

運転士の異常時対応能力向上プログラムの実用化

小美濃 幸司* 遠藤 広晴*

Practical System for Implementing Vocational Training Program for Improving
Train Driver Abilities to Cope with Abnormal Situations

Koji OMINO Hiroharu ENDOH

A vocational training program was developed to reduce human error of train drivers due to stressful or psychologically trying situations or a fall in vigilance after facing such situations, through simulator experience designed to equip them with abilities to respond to such abnormal situations. After developing the idea for this training program called as Vocational Training Program for Improving Train Driver Abilities to Coping with Abnormal Situations, we developed a practical system with a trainer interface, which enables train drivers to practice individually.

キーワード：運転，教育訓練，人間工学，シミュレータ，異常時対応能力，振り返り支援システム

1. はじめに

鉄道事業者による異常時訓練はさまざまな方法で実施されている。シミュレータを使用した訓練もその1つであり、平常時の訓練に加え、経験する機会の少ない異常時の運転取扱いや事故発生時の対応訓練もなされている。こうした訓練では、主に異常な状況に対する手続きの定着を図ることが重要な目的となっている。

しかしながら、実際には運転士が運転事故や輸送障害に遭遇した時に、手続きを覚えていたとしても異常事態に適切に対処することは容易なことではない。異常事態の原因が明確でない場合、あるいは自身のエラーが原因であった場合、不安や焦りが生じやすく、その対処が適切に行われた場合でも、その後の安堵感からくる気の緩み等が生じることがあると考えられる。そのような心理状況から、普段ならできるはずの対応ができなかったり、事故措置を終えて所定の運転に復したところで注意力が低下し、2次エラーを起こしたりすることがある。こうした原因不明の異常時や自身のエラーによる異常時で2次エラーを起こしてしまうのは、周りの状況だけでなく、自身の状況を客観的にみることができなかったり、気づかなかったりする状態に陥っているためと考えられる。

そこで、異常時に自分がどのような心理状態になり、どのように行動する傾向にあるのかを把握していれば2次エラーを起こさないようにする効果があるのではないかと考え、先行研究^{1) 2)}において提案されたのが異常時対応能力向上プログラムである。

今回この異常時対応能力向上プログラムを実用化する

ための検討を行った。まず、訓練の現場を意識してプログラム構成について再検討し、先行研究の設計概念を踏まえた上で、プログラム構成をシンプルなものとした。その上で、運転訓練シミュレータに機能を付加する振り返り支援システムを開発した。そして、運転士経験者にプログラムを試行してもらい、同システムを評価してもらい有効性確認試験を実施した。本論文は、その異常時対応能力向上プログラムの実用化の内容と有効性確認試験の結果について報告を行うものである。

2. 異常時対応能力向上プログラム

異常時対応能力向上プログラムは、異常時運転シナリオによって運転士が異常時の心理過程をシミュレータ訓練で疑似体験し、次にその運転行動をデータに基づいて客観的に振り返ることで自身の異常時の心理状態と運転行動の特徴を意識化するという2段階の構成になっている(図1)。

2.1 異常時運転シナリオ体験

異常時対応能力向上プログラムで重要となるのが、異常な状況に遭遇した際の不安や焦り、あるいは異常時対処後の安堵による気の緩み等が生じやすい状況を体験できる異常時運転シナリオを構成することである。

異常時運転シナリオについては、先行研究においてすでに10種類の課題が提案されている²⁾。例えば「先行列車が故障した関係で、停車駅の着発線の変更を急遽指示され、かつ信号担当の取り扱い誤りが生じる」課題、「駅間力行中に急病人が発生し、かつ閉そく信号機が消灯している」課題、「防護無線で非常停止した後、再起動時に誤った着線につり込まれるように場内信号機の現示が

