

列車運転時の覚醒低下防止支援のための 警報音のデザインと効果の検証

星野 慧* 鈴木 綾子* 本田 真佐浩** 原 威史**

Designing Auditory Warnings for Preventing Arousal-Level Decline during Train Operation and Examining its Effectiveness

Kei HOSHINO Ayako SUZUKI Masahiro HONDA Takeshi HARA

Train driving is characterized by late-night and early-morning shifts when operators may be prone to drowsiness. This study developed and evaluated a system aimed at maintaining and improving arousal level by presenting auditory warnings. First, auditory warnings were designed based on survey of the opinions of train operators. In our experiments, designated auditory warnings were scored and selected in terms of three conditions (“audibility,” “distinctiveness,” and “arousal function”) under train noise. The result shows that the arousal effects of the warning auditory were confirmed by presenting the designed sound during a monotonous task with the train driver environment.

キーワード：警報音，音響設計，覚醒レベル，列車運転士，走行音

1. はじめに

列車運転士の勤務は、一般的に眠気が生じやすいとされている深夜・早朝帯を含む不規則不定形な勤務であり、線区の特徴によっては、ブレーキ等の機器操作のない単調状態が続く区間もある。このため、万一居眠りや失神などの異常事態が生じて、自動的に列車を停止させる運転保安装置が開発されてきた。また、乗務中の眠気の予防について、睡眠習慣の見直しや体調管理が運転士に推奨されている¹⁾。弊所でも、眠気対策の一環として、乗務中の覚醒レベルの低下を検知して警報を提示する支援装置の開発を行っている。本報告は、このうち警報に関するものであり、導入しやすさの観点から「音」の使用を想定し、より覚醒効果の高い警報音のデザインと効果検証を行う。

2. 警報音のデザイン

2.1 警報音の目的と条件の設定

警報音をデザインする手順として、先行研究では二段階の手順を踏まえることが示されており、最初に「何を（何の目的で）」、「いつ」、「どんな音で」行うのかについて情報を整理し、次に音響パラメータを設定することが推奨されている²⁾。この手順に則り、情報を整理した。「何を」に関しては、覚醒レベルが低下し、危険な状態

であることを運転士に知らせることで、覚醒レベル低下防止を支援することとした。「いつ」に関しては、列車運転時に覚醒レベル低下を検知した時とした。「どんな音で」については、列車走行時の運転席で背景騒音となる走行音のある環境下でも警報音が聞き取れる「知覚性（聞き取りやすさ）」、運転室内で使用されている他の報知音・警報音と聞き分けられる「識別性（他の音との聞き分けやすさ）」、覚醒レベルを向上させるという「機能性」を持つ音とした。この機能性については、主観的に「目が覚めた」と感じることに加えて、客観的に生体反応として捉えられることが挙げられる。以上のような、「知覚性・識別性・機能性」を警報音の条件として、警報音のデザインを行った。

2.2 警報音に関する現場のニーズ調査

運転士の警報音に対する要望や意見等を明らかにするためにヒアリング、アンケート調査を実施した。

2.2.1 指導運転士へのヒアリング

警報音に関する要望や意見を収集し、さらにアンケート調査の具体的な項目を作成するため、指導員らへのヒアリングを行った。ヒアリングは、指導運転士7名、運転士に関わる業務の管理者9名の合計16名を対象とした。「覚醒レベル低下防止支援のための警報音はどのようなものが良いか」という項目に対して、「トンネル走行音に紛れ込まない音（知覚性）」、「列車内で聞かない音（識別性）」という回答が示された。また、「機能性」に関する警報音の内容については「不快な音、単調ではない音、緊急感を抱く音」という回答が認められた。

* 人間科学研究部 人間工学研究室

** 日本貨物鉄道株式会社

2.2.2 列車運転士へのアンケート

ヒアリング結果に関する回答結果から、「不快な音、単調ではない音、緊急感を抱く音」の具体例として、表1の音をあげ、「警報音の内容はどのようなものが良いか」を一つ回答するように求めた。長大トンネルを含む区間を担当する全運転士117名を対象として、アンケート調査を実施した結果を表1に示す。表1の項目は、列車運転の業務時の音と混同しないものを項目として選定したが、業務中に聞き慣れている音との比較のために「ブザーのような音」を代表的な音として項目に追加した。その結果、「ブザーのような音」は最も多い回答であったが、選定した項目についての回答も多い傾向が確認された。

