2605

新幹線保守用車「デッドマン装置」のボタン押下手法に関する研究

○福田　啓介　（西日本旅客鉄道）　　正 [土]　伊藤　大介　（レールテック）
吉田　裕　　（西日本旅客鉄道）　　藤澤　厚志　（西日本旅客鉄道）

A Study on How to Use the 'Dead-man Devices' Installed on a Shinkansen Maintenance Car

Keisuke FUKUDA, West Japan Railway Co.
Daisuke ITO, Railway Track and Structrures Technology Co.
Yutaka YOSHIDA West Japan Railway Co.
Atsushi FUJISAWA West Japan Railway Co.

In our company, operators of Shinkansen maintenance cars are practicing the methods of prevention from falling asleep at operating. One of them is rising from chair, and another is repetition after conductor calling location of car. In this research, we confirmed effects of these methods and tried to suggest better one by simulating car operating with some interesting talk. The results showed that rising was effective for prevention of falling asleep, and repeating method is not as effective as rising, and we couldn't find effects of interesting talking. We discussed effects of each method.

Keywords: Prevention from falling asleep, Sleepiness, Rising from chair, Interesting talk.

1. はじめに

新幹線保守用車は主に営業列車終了後の夜間に使用されている。夜間は生理的にも眠くなる時間帯であり、新幹線保守用車の運転においては「いかに居眠りを防止するか」が重要な課題である。居眠りを防止するため、当社の新幹線保守用車のオペレータは「腰を浮かした状態で押す位置に設置された確認ボタンを20秒以内に1回の頻度で押すこと」（以下、腰浮かし）と「キロポスト（起点からの距離を表す標識）や停止位置等を保守用車の責任者と相互唱和すること」（以下、相互唱和）を実施している。しかし、腰浮かしについて、現場には「腰浮かし動作は辛い」という声がある。

本研究では、この腰浮かしと相互唱和について、居眠り防止効果を科学的に検証するとともに、これらの手法の改善案を検討することを目的とした。検討にあたっては2種類の実験を行った。一つは腰浮かしの効果を検証する実験（以下、実験1）、もう一つは腰浮かしと相互唱和の効果の比較、並びに相互唱和を基本とした人間の興味に着目した覚醒維持方法の試行の実験（以下、実験2）である。

2. 実験1

2.1 実験の目的

腰浮かしは一時的に覚醒水準を上げる効果があると考えられるが、これを続けることにより疲労が増し逆に眠くなる可能性がある。そこで、効果があり、作業負荷を軽減した新手法を検討する必要があると考えられる。

以上から、実験1では以下2点を目的とした。

（ア）腰浮かしの居眠り防止効果を検証する。
（イ）腰浮かしの負担軽減を図った新手法を検討する。

2.2 実験の内容

（ア）実験協力者
当社間接部門社員24名
（性別：男性24名、年齢28～53歳、平均年齢38.1歳）

（イ）シミュレータ
実験室に新幹線保守用車の運転台を模擬したシミュレータを設置した。また、シミュレータにはA、B、Cの3つの確認ボタンを取り付けた。（図1）

Fig.1 Position of check buttons

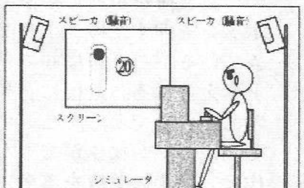

Fig.2 Layout of apparatus of in this research

（ウ）映像・音響装置
実験協力者の右斜め前方のスクリーンを設置し、横向きで運転する新幹線保守用車のフロントガラスを模擬して、ここにシミュレータを操作するための操作指示を表示した。また、実験協力者の前方・後方にスピーカを設置し、実際の保守用車運転台中における走

行中の騒音（72dBA 程度）を提示した（図 2)。

（エ）主課題

実験協力者の右前方のスクリーンに映し出される操作指示に従って、できるだけ速く正確にシミュレータの操作（加速・減速レバーの操作）をしてもらった。

操作指示は信号と速度指示（時速）により構成されている。青信号は「速度指示通りに運転」、黄信号は「速度指示に関係なくブレーキ（ただし、非常ブレーキ以外)」、赤信号は「速度指示に関係なく非常ブレーキ」をそれぞれ意味する。また、信号が無点灯のときは青信号と同様の意味である。スクリーンの画面遷移については信号点灯（青、黄、赤のいずれか）と同時に速度指示が切り替わり、この状態が 2 秒間続いた後、信号が消えて（無点灯の状態になって)、速度指示（直前の信号点灯時と同じ速度指示）だけが表示される状態が 6〜10 秒続くことを繰り返す設定とした。

