

列車運転時の眠気防止支援のための 警報音のデザインとその効果



星野 慧
Kei Hoshino
人間科学研究部
人間工学研究室
主任研究員



鈴木 綾子
Ayako Suzuki
人間科学研究部
人間工学研究室
主任研究員



本田 真佐浩
Masahiro Honda
日本貨物鉄道株式会社
北海道支社
運輸車両部



原 威史
Takeshi Hara
日本貨物鉄道株式会社
関東支社
東京貨物ターミナル駅

はじめに

列車の運転士は、深夜や早朝を含む不規則な勤務になりやすく、運転中に眠気を感じて覚醒レベルが低下することがあります¹⁾。さらに路線によっては、ブレーキ操作などが少なく、

同じ景色と音が続く「単調な区間」もあります。そんなときに万一、居眠りや失神などが起きると大事故につながりかねないため、列車を自動で止める仕組みや、眠気を防ぐ工夫がこれまで積み重ねられ、安全が確保されてきました。

これらの仕組みに加えて、私たちの研究では、運転士の眠気を検知した際に警報を出し、眠気に気づかせるという装置を考えました²⁾。その際に用いる警報は、視覚に多く頼る運転業務中にも気づきやすく、運転室に導入しやすい手段として「音」を用いた「警報音」を使用しました³⁾。本記事では、[図1](#)のように、眠気に気づかせるための「警報音」のデザインについて、より目が覚めやすいと感じる警報音をどのように作り、どのように確かめたのかを、紹介します。

警報音のデザインに 必要な条件

運転士の眠気に気づかせる

図1 覚醒レベルを上げる（目が覚める）音のイメージ



表1 音デザイン時に重要な情報の整理

3条件	内容
知覚性	列車走行音の背景騒音下でも警報音が聞き取れること
識別性	運転室や日常生活で既に使用されている音と聞き分けられること
覚醒の機能性	音を聞いて、実際に目が覚めること

警報音として、気づきやすい音にするためには、ただ大きな音を鳴らせば良いのでしょうか？もちろん、大きな音の警報音には誰でも気づきやすいので覚醒しやすいかもしれませんが、運転士が大きな音を聞いて万が一驚いてしまったら、運転中に誤った操作をしてしまうなど、運転業務に支障を及ぼすかもしれません。そのため、警報音の音量は、運転士を驚かせない程度の適度な音量として、音量以外の音の要素で「目を覚まさないければ」と感じるような音デザインにする必要があります。

そこで、表1に示すように、乗務時に覚醒するための音に必要な3つの条件を整理しました。1つ目は知覚性（聞き取りやすさ）で、走行音がある運転席でも、警報音がはっきりと耳に届き、運転士に伝わるのが重要です。2つ目は識別性（聞き分けやすさ）で、運転室内の他の報知音・警報音や日常生活で体験する音と混同しないことが重要です。そして3つ目は、覚醒の機能性（目が覚めたと感じられること）が重要で、主観的に「目が覚めた」と感じることや、生理的にも覚醒時の反応が見られることが望ましいです。

眠気時に効果的な警報音のデザイン

次に、これらの3つの条件に基づいて、音響パラメーター¹⁾（周波数、テンポ、音色など）を変えて、具体的な音デザインに落とし込んでいきます。デザインの案を考えるために、運転士へのアンケートを行い、目が覚めやすいと思う音について、音響パラメーターの中でも高さ（周波数）の変化の違いに着目して型に分類しました。1種類目の「型1」は典型的な目覚まし音などで「ジリジリ」と聞こえるような音で、音の高さの変化が少ない音です。2種類目の「型2」は、緊急地震速報のような音で、音の高さが高くなっていく音です。3種類目の「型3」は、緊急車両のサイレンのような音で、音の高さが高くなったあとに低くなることを繰り返す音です。

これらの3つの音型について、警報音の知覚性を高めるために、職場や公共の場所の危険を知らせる警報音のデザインに関する国際規格ISO 7301⁴⁾や先行研究⁵⁾に基づき、周波数として500～2500Hzの音を主成分として構成した上で、広い周波数帯を含めることにしました。また、識別性を高めるために、既存の音に良く使用されている音色や周波数帯とは異なるもの