2.3 警報音デザイン

表1にあげた音のうち、「ブザーのような音」は、識別性の観点から、これを除外し、その他の音を「音程の変化」で表2のような3つの型に分類した。一つ目は「目覚まし時計」と「家電製品の電子音」のような高音で、音色はベル音や電子音、テンポは高速という特徴の、音階の変動が少ない音で「型1」とした。二つ目は、「緊急地震速報³⁾」のチャイム音のように、特定の音階の組み合わせや音程の上昇で警告感を抱かせる音で「型2」とした。三つ目は、「緊急車両のサイレン音」のように、不協和音を用いたスweepの上行・下行の音程変化による警告感のある音で「型3」とした。これらの各型の音の特徴を「周波数・テンポ・音色」の音響パラメータについて表2のようにまとめた。3つの型それぞれについて、以下のように「知覚性・識別性・機能性」を配慮して、基本音（音1、11、14）を作成した。

最初に「識別性」について、表2に斜体で示した音響パラメータの調整により、既存の音と異なるようにした。次に「知覚性」は走行音にマスクングされない音として1000Hz以上の音を含む⁴⁾こと、ISO7731では警報音の基本周波数は500Hz～2500Hzが推奨されている⁵⁾こと、広い周波数帯域を含むことで年齢による聴力低下にも対応する⁶⁾ことを考慮した。「機能性」については、高速なテンポと音色の調整に加えて、図1に示すような周波数に関連する「音階」と「付加音」の設定を行った。「音階」は、半音高い、または低い音が連続する半音階を利用することで、緊急性を高めるとされる「トリル」³⁾や警報音に多く用いられる「スweep」に類似した周波数が変化する音⁵⁾⁶⁾をデザインした。「付加音」は「知覚性」の観点で広周波数帯域を含める点や、和音の特定の音程差により警報感を強めて⁷⁾⁸⁾「機能性」を高めるように設定した。

基本音の音響パラメータを変化させた12音を追加し、合計15音をSinger Song Writer Lite 9.5（株式会社

表1 運転士が良いと評価した音

項目	回答数	%
ブザーのような音	29	25
目覚まし時計のようなジリジリ音	27	23
家電製品の電子音のような「ピーッピーッ」、「ビビビビ」などの音	23	19
携帯電話の緊急地震速報のような音	16	14
パトカーや救急車、消防車のサイレンのような音	7	6
生理的に嫌だと感じる音	9	8
その他	6	5
計	117	100

表2 各型の音響パラメータの特徴[†]

型	周波数	テンポ	音色
型1	高音、音階変動が少ない、単音	高速	ベル音・電子音
型2	高音、特定の5音が上行する音階、増4度やデンジョンノートを含む	高速	ピアノ音
型3	中音、スweep部分と持続音が混在、不協和音	高速	サイレン音