（オ）副課題

主課題と並行して以下 4 つの条件でボタン押下を実施してもらった。(図 3)

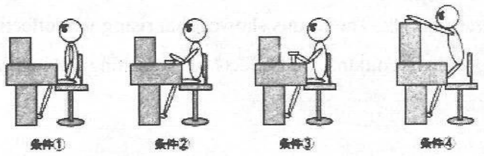

Fig.3 Conditions of Experiment 1

条件①：何もしない。
条件②：20 秒以内に 1 回の頻度でボタン A を押す。
条件③：常時ボタン B を押しておき、20 秒以内に 1 回の頻度でボタン B を離して押しなおす。
条件④：20 秒以内に 1 回の程度でボタン C を押す。

まず、条件①は他の条件の比較対象として設定したものである。次に条件②は「腰を浮かす動作」を単純にやめることで、作業負荷の軽減を図った手法である。条件②と④を比較することにより「腰を浮かす動作」と「ボタンを押す動作」それぞれの居眠り防止効果を分離して把握することができる。そして、条件③は「腰浮かす動作」をやめるとともにボタン押しの条件を変更して拘束感を高めることで、条件②と条件④の中間の作業負荷を狙った手法である。また、条件③は常時ボタンを押すため、より高い精度で「オペレータが起きている」ことを検知できるので、安全性が向上すると考えられる。最後に、条件④は現状の腰浮かしを再現したものである。ここで、条件②〜④について、時間内にボタン操作ができなかった場合の警報等の動作は、現状の装置を参考に、ボタンを押さない状態で 20 秒経過すると警報が鳴り、それでもボタンを押さない場合には 5 秒後に非常ブレーキがかかる仕組みとした。

なお、実験協力者には夜間に各条件で 1 時間ずつのシミュレータ操作をしてもらった（一晩に計 4 時間)。4 つの実験条件の試行順序については、順序効果を相殺するため 24 通りの順序を各実験協力者に振り分けた。

（カ）測定項目

実験協力者の眠気や疲労を多面的に評価するため、行動的指標として操作指示に反応して扱ったシミュレータの加速・減速レバーの操作記録を、生理的指標としてフリッカー値（以下、CFF 値）を主観的指標として実験協力者の眠気を、それぞれ測定した。

2.3 実験の結果

（ア）エラー率

シミュレータの操作記録から各実験協力者のエラー率を求め、統計的な差を確認するための分析を行った（図 4)。ここでエラーとは信号が点灯してから 2 秒間に操作指示と違う操作をしたもの、および 2 秒間何も操作をしなかったものである。なおグラフは、各条件の前半 30 分と後半 30 分における全ての実験協力者の平均値を算出した結果である。また、図中の「*」は統計的に差があることを示している。

（イ）反応時間

（ア）と同様に反応時間についても分析を行った（図 5)。ここで反応時間とは、正しい操作をした場合の信号点灯から操作開始時間までの時間である。

（ウ）CFF 低下率

点滅する赤い点をちらついていることが感知できないような周波数（50Hz）から一定間隔で低下させたとき、ちらつき始めたと感知した際の周波数が CFF 値である。覚醒水準が高いときには高い値が測定され、覚醒水準が低下すると低い値が測定されると言われている [1]。

各条件の前半終了時と後半終了時に測定した CFF 値から低下率（実験前の測定値からの低下率）を求め、分析を行った（図 6)。マイナス方向に大きいほど覚醒水準が低いことを示す。

（エ）眠気

各条件の前半終了時と後半終了時に、各実験協力者に対して尋ねた眠気の主観評価（0〜10 点で評価し、得点が高いほど眠気も強い）について分析を行った（図 7)。なお、図中の矢印は、条件に関わらず後半が前半よりも統計的に眠気が大きかったことを示している。