* 人間科学研究部 人間工学研究室

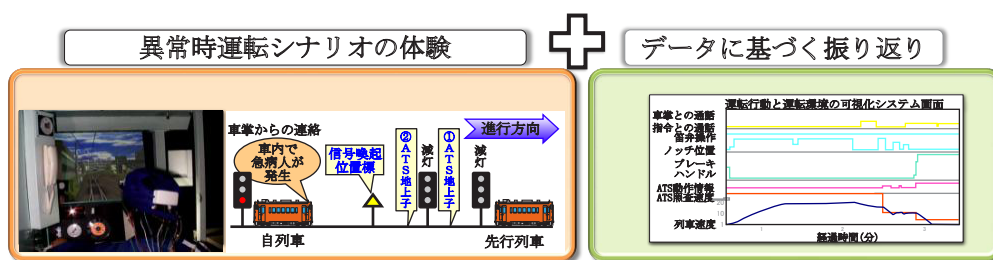


図1 異常時対応能力向上プログラムの構成

変わる」課題等である。18名の現役運転士にこれらの課題を試してもらったところ、ほぼ全員がエラーを犯す課題から、エラーを犯さない課題まで、難易度には幅があることがわかった。しかしながら、これらを体験した運転士の評価は「営業線上ではめったにあることのない体験をできてよかった」等、総じて想定した心理状態が体験できて役立つと感じたというものであった。

以上の先行研究の成果を活かし、本研究テーマでは、さらに異常時対応能力向上の目的に対して効果的なシナリオに改良することとした。先行研究の異常時運転シナリオでは1つの課題だけを含む構成であったが、今回は1つのシナリオに連続して発生する複数の課題を含む構成とした。これにより、1つ目の課題で自分が起こしたエラーにより生じる心理状態のまま2つ目の課題に対応することで、正に異常時対応能力に必要な経験が得られるようになると考えられる。また、1つのシナリオに複数の課題を連続発生させることで、目的とした心理状態を経験する確率が高くなり、効率的な訓練となる。例えば、後述の評価試験では先行研究の課題の中から「ブレーキ力低下」課題と「閉そく信号消灯」課題との組み合わせを運転シナリオとして用いた。このシナリオについては「4. 有効性確認試験」で説明する。

2.2 振り返り

「シミュレータ運転体験後に、運転中の操作や感情について思い出すこと」を振り返りと呼んでいる。この振り返りをデータに基づき客観的に行うのが、異常時対応能力向上プログラムの第2段階である。

先行研究¹⁾では運転データや心拍数のグラフ、視線移動図を提示することが、振り返りに有効であることが示されている。しかしながら、これらは基礎的な検討であり、概念設計レベルにとどまるものであった。心拍数計測には専任の心電図測定者が、視線移動には専任のアイカメラ測定者が必要で、特にアイカメラについては装着準備とデータ処理に時間と手間がかかり、通常の訓練時間内に結果を確認することが難しい状況であった。運転データについてはフィードバックシステムで確認できるが、表示は静止画面で、ページを順次手動で送りながら必要な情報を検索する必要があった。また、運転デー

タ、心拍数、視線移動図はそれぞれ個別のシステムで連携なく記録され、処理されるため、これらのデータの対応関係を見るための準備処理が別に必要であり、そのための解析担当者が必要とされた。

一方、実際の訓練において振り返りにより訓練者が自身の行動や心理状態を理解し、その傾向に気づくためには、訓練後記憶が鮮明なうちに、ストレスなく、容易に必要な情報を検索でき、訓練時間内に集中して重要ポイントを抑えた振り返りができることが重要である。そこで、今回提案した実用化システムでは、次の機能を満たすように設計した。

- ・振り返りに使用する各種データを一元管理して、客観的に、かつ総合的に、状況を把握できるものとする。
- ・新鮮な記憶で、効果的な振り返りができるように、記録情報をスムーズに検索でき、運転データ、映像データ、心拍データ等の情報を同期表示するユーザビリティの高いインターフェースとする。
- ・重要ポイントが素早く把握できるように、振り返りのポイントのまとめを運転直後に出力する。
- ・アイカメラ視線解析の代わりに訓練者の見ている向きをビデオカメラで確認できるようにし、さらに手元動作や前方映像などの関連映像を同期させて記録する。
- ・心拍数計測器は容易に装着でき、かつ訓練者に負担のないものとする。
- ・エラーを自動判定する機能を取り入れる。
- ・訓練中、指導員が手がかりとなる目印を入れ、振り返りの際、その箇所を素早く確認できるようにする。