†: 識別性に最も関係する要素を下線で示す。

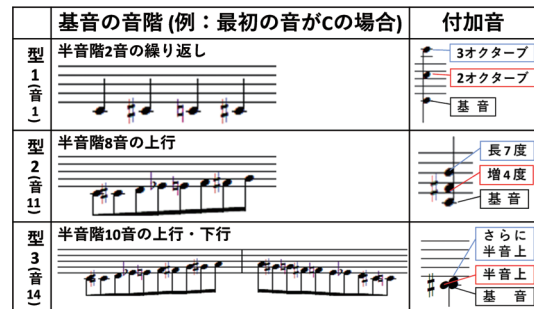


図1 各型の周波数に関する設定例

表3 デザイン音の音響パラメータ設定

型 ^{†1}	番号	音階と周波数 (Hz) ^{†2}		付加音 ^{†3}	1音長 (0.1秒)	音色 ^{†4}
		最低音	最高音			
型1	音1	C#6 (1109)	D8 (4684)	オク	5	ピ
	音2	C#3 (139)	D5 (587)	オク	5	ピ
	音3	C3 (131)	C#5 (554)	オク	10→5	ト
	音4	C3 (131)	C#5 (554)	オク	10→5	グ
	音5 ⁵⁾	C#4 (277)	C#6 (1109)	オク	10	シ
	音6 ⁵⁾	C4 (262)	B4 (494)	増4	7.5	ト
	音7 ⁵⁾	C4 (262)	B4 (494)	増4	7.5	グ
	音8 ⁵⁾	C4 (262)	B4 (494)	増4	7.5	シ
	音9	C7 (2093)	B7 (3951)	不協	10	ト
	音10	C5 (523)	B5 (988)	不協	10	ト
型2	音11	C6 (1047)	F#7 (2960)	増4	10	バ
	音12	C#4 (277)	G5 (784)	増4	10	バ
	音13 ⁵⁾	C#3 (139)	B4 (494)	増4	15	シ
型3	音14	G6 (1568)	F#7 (2960)	不協	3.75	バ
	音15 ⁵⁾	C3 (131)	D#4 (311)	不協	10	バ

†1: 型の分類は、図1を基本とし、音1・音11・音14は太字で示した。

†2: 周波数は音に含まれる最低音（1番目の音の基本音）と最高音（付加音の最も高い音）について、括弧内に周波数を記載した。

†3: 付加音の表記は、各型の半音階を基本音として、図1に示した2音の音程を全てに付加した。音1で設定した2音のオクターブを「オク」、音11で設定した増4度と長7度を「増4」、音14で設定した半音2音の不協和音を「不協」と記載した。

†4: 音色の表記は、ピ:ピアノ、ト:トランペット、グ:グロックンシュピール、シ:シンセベース1、バ:バイオリン、とした。

†5: 基本の型との比較のために細部を変更した型を用いた。

インターネット)を用いてデザインした。表3に15音で設定した各音響パラメータの詳細を示す。音の持続時間は全て4.8秒とし、音のラウドネスをAdobe Audition(アドビ株式会社)を用いて統一した。

3. 警報音の評価実験

3.1 予備実験による印象評価と警報音の選択

表3の15音について、警報音の3条件「知覚性・識別性・機能性」に関する印象評価を行った。7段階で尋ね(1:全くあてはまらない~7:非常にあてはまる)、4(どちらでもない)以上の評価で各条件を満たすものとした。

一般の成人28名が実験に参加し、年齢は26歳~52歳(平均年齢37.0歳、標準偏差7.23歳)であった。PCでランダム順に再生した音をヘッドフォンで聴き、10項目について回答した。

各音の評価点の平均値を図2に示す。基本音(音1, 11, 14)についてみると、図2の上図から、「知覚性・機能性」の評価点は全て5(どちらかといえば当てはまる)以上の評価となり条件を満たすことが確認された。「識別性」に関しては音11, 音14は条件を満たすことが確認できたが、音1は評価点4(どちらでもない)未満となり条件を満たさなかった。よって、音響パラメータ設定は音11と音14では妥当であったことが確認できた。

これらの評価結果をふまえ、次の実験(列車走行音下での警報音の比較実験)で用いる音を選択した。「識別性」は、予備実験では日常生活で耳にする音に関する評価であることから、特に運転室内の「識別性」が低い音を除くため列車運転士経験のある管理職者1名へのヒアリングを行い、4音(音1, 音5, 音9, 音10)を除外した。残った11音のうち、「機能性」の評価点の高かった上位4音の「音7, 音11, 音12, 音14」と、音7, 音14を改善した音8, 音15, を加えた6音を走行音下での評価対象とした。さらに、比較の基準としてピアノ音(C5の高さで1.2秒を4音)を「フィルター音」として用いた。

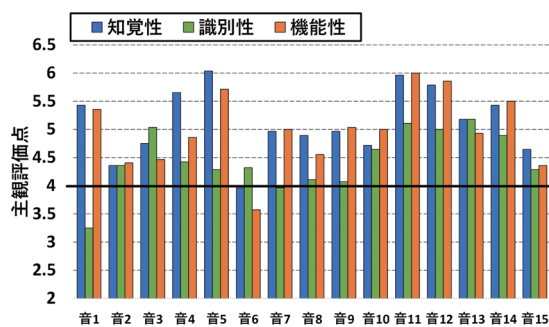


図2 印象評価の結果

3.2 実験1(列車走行音下での警報音の比較)