1) 音響パラメーター

音をデザインする際に重要になる要素です。音の三要素として「音の大きさ・高さ・音色」があげられます。音の大きさは「音圧レベル (dB)」, 音の高さは「周波数 (Hz)」と対応します。音色は複数の要素が組み合わさって決まる性質です。このほかに、リズムやテンポなどの時間的な要素も、音のデザイン時に重要な音響パラメーターとしてあげられます。

識別性・覚醒の機能性」について、それぞれより良いと感じられる音を選択してもらうというものです。図2に実験のイメージと実験結果を示します。この結果から、3条件について最も評価が高い音は、緊急地震速報のように音の高さが上がる型2の中でも、周波数帯域が高いものが選ばれました。

デザインした警報音の効果の確認

選ばれた警報音について、実際に眠気を感じた際に提示した場合、覚醒効果をもたらすかを実験で確認しました。

実験は、鉄道総研の運転シミュレーターで眠気を催しやすい乗務を再現しました。夜間走行時を模擬するため、シミュレーター室の電気は消灯し、単調化しやすいトンネル走行時の走行音を背景騒音[※]として提示しました。また、単調運転を再現するために、図3のような課題を繰り返してもらいました。円が○の記号だけで構成されている場合と、Cの記号が含まれている場合とを見分け、2つのうちのいずれかのボタンを素早く押すという単調な課題です。単調課題を繰り返すうちに、実験参加者の眠気度が高くなったこと