3. 振り返り支援システム

振り返り支援システムは異常時対応能力向上プログラムを実施するために運転訓練用シミュレータに付加するシステムであり、前章で述べた異常時運転シナリオの構成に対応し、かつ振り返りの実用化ポイントとして挙げた機能を実現できるようにしたシステムである。このシステムは、映像表示・記録サブシステム、運転データ収集サブシステム、心拍数計測サブシステム、エラー判定・通知サブシステム、プレイバックサブシステム、運転操作診断サブシステムの6つのサブシステムで構成されている(図2)。

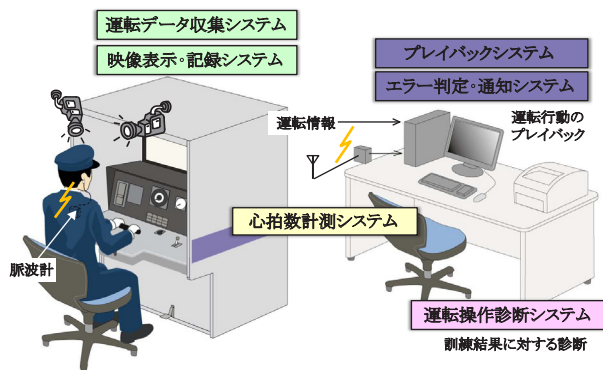


図2 システム構成

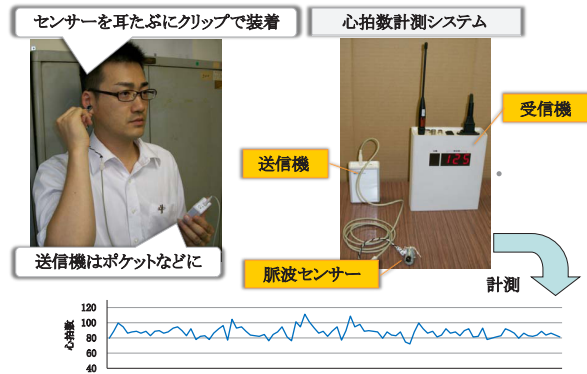


図3 心拍数計測サブシステム

3.1 運転データ収集サブシステム

運転データ収集サブシステムは、運転訓練シミュレータの運転シミュレーションプログラムと同期して、運転操作と列車走行に関するデータを一定サンプリング間隔で収集し、映像表示・記録サブシステムに送信する。また、このサブシステムは、路線上の信号喚呼位置標を示すタグ情報（確認喚呼タグ）、列車無線機の操作状況を示すタグ情報（通話タグ）、異常時課題発生状況に係る情報を運転データに埋め込む機能を含んでいる。なお、今回の試作システムでは、訓練開始から訓練終了までを自動記録するようにした。

3.2 映像表示・記録サブシステム

映像表示・記録サブシステムは、シミュレータの主計算機から取り出してくる運転データ、心拍数計測サブシステムからの心拍数データ、エラー判定・通知サブシステムからのエラー情報をリアルタイムでグラフ表示する。そして、カメラからの映像データを含む全データを記録・保存する。また、このサブシステムの中に指導員が指導の際に容易に振り返ることのできるように押しボタンによって任意の時刻で目印のタグ（指導員タグ）を運転データに埋め込む機能がある。

3.3 心拍数計測サブシステム

心拍数計測サブシステムは、耳たぶに挟んで装着するタイプのセンサーで脈波を拾い、脈波から心拍数を算出し、映像表示・記録サブシステムに送信する（図3）。なお、装着していることが運転の邪魔にならないようにデータの送信は無線で行い、さらに運転士の気にならないように無線送信機は制服のポケットに容易に納まるサイズのものを採用した。

3.4 エラー判定・通知サブシステム

エラー判定・通知サブシステムは、シナリオ毎に決められた運転取扱いに対し、既存のシミュレータの主計算機からの運転データを基に運転操作のエラー判定を行

い、映像表示・記録サブシステムに送信する。また、運転士に対し、運転中にリアルタイムで音声によってエラー通知する機能を選択することもできる。

3.5 プレイバックサブシステム

プレイバックサブシステムは、映像表示・記録サブシステムが保存管理する運転データ、心拍数データ、エラーデータのグラフを表示し、かつ映像データを同期再生する（図4）。これらの情報表示と共に運転操作診断に必要とするデータを運転操作診断サブシステムへ送信する。また、以上の表示画面を必要に応じて印刷できる。