2.4 考察

（ア）腰浮かしの居眠り防止効果

上述の結果は、総合的にみて条件④の居眠り防止効果が他の条件に比べて高いことを示唆するものと考えられる。腰浮かしには一定の居眠り効果があると言える。

（イ）新たな手法の提案

上述の結果からは、作業負荷の軽減を図った条件②や条件③が、条件④と同等の居眠り防止効果を有するとは言えない。この実験で、腰浮かしに代わる新たな手法を提案するまでには至らなかった。

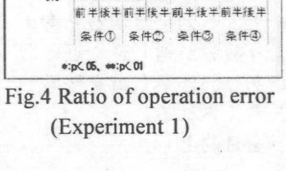

Fig.4 Ratio of operation error (Experiment 1)

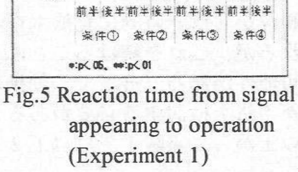

Fig.5 Reaction time from signal appearing to operation (Experiment 1)

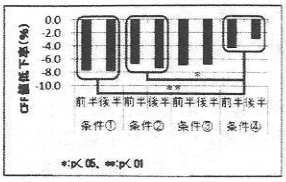

Fig.6 Decrease rate of CFF value (Experiment 1)

Fig.7 Subjective evaluation of sleepiness (Experiment 1)

3. 実験 2

3.1 実験の目的

現状を把握するためには、相互唱和を単独で行った場合、腰浮かしと相互唱和を同時に行った場合、それぞれの居眠り防止効果について検証する必要があると思われる。また、既存研究[2]では「覚醒レベル保持にとって有効な刺激とは必ずしも物理的な強さではなく、むしろ興味・関心の強さといった質的（心理的）な面」が重要であると指摘されている。相互唱和は物理的な刺激がそれほど強くないだけに、それに対する興味・関心が眠気に大きく影響することが考えられる。相互唱和については、これまで以上に興味・関心を高められるように手法の改善を検討することも必要であると思われる。

以上から、実験 2 では以下 2 点を目的とした。

（ア）相互唱和を単独で行った場合、腰浮かしと相互唱和を同時に行った場合、それぞれの居眠り防止効果を検証する。

（イ）相互唱和について、興味・関心を高める観点から手法の改善を検討する。

3.2 実験の内容

（ア）実験協力者

当社間接部門社員 20 名

（性別 : 男性 20 名、年齢 29～56 歳、平均年齢 38.6 歳）

（イ）シミュレータ

実験 1 と同様に実験室にシミュレータを設置した。

（ウ）映像・音響装置

実験 1 と同様に実験室に装置を設置した。

（エ）主課題

実験 1 と同様にシミュレータの運転操作をしてもらった。ただし、スクリーンの操作指示は 16～20 秒の頻度で提示される設定に変更した。

（オ）副課題

主課題と並行して 4 つの条件を実施してもらった（図 8）。キロ程の復唱と質問への応答については、シミュレータに設置したスピーカから流れる合成音声に反応することとした。

- 腰浮かし（20 秒以内に 1 回）（以下、条件①）
- キロ程の復唱（60 秒に 1 回）（以下、条件②）
- 質問への応答（60 秒に 1 回）（以下、条件③）
- 腰浮かし（20 秒以内に 1 回）に加えてキロ程の復唱（60 秒に 1 回）（以下、条件④）

まず、条件①は他の条件の比較対象として設定したものである。実験 1 で居眠り防止効果が認められた腰浮かしを検証の際の基準に設定した。次に、条件②は現状の相互唱和のみ再現したものである。スピーカから提示される「○○○キロ 500 メートル通過」（○○○には 3 桁の数字が入る。ただし、3 桁の数字の提示順序に規則性はない。）の音声を復唱する。そして、条件③は相互唱和の改善を狙った手法である。スピーカから提示される「好きな映画は何であるか？」などの質問に答えることで、物理的な刺激としては条件②と同程度でありながら、オペレータの興味・関心が高まることを期待した。最後に条件④は現状の相互唱和と腰浮かしを再現したものである。

なお、実験協力者には夜間に各条件で 1 時間ずつのシミュレータ操作をしてもらった（一晩に計 4 時間）。4 つの実験条件の試行順序については、順序効果を相殺するため 20 名の実験協力者にランダムに振り分けた。

