

新幹線保守用車の安全装置の音量設定に関する研究

伊藤 大介* 上田 真由子 (西日本旅客鉄道株式会社)

石上 寛 (元西日本旅客鉄道株式会社) 中川 千鶴 (鉄道総合技術研究所)

A study on the volume setting of the alarm of the safety device installed on a Shinkansen maintenance car
 Daisuke Ito*, Mayuko Ueda, (West Japan Railway Company)
 Hiroshi Ishigami (former West Japan Railway Company), Chizuru Nakagawa, (Railway Technical Research Institute)

The drivers of a Shinkansen maintenance car are driving and working under the variously changing noises. It is necessary for them to be able to hear the alarm from the safety device installed on the car surely and comfortably under these noises. In the experiment executed in this study, we examined the most suitable volume of the alarm of the safety device under the noises, based on the subjective evaluation by subjects. Based on this experiment result, we examined the most suitable setting method of the volume of the alarm of the safety device and suggested a concrete and appropriate volume setting method.

キーワード：保守用車、安全装置、報知音、音声案内、騒音環境

(Keywords : maintenance car, safety device, information sound, sound guidance, noise)

1. はじめに

JR西日本の新幹線保守用車の運転台には様々な安全装置が装備されている。これらの安全装置の聴覚表示は、周辺騒音の状況によって、聴きづらい、あるいは、うるさすぎる場合があり、音量の最適化が必要となっている。このためには、安全装置の音量設定を状況に応じて変える必要がある。当然ではあるが、危険が差し迫った状況では聴き取れることを最優先し、多少不快でも大きな音量に設定すべきであり、これについては適用可能な規格も多い⁽¹⁾。一方で、それ以外の状況（危険が差し迫ってはいないが注意喚起等の情報提供が必要な状況）では、前述したように、聴取可能で、かつ不快でない音量に設定すべきであると考えられる。しかし、これに該当する規格がほとんどないのが実状である。

そこで、本研究では保守用車の車内という様々に変化する騒音環境下で運転操作をしながら聴く音について、聴取可能で、かつ不快でない音量を提案することを目的とした。

2. 実験

(2.1) 実験概要

本研究では、実験室において新幹線保守用車内の騒音環境を再現し、そこに安全装置の聴覚表示を提示して、実験協力者に主観的な評価を求めた。なお、評価の際には、運

転操作を行う状況を再現するため、実験協力者に保守用車の運転台を模擬したシミュレータを操作させた (図1)。

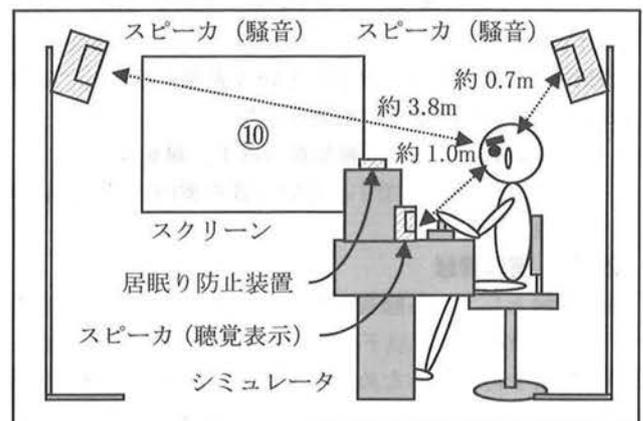


図1 装置配置

Fig. 1. Device placement.