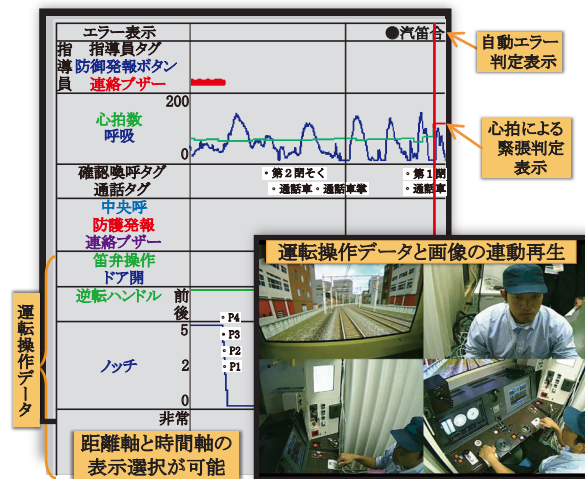


図4 プレイバックサブシステム画面
(実際には2つの画面を並置して表示)

映像表示は4つのカメラ映像を4分割画面に同期表示したもので、目線確認等のために前から顔を写した映像、上から手元と操作卓を映した映像、これら2つの映像の死角となっている手元と時刻表等を横から写した映像、および列車前方の映像から構成されている。また、音声も再生され、これらの映像と併せて訓練生の行動が容易に把握できるものとなっている。

グラフ表示は、画面レイアウトも含め、振り返りを効果的に支援する機能を持たせるようにした。横軸を時間

特集：人間科学

と距離のいずれでも選択表示でき、目盛間隔調整ができるものとなっている。

検索機能として、スライダーによるスクロール機能やジャンプ機能があり、任意の時刻あるいは位置を指定して再生でき、同期再生される映像データと見比べながらその時刻あるいは位置での状況・状態を確認することができる。このジャンプ機能は、時刻や位置指定の他、データに埋め込まれた喚呼タグと通話タグ、指導員がボタンを押したポイントにマークされた指導員タグにジャンプすることができる。

心拍数データについては利用者が理解しやすいように心拍数の増減から緊張判定を行い、高い緊張を示すグラフ部が赤色で表示される。

3.6 運転操作診断サブシステム

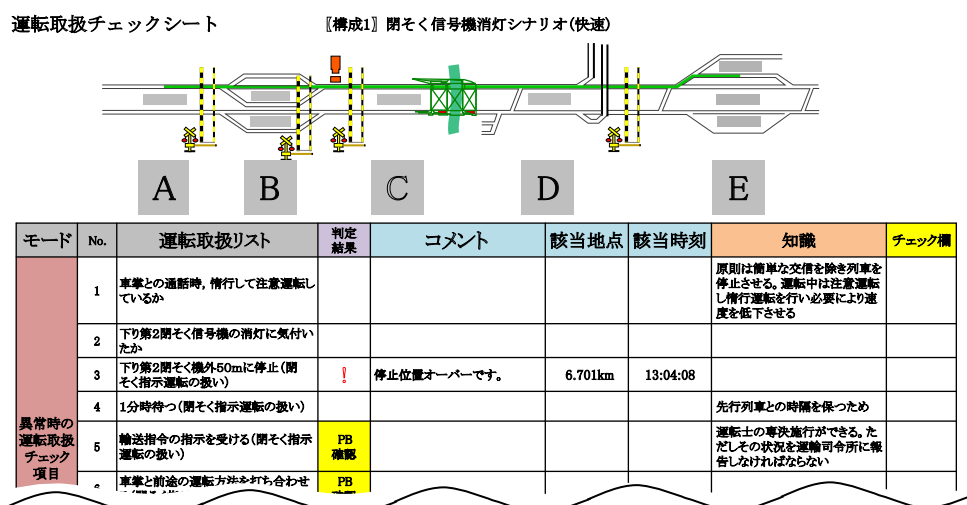
運転操作診断サブシステムは、映像表示・記録サブシステムおよびプレイバックサブシステムから送られるデータを基に、運転直後に、振り返りに使用する参考情報を総括し、運転取扱チェックシートと基本データ（運転操作・生理量）を印刷する（図5）。運転取扱チェックシートには正規運転取扱リスト、エラー判定結果、コメント、関連知識等が含まれている。基本データ（運転