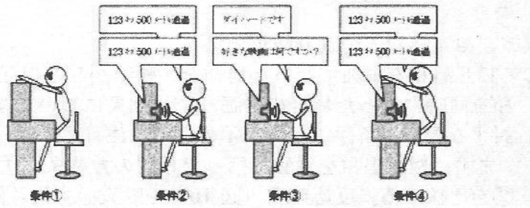

Fig.8 Conditions of Experiment 2

（カ）測定項目

実験 1 と同様に行動的指標、生理的指標、主観的指標の測定をした。ただし、実験 2 では身体各部位の痛みやだるさを把握するため、また各条件の動作に関する興味・関心を測定するため、主観的指標に疲労部位と興味・関心の主観評価を追加した。

3.3 実験の結果

（ア）エラー率、反応時間、CFF 低下率、眠気

実験 1 と同様に分析を行った。（図 9～12）

（イ）疲労部位調べ

疲労部位調べは身体各部位（17 箇所）の痛みやだるさについて「全く感じない」（0 点）から「強く感じる」（3 点）の 4 段階で評価をさせ、身体各部位の疲労を測定しようとするものである[1]。

各条件の前半終了時と後半終了時に、各実験協力者に対して尋ねて計算した 17 項目の合計得点から得点差（各条件の実験開始前の合計得点からの差）を求め、分析を行った（図 13）。

（ウ）興味・関心

各条件の前半終了時と後半終了時に、各実験協力者に対して尋ねた直前 30 分の作業に対する興味・関心の主観評価（0～10 点で評価し、得点が高いほど興味関心も高い）について分析を行った（図 14）。

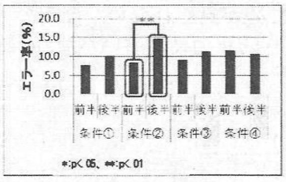

Fig.9 Ratio of operation error (Experiment 2)

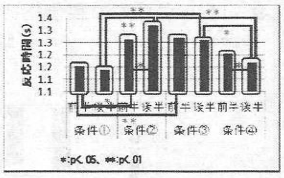

Fig.10 Reaction time from signal appearing to operation (Experiment 2)

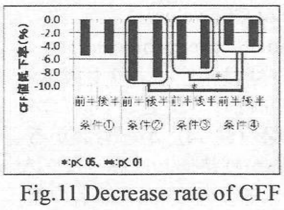

Fig.11 Decrease rate of CFF value (Experiment 2)

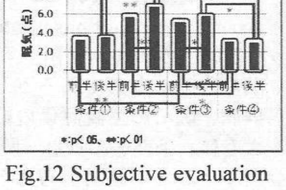

Fig.12 Subjective evaluation of sleepiness (Experiment 2)

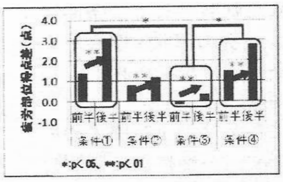

Fig.13 Difference of degree of fatigue (whole body) (Experiment 2)

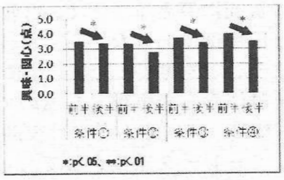

Fig.14 Degree of variation of interest (Experiment 2)

3.4 考察

（ア）相互唱和の居眠り防止効果

相互唱和を単独で行った場合と、腰浮かしと相互唱和を同時に行った場合の居眠り防止効果について検討するため、条件①、②、④の 3 つに注目する。

まず、相互唱和を単独で行った検討のため条件①と②を比較する。反応時間（図 10）や眠気の主観評価（図 12）の後半において差が見られ、条件①が条件②に比べ居眠り防止効果が高いことを示唆している。条件②は実際の相互唱和を忠実に再現しているとは言えない部分もあるが（実際場面では、オペレータは地上のキロ程表示を確認して喚呼する、キロ程には規則性がある、相互唱和の相手が人間であるなど)、動作だけを単純に比較すれば、腰浮かしと相互唱和では前者の居眠り防止効果が高いと考えられる。ただ、この結果はあくまでも腰浮かしとの比較であり、何もしない場合との比較ではないので、相互唱和自体の居眠り防止効果については不明である。