(2.2) 実験協力者

- a 現場オペレータ：関連会社社員 13 名 (年齢：20～61 歳、平均年齢：33.3 歳、経験年数：2 年 4 ヶ月・40 年)
- b 一般者 (オペレータ未経験者)：当社間接部門社員 24 名 (年齢：29～51 歳、平均年齢：37.8 歳)

表1 報知音の実験結果

Table 1. Experiment results of the information sound.

| 項目 | 57 dB騒音 | | | 72 dB騒音 | | | 77 dB騒音 | | | 82 dB騒音 | | |
|----------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | 最小 | 最適 | 最大 |
| 平均値(Ave) | 36.9 | 69.9 | 73.8 | 40.9 | 71.8 | 75.3 | 47.5 | 72.8 | 76.2 | 47.4 | 73.4 | 76.9 |
| 標準偏差(SD) | 0.5 | 3.1 | 3.0 | 2.0 | 3.1 | 3.0 | 2.8 | 3.1 | 3.0 | 2.2 | 2.5 | 2.9 |
| 最大値(Max) | 39.1 | 76.2 | 80.7 | 45.2 | 77.0 | 81.9 | 53.8 | 79.5 | 86.0 | 51.1 | 78.7 | 83.9 |
| 最小値(Min) | 36.7 | 62.3 | 67.5 | 37.3 | 64.7 | 68.6 | 42.2 | 67.6 | 69.7 | 43.5 | 67.6 | 70.5 |

表2 音声案内の実験結果

Table 2. Experiment results of the sound guidance.

| 項目 | 57 dB騒音 | | | 72 dB騒音 | | | 77 dB騒音 | | | 82 dB騒音 | | |
|----------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | 最小 | 最適 | 最大 |
| 平均値(Ave) | 40.3 | 66.6 | 69.7 | 50.8 | 69.2 | 72.1 | 56.9 | 71.3 | 73.3 | 58.6 | 73.1 | 75.1 |
| 標準偏差(SD) | 1.6 | 3.0 | 2.9 | 1.9 | 2.4 | 2.8 | 1.6 | 2.1 | 2.7 | 2.2 | 1.9 | 2.3 |
| 最大値(Max) | 43.2 | 71.7 | 75.5 | 54.9 | 73.2 | 77.7 | 59.7 | 77.0 | 79.1 | 62.9 | 77.7 | 81.3 |
| 最小値(Min) | 37.5 | 61.1 | 65.8 | 46.5 | 63.6 | 66.4 | 52.9 | 67.4 | 67.4 | 54.0 | 69.9 | 70.7 |

(2・3) 騒音

現場の騒音調査を基に以下4つの騒音を提示した。なお、値はいずれも等価騒音レベルである。

- a 停車中の57dBAの騒音(以下、57 dB騒音)
- b 走行中の72dBAの騒音(以下、72 dB騒音)
- c 走行中の77dBAの騒音(以下、77 dB騒音)
- d 走行中の82dBAの騒音(以下、82 dB騒音)

(2・4) 聴覚表示

「ピンポン、〇〇m先□□です」(〇〇には「200」「300」「400」「500」のいずれかを、□□には「保守用車」「線閉」「分岐器」のいずれかを表示)という表現を設定し、実験では以下2種類の聴覚表示を提示した。

- a 「ピンポン」という報知音(以下、報知音)
- b 「〇〇m先□□です」という音声案内(以下、音声案内)

(2・5) 実験課題

実験課題として、各騒音環境下で、聴覚表示の音量を変化させ、実験協力者は以下の3つの項目に回答した。なお、実際の作業を再現するため、実験協力者は保守用車の運転台を模擬したシミュレータを操作しながら回答した。

- a 内容が聴き取れる最小の音量(以下、最小音量)
- b 最も聴き取りやすい音量(以下、最適音量)
- c うるさいと感じない最大の音量(以下、最大音量)

(2・6) 実験の流れ

上述した4つの騒音環境下における2種類の聴覚表示について、音量を3dBずつ増大/減少させて提示し、実験協力者に主観的な評価を求めた。

なお、各騒音や聴覚表示条件の提示順序および音量の増減の順序は、全て乱数で決定した。また、1つの回答項目(例:82 dB騒音の報知音の最大音量)について、音量を上げながら2回、音量を下げながら2回、計4回の回答を求め、これらの平均値を実験協力者の回答の代表値とした。

3. 実験結果

(3・1) 集計結果

全実験協力者(37名)の回答から、各騒音における最小音量、最適音量、最大音量の平均値(Ave)、標準偏差(SD)、最大値(Max)、最小値(Min)を求めた(表1、表2)。値はいずれも等価騒音レベルである。また、図2と図3は前述の結果をグラフ化したものである。縦軸の値は聴覚表示の等価騒音レベルを示している。