列車の運転室内では列車走行音が背景騒音となることから、走行音が同時に提示されている状態でデザインした各音を比較し、3条件「知覚性・識別性・機能性」が最も高い音を選定するため、一対比較の実験を実施した。

3.2.1 走行音と警報音の音圧と周波数分布

本実験では代表的な走行音として、トンネル外のポイント通過時の走行音(以下、走行音と表記する)を用いた。走行音と警報音の提示音圧は75dB(L_{Aeq})とした。騒音測定は、精密騒音計(RION-NL52)により、参加者の右耳位置となるように高さ1.2メートルで三脚を利用して測定した。騒音計の設定は周波数重み付特性A、時間重み付け特性Fで、等価騒音レベルの音圧計測を行った。走行音・選択した警報音を75dB(L_{Aeq})で提示した際の1/3オクターブ分析の結果を図3に示す。

3.2.2 実験参加者と実験環境

実験は、一般の成人27名が参加し、年齢は26歳~56歳(平均年齢37.0歳、標準偏差7.63歳)であった。実験参加者は机上の1メートル間隔で左右に置かれたスピーカー(ワイヤレスパワードスピーカーシステムWS-X66A Panasonic)から、1メートル離れた椅子に座った。実験室の背景騒音は約42dB(L_{Aeq})であった。

3.2.3 実験手順

実験参加に関する説明と同意書の記入後に、サーストンの一対比較法により全ての音の比較を行った。走行音を背景騒音とし、選択した警報音6音とフィルター音の計7音から2音ずつランダムな組み合わせで合計21パターンを提示した。背景騒音の走行音を提示してから約5秒後に、比較する2音の警報音のうち一音目を提示し、約4秒間の間隔を空けて二音目を提示した。聞き逃しがあった場合のみ繰り返しの提示を行った。実験参加者は2音の提示後に、「知覚性・識別性・機能性」の3項目について、2つの音のうち評価の高い方をそれぞれ選択するよう求められ、調査用紙に回答を記入した。

3.2.4 一対比較の結果と考察

3項目のサーストンの一対比較の結果を図4に示す。今

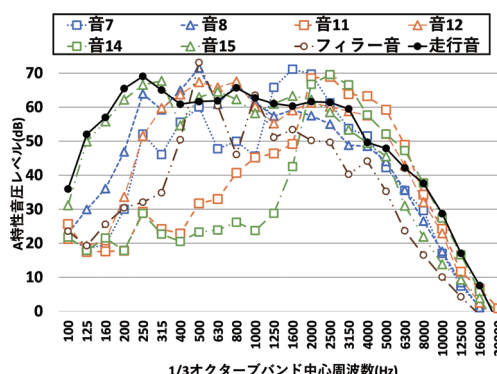


図3 走行音と各警報音の1/3オクターブ分析

回の一般的な走行音の下では、「知覚性・識別性・機能性」の3条件全てについて音11が最も高評価となったことから、音11を選定音とした。先行研究では走行音下で聞き取りやすい音は2000Hz～4000Hz帯域を含む音である可能性が示唆されており⁹⁾、図3の周波数解析によるとこれらの周波数帯域の成分が音11では大きいことから、「知覚性」や「機能性」の評価に影響した可能性があると考えられる。

3.3 実験2〈覚醒レベル低下時の機能性評価〉

列車走行音の背景騒音下において、覚醒レベルが低下した参加者を対象に、警報音の「機能性」を検証する。

3.3.1 使用する警報音と走行音について

選定音の「音11」を、以下「警報音」と表現する。背景騒音とする走行音は、単調状態が続きやすいとされる列車運転時の環境を模擬するため、トンネル区間で測定した走行音（以下、トンネル走行音と表記する）を用いた。提示音圧は、実験1と同様に、警報音・走行音ともに75dB (L_{Aeq})とした。