が確認された時点で警報音を鳴らし、警報音が鳴る前と鳴った後の違いを複数の計測項目によって確認しました。実験のイメージを図4に示します。

計測項目の1つ目は、単調な課題のボタンを押す時間（反応時間）の変化で、警報音の鳴動によって反応時間が速くなった場合、音によ

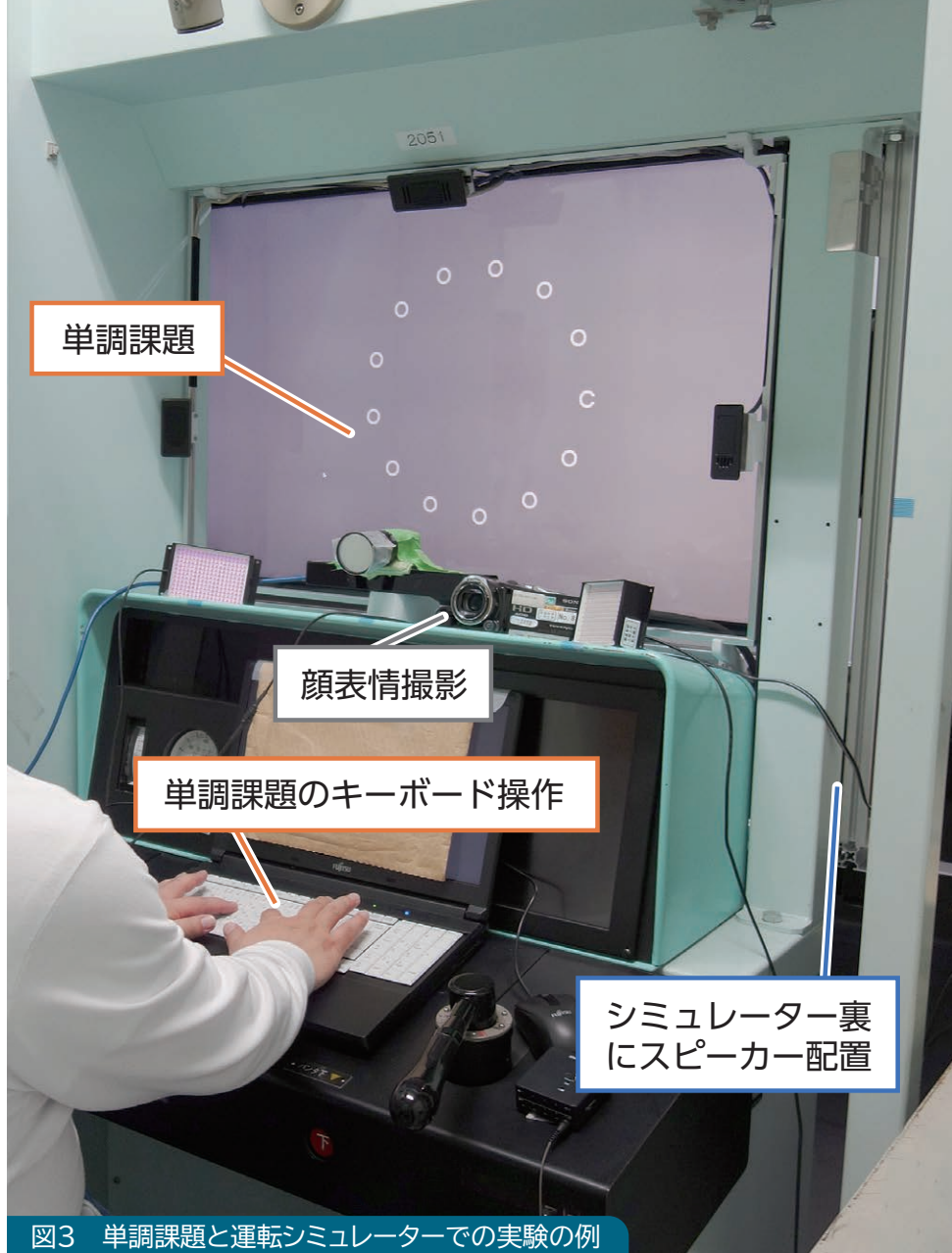


図3 単調課題と運転シミュレーターでの実験の例

※ 背景騒音

聞き取る対象の音（本記事の場合は「警報音」になります）以外に環境中に存在している騒音のことを背景騒音と呼びます。列車が走行しているときには、レールと車輪の接触音、モーター音、空調の音などが運転室内で混ざり合っ



図4 実験の計測のイメージ図

て目が覚めたと考えました。計測項目の2つ目は、**顔表情評定**⁶⁾と**顔表情**にあらわれる**眠気度** (眠気度) の変化を訓練を積んだエキスパートが捉えるものであり、警報音の鳴動によって顔表情による眠気度が軽くなった場合に、音によって目が覚めたと考えました。3つ目は、心拍数の変化です。人は、新しい情報に注意を向けた場合に一時的に心拍数が低下するという生体反応を示す⁷⁾ことが知られていることから、音の鳴動直後に一時的な心拍数の低下がみられた場合に、音に意識を向けたと考えました。4つ目は、実験後のアンケートで、警報音に対する印象を聞き、目が覚めると感じた

かどうかを9段階で確認しました。

実験には、男性29名 (平均年齢約38歳) が参加しました。図5の結果から、特に眠気が強い参加者に対して、警報音が鳴った後に反応時間や眠気度が改善したことが読み取れます。また心拍は一時的に下がる傾向が見られ、アンケートでも目が覚める印象を警報音に感じたという回答が大部分を占めたことから、警報音に注意が向けられたと考えられます。よって、今回デザインした警報音は複数の指標から、覚醒の機能を果たす音であることが確かめられました。この時提示した警報音は75dBで、同時に提示した走行音も75dBであったことから、走行音

6) 顔表情評定

顔の表情から眠気度を5段階程度で評価する指標で、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、の基準によって評価するものです。我々の研究では、この5段階に加えて、居眠りしてしまった状況を6として用いています。顔表情評価は、自動車分野などでも眠気度を判定する指標として用いられています。

下で相対的に大きな警報音を提示したわけではありませんでしたが、各指標で覚醒効果が確認されています。すなわち、周波数、テンポ、音色などの音響パラメーターを調整することによって覚醒に効果のある警報音をデザインできたと考えられます。