なお、各項目について現場オペレータと一般者で一元配置の分散分析を行ったが、いずれの項目についても統計的な有意差を確認できなかったため、全実験協力者の集計を分析に用いることとした。

(3・2) 考察

まず、最小音量、最適音量、最大音量のいずれも、騒音の音量が上がるに従い平均値が増加しているが、騒音が最大25dB増加していることを考慮すると、その増加幅が小さいことがわかる。今回使用した聴覚表示と騒音の周波数に関して、報知音では800Hz~2kHz、音声案内では200Hz~2kHzが卓越しているのに対し、騒音は音量が増加するに従い125Hz~315Hzのレベルが増加していることから、マスキングの影響が少なかった可能性が考えられる。また、最適音量や最大音量に関して言えば、これらの音量はそもそも周辺騒音の影響をあまり受けない可能性もある。

次に、各騒音において、最小音量と最適音量の平均値の差と、最大音量と最適音量の平均値の差を比較すると、どの騒音においても後者の方が小さいことがわかる。実験後のヒアリングで「安全装置の音なので最適音量は若干大きめの音量となるように回答した」との意見も聞かれたことから、最適音量は「実験協力者の安全装置の音量に対する認識」に影響を受けていることが考えられる。ただし、シミュレータの操作や騒音など他の影響も否定できない。

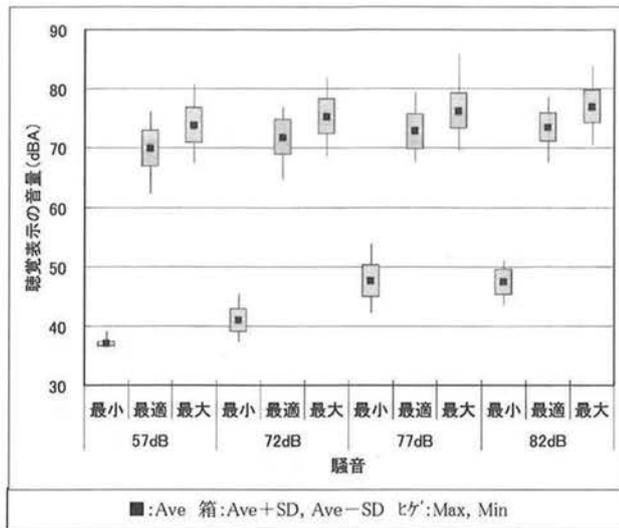


図2 報知音の実験結果

Fig. 2. Experiment results of the information sound.

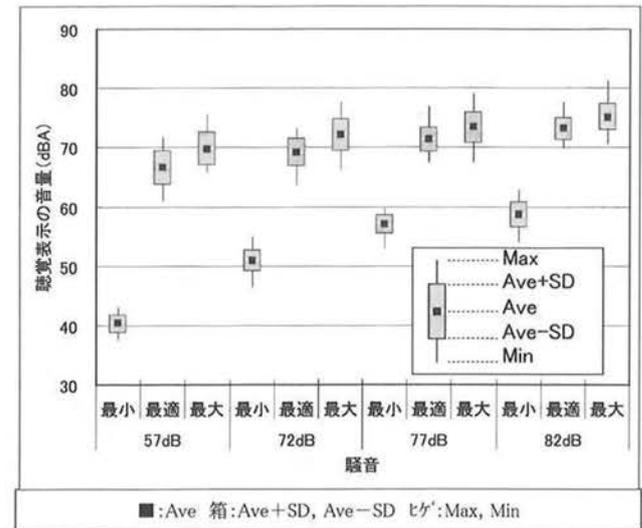


図3 音声案内の実験結果

Fig. 3. Experiment results of the sound guidance.