3.3.2 実験参加者

一般の成人29名が実験に参加し、年齢は20歳～57歳（平均年齢38.2歳、標準偏差10.8歳）であった。全参加者は普通自動車運転免許を保持し、視力・聴力及び健康状態に問題がないことを参加の条件とした。また、前日の睡眠時間は通常よりも2時間短縮することを条件としたが、4時間を下回る場合は4時間の睡眠時間を確保するものとした。これらの条件については、参加者の自己申告により実験前に確認した。

3.3.3 実験環境

列車運転時の状況を模擬するため、実験は列車の運転シミュレータで実施した。覚醒レベルが低下する深夜走行時の室内環境を模擬するため、実験室を消灯した。シミュレータのモニターには単調作業課題が表示され、シミュレータ台上に置かれたキーボードでボタン操作を行う。単調作業課題中は、参加者の前方1メートルの床上の中心から左右に75センチメートル離れた位置に置かれた2つのスピーカーよりトンネル走行音を75dB (L_{Aeq})で提示した。休憩

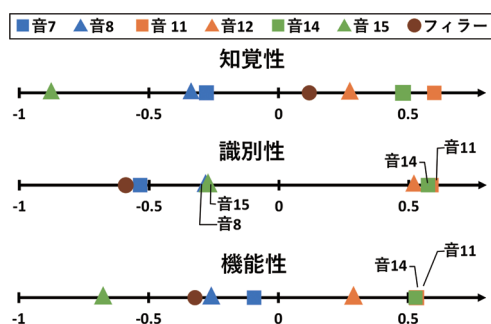


図4 一対比較の結果[†]

†: フィラー音は比較の基準とするピアノ音 (C5・1.2秒の4音)

時間と調査用紙回答時にもトンネル走行音を65dB (L_{Aeq})で提示し、列車走行音が途切れないようにした。警報音は、前方1メートルの床上に置かれたスピーカーから提示した。実験室の背景騒音は約42dB (L_{Aeq})であった。

3.3.4 実験手順

実験参加に関する説明と同意書の記入を行った後、心拍計を装着し、運転シミュレータに着座するよう指示した。実験課題についてのキーボード操作の説明後に、数回練習を行い、図5のように5～6セッションの課題を実施した。実験時間は実験説明から計測機器の取り外しを含めて全体で120分間であった。1セッションは、12分間の単調作業課題と、その後の調査用紙への回答、水分補給のための約2分間の休憩時間という構成であった。

単調作業課題は、図6に示すようにモニター上に複数の「○」記号で構成された円が表示され、円弧の一部が途切れた「Cマーク」のランドルト環が含まれている場合は手元のキーボード上の×ボタンを、含まれていない場合は○ボタンをできるだけ早く正確に押すというものであった。1試行ごとに提示される「○」記号の数はランダムに変化する。

警報音は、全セッションのうち1セッション以上の間を空けた計2セッションの中で一回ずつ、1人当たり合計2回提示した。

3.3.5 測定項目

機能性の検証を目的として、以下の4項目を測定した。

- ① 眠気評定値（他覚的指標）：課題中の顔画像を記録し、警報音提示の前後1分を、5秒間隔で北島らの顔表情評定基準（1：全く眠くなさそう、2：やや眠そう、3：眠そう、4：かなり眠そう、5：非常に眠そう）¹⁰⁾を評定した値の平均値
- ② 課題反応時間（パフォーマンス指標）：単調作業課題のキーボードのボタン操作の時間の警報音提示前後30秒の平均反応時間
- ③ 心拍数（生理指標）：警報音の提示前後10秒のRRI（心拍間隔）から算出した瞬時心拍数
- ④ 警報評価（主観的指標）：警報音が鳴動したセッションの休憩時間に回答する、警報音提示による主観的

