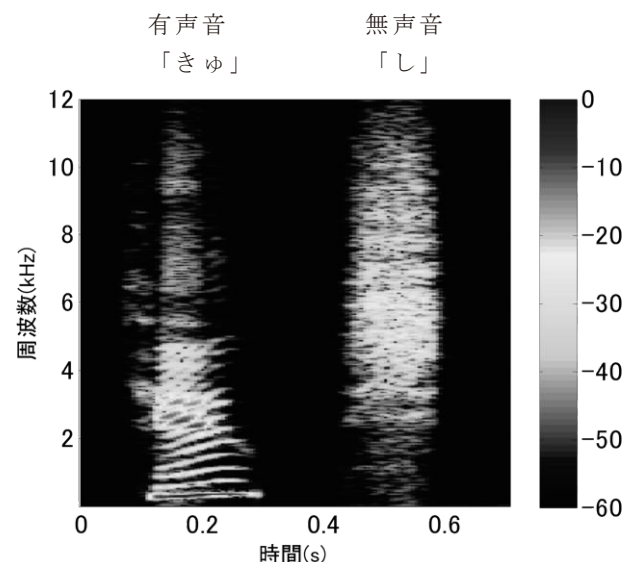


Fig. 11 耳障りに感じやすい音韻

の方法は、音声の不自然感や明瞭性の低下を生ずることなく、耳障り感を低減できると報告されている。

放送音声(a), (b)に対して耳障り感低減処理を行った後、同様の実験条件で最適音量の受聴実験を行った結果を Fig. 13 に示す。Fig. 10 と比べて、耳障りに感じやすい音韻を含んだ放送音声(a), (b)の最適音量が、耳障り感低減処理を行うことで耳障りに感じる音韻を含まない放送音声(c), (d)の値まで増加することが分かった。その結果、放送音声の種類による最適音量の差を Fig. 10 の 3dB から Fig. 13 の 1dB に低減することができた。このことから、耳障り音韻を含む放送音声に対して事前に耳障り感低減処理を用いることで、放送音声の種類による最適音量の差が小さい音量制御が実現

できることが確認できた。

また、3章と同様に Fig. 10, Fig. 13 の個人内における最適音量について標準偏差を計算した結果、Fig.10 では 1.6dB, Fig. 13 では 1.3dB となることが分かった。この結果、放送音声に含まれる耳障り感を抑圧することで、個人内の最適音量のばらつきも 0.3dB 低減することができることが確認できた。

6. まとめ

本稿では、列車内で録音した実録騒音と、実際に電車内で使用されている女声アナウンスを使用し、最適音量を受聴実験により測定した。実験の結果、最適音量は、1) 騒音の種類によって 8dB の差、2) 放送音声の種類の違いによって 3dB の差が発生することが分かった。これらの問題の対策としてそれぞれ、1) 従来の A 特性に代わる騒音の評価特性の提案、2) 耳障り感のある放送音声への耳障り感低減処理を行うことで、騒音の種類及び放送音声の違いによる最適音量の差をそれぞれ、1) 3dB、2) 1dB 以下に低減することが確認できた。また、1) 2) の処理を行うことで被験者個人の最適音量のばらつきも低減できることが分かった。これらの事から、従来の音量制御に比べ、放送音声や騒音による差の少ない音量制御指針を得ることができた。

文 献

- [1] 間嶋匠 也, ”高騒音下における車内放送音声の最適音量の検討”, 電子情報通信学会応用音響研究会資料, EA2012-91, 2012.
- [2] 篠原亮 也, ”高騒音下における車内放送音量の検討”, 音響学会春季講演論文集, pp. 983-984, 2013.
- [3] 松井一樹 也, ”高騒音下における車内放送声の耳ざわり感低減の検討”, 音響学会春季講演論文集, pp. 807-808, 2009.
- [4] 菊池祥太 也, ”耳障り検出フィルタを用いた電車内放送音声品質向上の検討”, 音響学会秋季講演論文集, pp. 847-848, 2012.

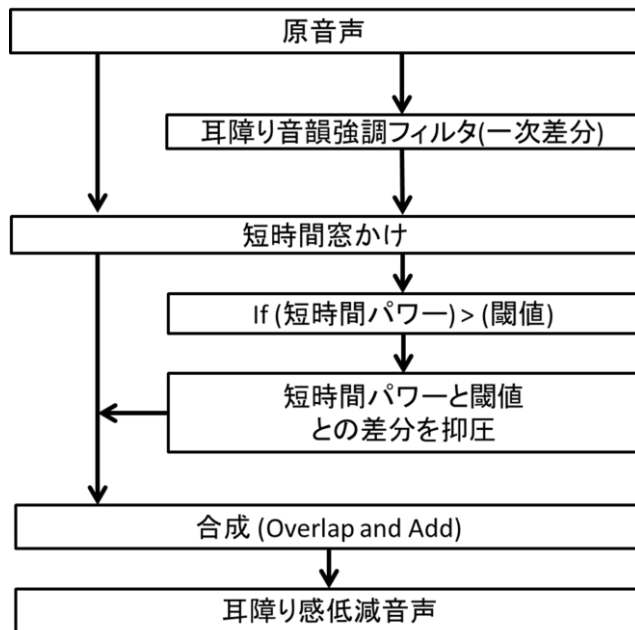


Fig. 12 一次差分を用いた耳障り感低減処理の処理手順

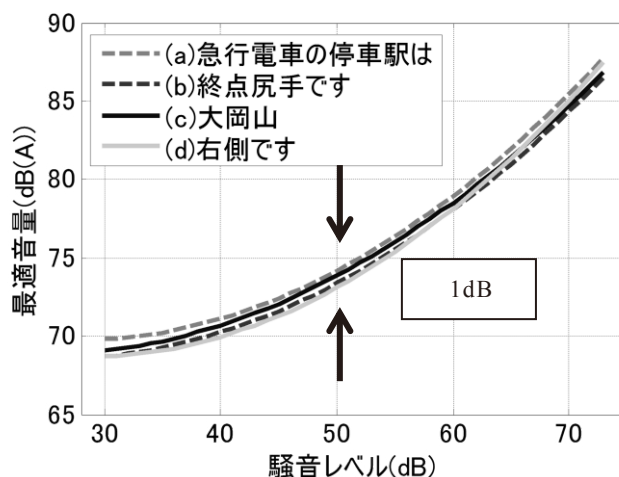


Fig. 13 耳障り感低減処理後の放送音声の種類の違いによる最適音量の差