4. 音量設定

(4.1) 音量設定の考え方

実験結果を基に安全装置の音量の最適な設定方法を検討する。安全装置が動作するのは主に走行中のため、ここでは72 dB以上の騒音条件の結果を用いた。以下の4つを基本的な考え方として、音量設定を行うこととした。

- ほぼ全ての人が聴取可能な音量とする。
- aを満たした上で、ほぼ全ての人が不快と感じない音量とする。
- aを満たした上で、多くの人が最適と感じる音量とする。
- bとcを満たすための手法として、必要に応じて音量調節機能を導入する。

(4.2) 必要な値の算出

(1) 多くの人が最適と感じる音量 (X)

各騒音の最適音量の値から「3つの騒音環境下で、多くの人が最適と感じる音量」(以下、X)を算出する。

72 dB騒音、77 dB騒音、82 dB騒音のそれぞれの最適音量の平均値の平均をとり、これをXとする。

(2) ほぼ全ての人が聴取可能な音量 (Y)

各騒音の最小音量の値から「3つの騒音環境下で、ほぼ全ての人が聴取可能な音量」(以下、Y)を算出する。

今回の回答結果が正規分布に従っていると仮定すると、回答結果の「Ave-3SD」～「Ave+3SD」で囲まれる範囲には理論上母集団のほぼ全て(約99.7%)が含まれることになる。これを参考にすれば、72 dB騒音、77 dB騒音、82 dB騒音の最小音量の「Ave+3SD」の中で最も大きな値は「本実験の母集団のほぼ全ての人のために聴取可能な音量」ということができる。これをYとする。

なお、本実験では実験協力者37名のうち60歳以上の高齢者が1名と少ないため、実験結果は高齢者の聴覚機能の低下を十分に反映していない可能性がある(聴覚機能は加齢による影響が大きいとされている)。ただ、現場オペレータは定期的に医学適性検査で聴覚機能の異常の有無を確認しており、それを踏まえれば、Yを「ほぼ全てのオペレータが聴取可能な音量」としても問題ないと考えた。

(3) ほぼ全ての人が不快でない音量 (Z)

各騒音の最大音量の値から「3つの騒音環境下で、ほぼ全ての人が不快でない音量」(以下、Z)を算出する。

(2)と同様に考えると、72 dB騒音、77 dB騒音、82 dB騒音の最大音量の「Ave-3SD」の中で最も小さな値は「本実験の母集団のほぼ全ての人のために不快でない音量」ということができる。これをZとする。

(4.3) 音量設定の方法

音量設定の考え方に従い、音量設定を行う。

まず、初期値(安全装置から初めて提示される音量で、オペレータが調節を行わない限り変わらない音量)を設定する。初期値はY以上で、かつXに最も近い値が望ましい。したがって、初期値は次式により決定する。

$$(\text{初期値}) = \text{Max}(X, Y)$$

次に、音量調節機能を設定する。音量調節機能の目的は、不快と感じる人を減らすことであるが、導入の際には、下限値(安全装置の音量調節における最も小さな音量で、オペレータがそれ以上下げることのできない音量)がY以上である必要がある。よって、下限値はYとZのいずれか大きい方の値とし、次式により決定する。

$$(\text{下限値}) = \text{Max}(Y, Z)$$

なお、音量調節機能の上限値(安全装置の音量調節における最も大きな音量)についてはここでは特に設定しない。

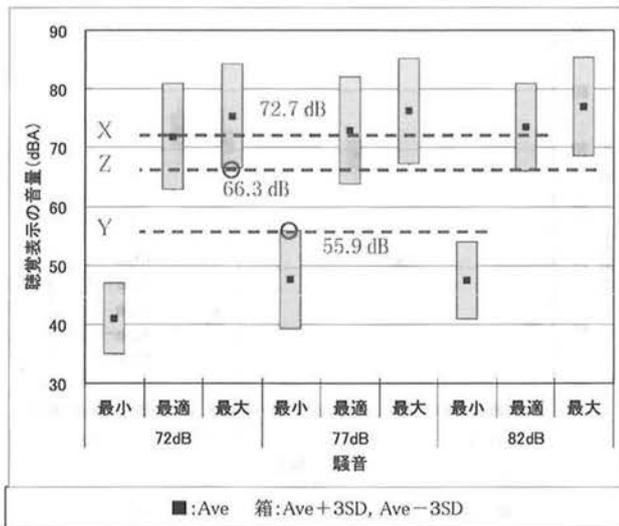


図 4 報知音の音量設定
Fig. 4. Volume setting of the information sound.