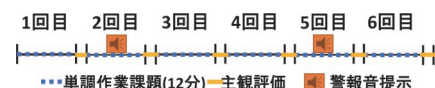


図5 実験の流れの例

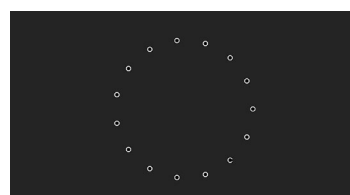


図6 単調作業課題のモニター画面の例

な覚醒効果の9段階の評価値

3.3.6 データ分析について

表4のように、警報音の提示時の眠気評価値に基づいて、覚醒低下の大きさの程度で計測データを3群に分け、警報音提示による覚醒低下防止の効果を確認する。3群は、眠気評価値1と2を覚醒低下[小]、評価値3を覚醒低下[中]、評価値4と5を覚醒低下[大]とした。また、①・②・④の指標では参加者全29名につき警報音の提示が2回のため全58データであった。③の心拍数は、ノイズの混入や測定機器の不具合等がなかった18名において、警報音の提示2回分の全36データであった。

3.3.7 実験結果と考察

(1) ①眠気評価値及び②課題反応時間について

警報を提示した前後1分間の眠気評価値の群ごとの変化を図7に示す。警報音を提示した前後30秒の単調作業課題の反応時間の群ごとの変化を図8に示す。眠気評価値及び課題反応時間について、中央値の比較をウィルコクソン符号付検定で行ったところ、覚醒低下[大]において、警報提示後は提示前に比べ眠気評価値及び課題反応時間が有意に減少した ($p < 0.05$)。以上から、他覚的な眠気評価及びパフォーマンスの観点からは「覚醒低下の度合いが大きい(眠気が強い)」ときの警報音の提示が効果的であることが示唆された。

(2) ③心拍数及び④警報評価について

警報音の提示前・後10秒と提示後1分の平均心拍数を図9に示す。時間変化を被験者内要因、覚醒低下の程度を被験者間要因とする二元配置分散分析を実施した結果、警報提示前後の時間変化について有意な主効果を認めた ($F(2,66) = 13.77, p < 0.001$)。多重比較の結果、警報提示後10秒は提示前10秒に比べて平均心拍数が有意に減少した ($p < 0.001$)。また、警報提示後10秒は警報提示後1分に比べて有意に平均心拍数が減少した ($p < 0.05$)。さらに、警報提示後1分は警報提示前10秒に比べて平均心拍数が有意に減少した ($p < 0.05$)。覚醒低下の大きさの主効果と交互作用には有意な差がみられなかった。また、警報提示の効果の主観評価の回答漏れを除いた結果を表5に示す。警報音の効果について、選択肢1から6までの警報音の効果を回答した割合が9割以上であった。ここで、一般的に心拍数の低下状態は副交感神経が優位な状態でリラックス時や覚醒レベルの低下時にみられるとされているが、新規の刺激に対して意識を向けている状態の場合にも、心拍数が一時的に低下することが知られており、この反応は「定位反応」と呼ばれ、注意や集中している状態と関係があると考えられている¹¹⁾。警報音の主観評価の結果で、警報の効果を感じている人の割合が高いことを考慮すると、警報提示による心拍数低下は、「定位反応」を反映している可能性があると考えられる。よって、デザイン

表4 覚醒低下の大きさの程度による群分け[†]

群	眠気評価値	警報1回目(個)	警報2回目(個)	合計(個)	群別(個)
[小]	1	3 (2)	1 (1)	4 (3)	22 (17)
	2	12 (8)	6 (6)	18 (14)	
[中]	3	5 (2)	10 (6)	15 (8)	15 (8)
[大]	4	5 (2)	6 (2)	11 (4)	21 (11)
	5	4 (4)	6 (3)	10 (7)	
合計		29 (18)	29 (18)	58 (36)	58 (36)