次に、腰浮かしと相互唱和を同時に行った場合の検討のため条件①と④、条件②と④を比較する。条件①と④の間で差が見られる評価指標はない。一方、条件②と④では、反応時間（図 10）の後半や眠気の主観評価（図 12)、および CFF 値低下率（図 11）の条件間において差が見られ、条件④が条件②に比べ居眠り防止効果が高いことを示唆している。これらの結果は腰浮かしと相互唱和を同時に行った場合に居眠り防止効果はあるが、その効果に寄与している主な要因は腰浮かしであり、相互唱和の影響は小さいことを意味していると思われる。

（イ）興味・関心を高める手法の改善

相互唱和について、興味・関心を高める観点から手法の改善を検討するため、条件②と③に注目する。図 9～14 のすべての評価指標で差が見られない。今回の実験では条件②と③の居眠り防止効果に違いがなかったことになる。

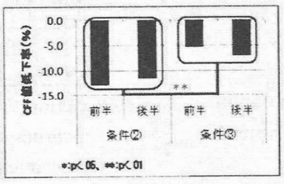

Fig.15 Decrease rate of CFF value (comparing conditions ② and ③ at experiment 2)

しかしこれは、当初、条件③は条件②よりも興味・関心が高くなるであろうと期待して設定していたが、興味・関心の主観評価の結果（図 14）からもわかるように、条件③の興味・関心が期待通りに高くならなかったことが原因と考えられる。そこで、20 名の実験協力者のうち、条件②よりも条件③の興味・関心の主観評価が高かった実験協力者（9 名）を抽出し、この実験協力者だけを対象に分析を行った。図 15 はその分析の中で、条件②と③の間に統計的な差が確認された CFF 値低下率の結果である（他の評価指標では差が見られなかった)。条件間に差が見られ、条件③が条件②に比べ居眠り防止効果が高いことを示唆している。つまり、質問への応答という手法で興味・関心が高まった人に限って言えば、キロ程の復唱よりも質問への応答の方が居眠り防止に効果があると言える。

今回設定した質問への応答という手法では、実験協力者の興味・関心をはっきり高めることができなかった。興味・関心を高める手法としてはさらに検討をする必要がある。ただ、今回の実験で、物理的な刺激は同程度であっても、興味・関心を高めれば、居眠り防止効果を高めることができる可能性が示された。相互唱和について、興味・関心の視点から改善を進めるという方向性は間違っていないように思われる。

3. まとめ

本研究では、当社の新幹線保守用車で実施されている腰浮かしと相互唱和について、居眠り防止効果を科学的に検証するとともに、これらの手法の改善案を提案することを目的とした。以下、結果をまとめる。

（ア）腰浮かしには一定の居眠り防止効果がある。

（イ）相互唱和と腰浮かしを比較すると、これらの単純な動作だけに着目した場合、相互唱和には腰浮かしほどの居眠り防止効果はない。

（ウ）相互唱和と腰浮かしを同時に行った場合に居眠り防止効果はあるが、その効果に寄与している主な要因は腰浮かしであり、相互唱和の影響は小さい。

（エ）相互唱和について、興味・関心を高める観点から手法の改善をすれば、居眠り防止効果を高められる可能性がある。

今回の一連の研究では、現手法に対して作業負荷を軽減した新たな手法を提案することができなかった。一定の居眠り防止効果が認められた腰浮かしであるが、痛みやだるさといった疲労の面では課題が残る（図 13)。現状の覚醒レベルの維持を前提に腰浮かしの負担軽減をさらに検討したいと思う。また、相互唱和の手法については興味・関心を高める具体的な改善を提案するまでには至らなかった。しかし、責任者とオペレータの 2 名で運行する新幹線保守用車では、相互唱和はお互いが眠っていないことを認識し合える手法であり、責任者の覚醒維持にも効果が期待できる。相互唱和の手法改善についても今後の課題と言える。

1) 加藤象二郎，大久保尭夫，初学者のための生体機能の測り方第 2 版，日本出版サービス，2006
2) 倉又ら，覚醒レベル保持に有効な刺激とその与え方についての実験的検討，RTRI REPORT Vol.8、No.1、1994.1