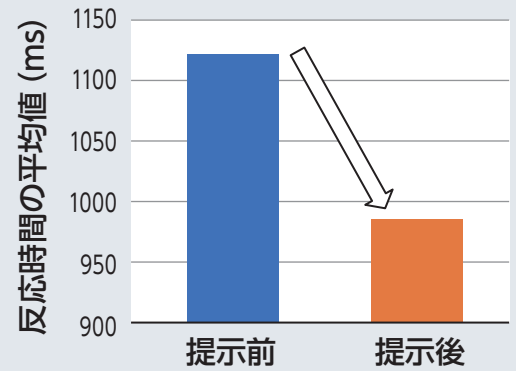
おわりに

列車運転時の眠気防止を支援するための警報音を知覚性・識別性・機能性の3条件から設計し、実験で効果を確認しました。引き続き、運転士の負担を増やさずに眠気防止を支援できる技術などについて検討していきます。 **RRR**

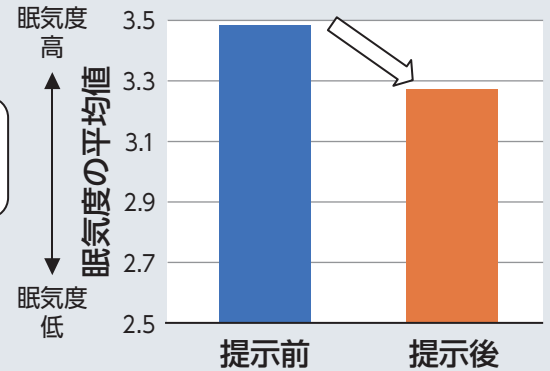
文献

- 1) 澤貢, 山内香奈, 鈴木綾子: 貨物列車運転士の眠気の発生要因, 鉄道総研報告, Vol.26, No.1, pp.5-10, 2012
- 2) 鈴木綾子, 星野慧, 本田真佐浩, 成瀬和仁: 画像データによる運転士の覚醒レベル推定法の精度向上 鉄道運転士を対象とした3次元時系列データによるディープラーニングの適用, 日本心理学会第89回大会, 仙台, 2025年9月5日-7日
- 3) 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 doi: 10.11184/his.24.4_215.
- 4) International Organization for Standardization: ISO 7731: 2003 (E) Ergonomics- Danger signals for public and work areas - Auditory danger signals, 2003.
- 5) 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
- 6) 北島洋樹, 沼田仲穂, 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, 眠気表情の評定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.3059-3066, 1997
- 7) 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

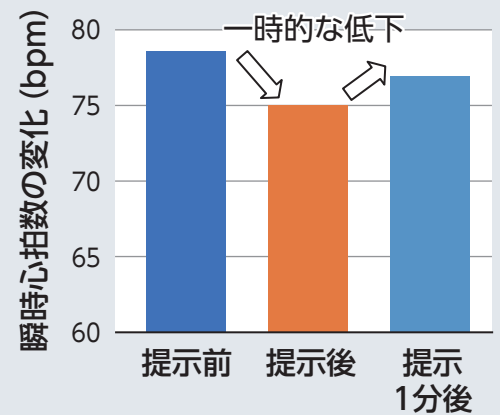
①単調課題作業の反応時間の変化



②顔表情の眠気度の変化



③瞬時心拍数の変化



④アンケート回答

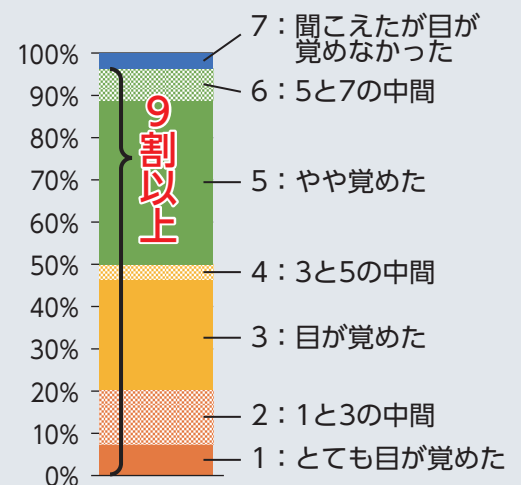


図5 実験結果