操作・生理量）には駅間毎の所要時間、駅進入速度、平均心拍数等のデータが含まれている。これらの運転操作診断結果を基に振り返りが必要な時刻あるいは位置を漏れなく把握し、プレイバックサブシステムを使ってそのポイントの運転行動や心理状況について確認したり、思い出したりすることが容易にできるようになっている。

4. 有効性確認試験

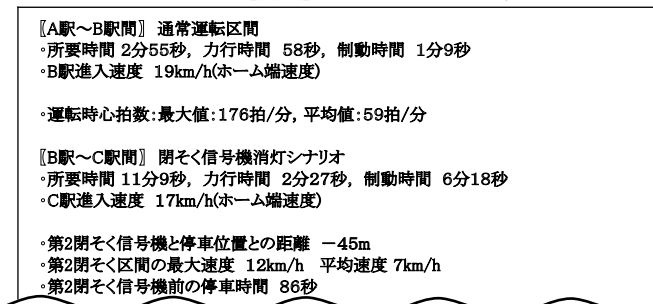
異常時対応能力向上プログラムの振り返り支援システムの有効性確認試験を北海道旅客鉄道株式会社で実施した。被験者は指導員クラスの運転経験者 20 名（年齢 33 歳から 53 歳、平均 45 歳）で、被験者 2 名ずつを 3 時間拘束して 10 回に分けて試験を実施した。試験全体の説明とアンケート評価の時間が含まれており、3 時間のうち異常時対応能力向上プログラム実施にかかった時間は、1 人当たり 1 時間程度であった。なお、試作した異常時運転シナリオは同社の運転環境と異なる仮想線区を前提としているため、あらかじめ被験者に運転区間のビデオ映像を渡し、路線イメージを把握しておいてもらった。

有効性確認試験では、被験者が訓練生として異常時対応能力向上プログラムを体験した上で、異常時対応能



(a) 運転取扱チェックシート

基本データ(運転操作・生理量) 【構成1】閉そく信号機消灯シナリオ(快速)



(b) 基本データ(運転操作・生理量)

図5 運転操作診断サブシステムの出力

力向上プログラムの振り返り支援システムについてアンケート評価を行った。既に述べたように異常時対応能力向上プログラムは、異常時運転シナリオ体験と振り返りの2段階の構成であり、各段階の実施方法は以下の通りであった。

4.1 異常時運転シナリオ体験

まず、被験者はシミュレータとその仮想線区の運転に慣れるため平常時シナリオで練習走行を数回行った。その後、本番として異常時運転シナリオでの運転を行った(図6)。今回の試験では異常時運転シナリオを2種類用意し、いずれか一方のシナリオを指定して行った。シナリオは以下に示す2種類であるが、被験者はどのような異常時運転シナリオが用意されているのかは知らされておらず、運転士として適切に課題に対応することが求められるものであった。



図6 異常時運転シナリオ体験風景

(1) 異常時運転シナリオ1 (図7(a))

A 駅を出発し、B 駅まで通常通り運転を行う。B 駅出発後「力行運転中に車掌からの急病人発生の連絡を受け」、かつ「第2 閉そく信号機および第1 閉そく信号機の2つの信号機が消灯している」という2つの異常が同時に発生する。この課題では車掌からの連絡に気をとられ、消灯信号機を冒進してしまうというエラーを想定している(図8)。この事態に対し、運転士は「車掌および輸送指令との連絡をとり、閉そく指示運転を行い、次駅で停車し、急病人を降ろして、輸送指令に急病人対応終了を報告する」対応が求められる。さらにC 駅で無