[†]: 括弧内は③心拍数の取得データ数を記載した。

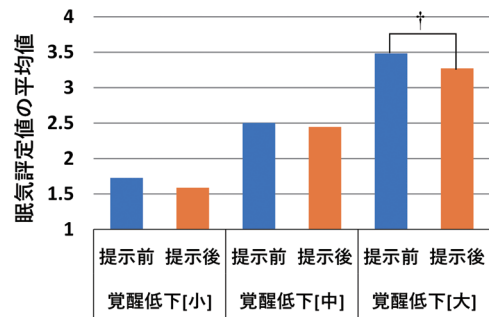


図7 警報提示前後1分間の眠気評価値の平均

[†]: 統計分析の結果、覚醒低下[大]では、警報音提示の前後で眠気評価値が有意に低下した ($p < 0.05$)。

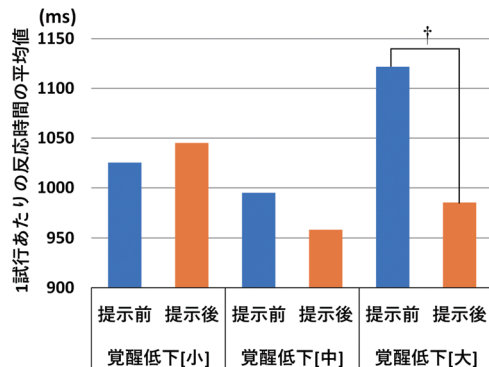


図8 警報提示前後30秒の課題反応時間の変化

[†]: 統計分析の結果、覚醒低下[大]では、警報音提示の前後で課題反応時間が有意に減少した ($p < 0.05$)。

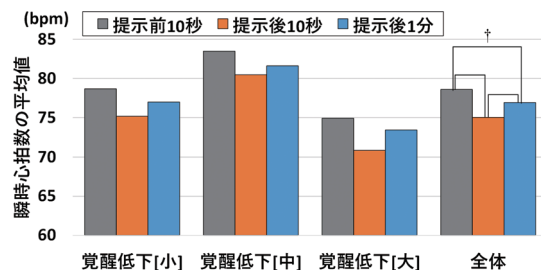


図9 警報提示前後の群ごとの平均心拍数

[†]: 統計分析の結果、警報音の提示後10秒は、提示前10秒 ($p < 0.001$) と提示後1分 ($p < 0.05$) に比べて瞬間心拍数の平均値が有意に低下した。提示後1分は、提示前10秒に比べて有意に平均値が低下した ($p < 0.05$)。

表5 警報効果の主観評価の結果

項目(覚醒効果の段階)	[小] (人)	[中] (人)	[大] (人)	合計 (人)	%
1. とも目が覚めた	1	1	2	4	7
2. 1と3の中間	1	1	5	7	13
3. 目が覚めた	8	4	2	14	26
4. 3と5の中間	1	1	0	2	4
5. やや目が覚めた	8	6	7	21	39
6. 5と7の中間	1	1	2	4	7
7. 聞こえたが目が覚めなかった	1	0	1	2	4
8. 7と9の中間	0	0	0	0	0
9. 全く気が付かなかった	0	0	0	0	0
合計	21	14	19	54	100
平均値	4.00	3.93	3.79	3.91	

した警報音が適度な注意喚起を促す音刺激として機能していることが示唆された。

4. 列車運転士による評価

4.1 印象評価について

列車運転士を対象として警報音の印象評価を行った。印象評価に用いた音は、運転士の協力が得られる所要時間を考慮し、実験1で使用した7音から、音7、音8、音11、音15、フィラー音の5音を選択した。また、実験1で用いた走行音を背景騒音として68dB (L_{Aeq})で提示し、各警報音を75dB (L_{Aeq})で提示した際の測定音を音源ファイルとして用いた。印象評価時には聞き取りやすい一定の音量でPCから提示した。評価項目は予備実験(3.1節)と同一である。

印象評価には、21歳~62歳の現役運転士99名(平均年齢39.3歳、標準偏差8.72歳)が参加した。その結果、図10に示すように、音11では「知覚性・識別性・機能性」の評価値は全て5(どちらかといえば当てはまる)を超え、5音の中で最も高い評価値となった。よって、一般参加者の評価結果と列車運転士の評価の高い音が一致する傾向が確認できた。