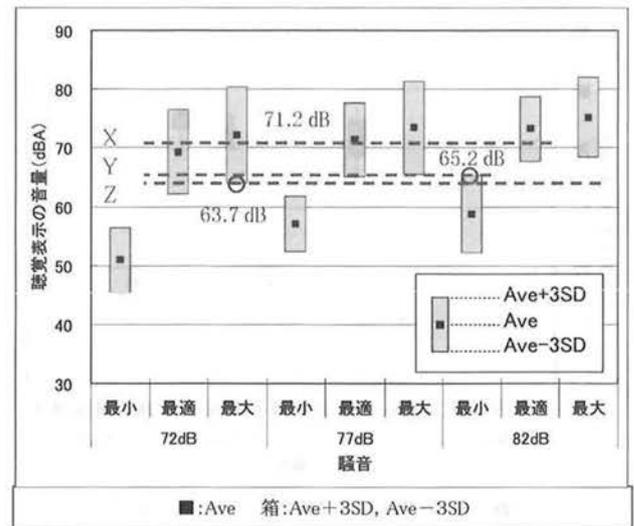


図 5 音声案内の音量設定
Fig. 5. Volume setting of the sound guidance.

表 3 場合分けの結果
Table 3. Result of each case.

| 場合 | 初期値 | 音量調節 | 下限値 |
|-------------------|-----|------|-----|
| $X \leq Y \leq Z$ | Y | × | — |
| $X \leq Z \leq Y$ | Y | × | — |
| $Y \leq X \leq Z$ | X | × | — |
| $Y \leq Z \leq X$ | X | ○ | Z |
| $Z \leq X \leq Y$ | Y | × | — |
| $Z \leq Y \leq X$ | X | ○ | Y |

※ ○: 必要, ×: 不要

X、Y、Z の大小関係で場合分けし、初期値、音量調節機能の必要・不要、下限値をまとめると表 3 となる。

4.4 実際の音量設定

(1) 報知音

音量設定の方法を基に報知音の音量を設定する (図 4)。 $X=72.7$ 、 $Y=55.9$ 、 $Z=66.3$ と算出される。よって、初期値は 72.7 dB となる。また、音量調節機能を導入する場合の下限値は 66.3 dB となる。

(2) 音声案内

音量設定の方法を基に音声案内の音量を設定する (図 5)。 $X=71.2$ 、 $Y=65.2$ 、 $Z=63.7$ と算出される。よって、初期値は 71.2 dB となる。また、音量調節機能を導入する場合の下限値は 65.2 dB となる。

5. まとめ

本研究では、新幹線保守用車の安全装置の聴覚表示について、様々な騒音環境下で運転操作中に聴く音として、確実に聴取でき、かつ不快でない音量を検討した。

実験では、安全装置からの聴覚提示として報知音と音声案内を設定し、騒音環境下での聴取のしやすさ、不快な音

量について主観評価を行った。

そして、実験結果を活用した音量の設定方法を整理し、この方法を基に安全装置の聴覚表示の音量設定を提案した。以下、その提案内容をまとめる。

- a 「ピンポン」という報知音については 72.7 dB を初期値として音量調節機能を導入し、そのときの下限値を 66.3 dB とすることが望ましい。
- b 「〇〇m 先□□です」という音声案内については 71.2 dB を初期値として音量調節機能を導入し、そのときの下限値を 65.2 dB とすることが望ましい。

6. 今後の課題

本研究では、聴覚表示のスペクトル特性や時間的特性については検討しなかった。また、本研究では危険が差し迫った状況における聴覚表示を研究対象としていない。これらについては既往文献を基に検討する必要がある。

文 献

- (1) ISO7731: 人間工学—公共の場所及び職場の危険信号—聴覚危険信号、2003.11