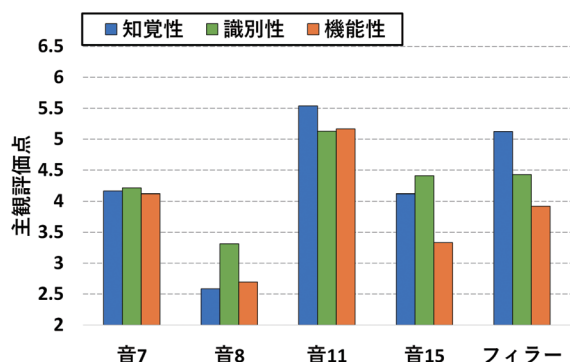


図10 運転士の印象評価結果

4.2 現車試験での警報音提示について

実際の走行列車において覚醒レベルが低下した際に警報音を指導運転士1名と現役運転士2名に提示する現車試験を行い、警報音の実用性を検証した。

警報音は音11とし、運転室の助手席の下に設置したスピーカー(MSP3 Powered Monitor Speaker YAMAHA)から運転士の右耳位置で75dB (L_{Aeq})の音圧で提示した。

指導運転士は進行方向と逆向きの運転席に着座し、警報音鳴動の直後に警報の効果の評価した。実験2(3.3節)で用いた表5の項目で評価を行った結果、「2([1. とも目が覚めた]と[3. 目が覚めた]の中間)」の回答が得られた。現役運転士に対しては、運転席で列車の運転中に警報音を提示し、警報の効果は乗務終了後に評価した。業務時間を考慮し、簡略化した6段階評価(1: とも目が覚めた~6: 全く目が覚めなかった)を用いた結果、2名の現役運転士からは評価点「1(とも目が覚めた)」と「3(やや目が覚めた)」の回答が得られた。

5. まとめ

本研究では「列車運転時の覚醒レベル低下防止支援」となる警報音をデザインし、「知覚性・識別性・機能性」を満たすことを確認した。また、現車試験で列車走行中に提示した警報音の覚醒レベルの低下防止の効果が確認されたことから、警報音の実用性の高さが確認された。一方で、警報音提示のタイミングや警報音提示後に列車運転士が取るべき対応については、引き続き、鉄道事業者と協力して検討していく必要がある。(本稿は文献12を基に、内容を加筆・修正した。)

文献

- 1) 西日本旅客鉄道株式会社 安全研究所: 運転士のための眠気防止ガイドライン, pp.8-9, 2009
- 2) 和氣早苗, 上窪真一, 福住伸一, 旭敏之, 広明敏彦: 音響インタフェース設計手法“報知音多次元設計手法”確立への一考察, 電子情報通信学会論文誌 D- II, Vol.J82-D- II, No.10, pp.1721-1728, 1999
- 3) 筒井信介: ゴジラ音楽と緊急地震速報, ヤマハミュージックメディア出版, pp.116-154, 2012
- 4) 市東邦生, 遠藤博哉: 地下鉄の車内騒音, 騒音制御, Vol.7, No.5, pp.261-266, 1983
- 5) International Organization for Standardization “ISO 7731: 2003 (E) Ergonomics- Danger signals for public and work areas – Auditory danger signals”, 2003.
- 6) 桑野園子: 警告信号音の心理的評価, 騒音制御, Vol.25, No.1, pp.3-7, 2001
- 7) 藤田愛子: 継時的に鳴る2音の音高変化がサイン音の機能

- イメージに及ぼす影響, 日本音楽知覚認知学会平成 18 年度秋季研究発表会資料, pp.89-94, 2006
- 8) 早田雄人, 田中みなみ: 音程変化に着目した危険伝達のための警報音の研究, 日本デザイン学会 (第 67 回春季研究発表大会) 研究発表大会概要集, 2020
- 9) 橋本仁成, 和田一成: 音声の周波数スペクトルと聞き取りやすさの評価, 人間工学, Vol.57, No.Supplement, pp.2E1-1, 2021
- 10) 北島洋樹, 沼田伸穂, 山本恵一, 五井美博: 自動車運転時の眠気の予測手法についての研究: 第 1 報, 眠気表情の評価法と眠気変動の予測に有効な指標について, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.63, No.613, pp.93-100, 1997
- 11) 大須賀美恵子: 自律神経指標を用いたドライバの状態推定, 自動車技術, Vol.64, No.10, pp.24-29, 2010
- 12) 星野慧, 鈴木綾子, 本田真佐浩, 原威史: 列車運転時の覚醒レベル低下防止の警報音デザイン及び警報音の効果と実用性の検証, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.24, No.4, pp.215-230, 2022