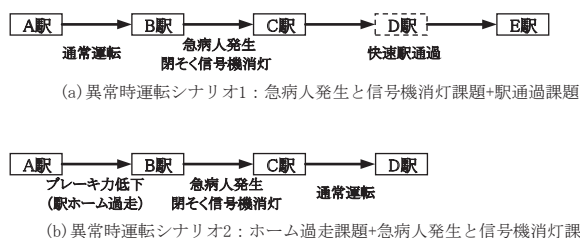


図7 有効性確認試験の異常時運転シナリオ

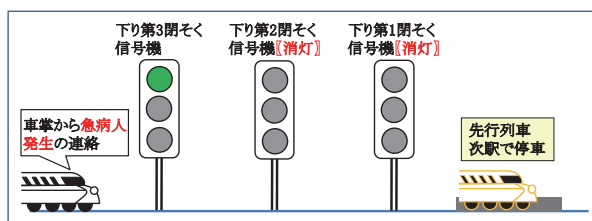


図8 急病人発生と信号機消灯課題

事急病人の対応を終えた後、唯一の通過駅であるD 駅の対応を忘れずに行うことが求められる。

(2) 異常時運転シナリオ2 (図7(b))

A 駅を出発し、B 駅において「原因不明であるが突然ブレーキ力が低下し、駅ホームを過走してしまう」という異常が生じる。そこで、運転士は「車掌および輸送指令との連絡をとり、駅の所定位置まで後退し、停止する」対応を求められる。

B 駅出発後、「力行運転中に車掌からの急病人発生の連絡を受け」、かつ「第2 閉そく信号機および第1 閉そく信号機の2つの信号機が消灯している」という異常時運転シナリオ1と同じ異常が発生する。この後、D 駅に到着して終了となる。

4.2 振り返り

振り返りは運転操作診断の運転取扱チェックシートと基本データ(運転操作・生理量)を参考にして、被験者がプレイバックサブシステムを使って行った。本システムを初めて使用するため、自身での振り返りの前に試験実施者からシステムの機能と操作についての説明を受けた。図9に被験者が振り返りを行っている試験風景を示す。また、今回はプレイバックサブシステムの機能をアンケートで評価してもらうために、振り返りと同時に全ての機能を自由に試してもらった。



図9 振り返りの風景

4.3 アンケート評価

異常時対応能力向上プログラム体験後に、訓練生と指導員の2つの視点から異常時対応能力向上プログラムと振り返り支援システムについて被験者に評価してもらった。アンケート内容は、異常時対応能力向上プログラム全般、プレイバックサブシステム、運転操作診断、エラーの自動判定、それぞれについて役立つかどうかという質問を中心に構成した。

アンケート評価の結果、異常時対応能力向上プログラム全般について、訓練生の視点からみて概ね目的の能力向上に役立つという回答が得られた(図10)。ただし、同プログラムは指導員が付かず一人で訓練するよりも、指導員が付いて行う訓練で役立つとの回答が多く、その場合、全員が「役立つ」または「非常に役立つ」としていた。また、指導者の視点からみて指導に「役立つ」または「非常に役立つ」とした回答は9割を占めた(図11)。

「プレイバックサブシステムの運転操作や心拍数は振り返りに役立つと思うか」という質問に対して、訓練生の視点から4分の3が「役立つ」または「非常に役立つ」

特集：人間科学

という回答であった。4種類の映像については訓練生の視点から4分の3以上が、指導者の視点から8割以上が「役立つ」または「非常に役立つ」と回答した。

また、最も役立つ表示の上位5項目は、訓練生の視点では信号現示、ノッチ・ブレーキ、心拍数、エラー表示、ATS動作であり、指導員の視点では指導員タグ、信号表示、心拍数、エラー表示、ノッチ・ブレーキ、通話等（5位は同率2項目）であった。最も役立つプレイバックサブシステムの機能については、グラフと映像の連動を選択した回答が顕著に多かった。

「運転操作診断で運転操作や心拍数を確認することは、振り返りに役立つと思うか」という質問に対して、訓練生の視点から7割が、指導者の視点から9割が「役立つ」または「非常に役立つ」という回答であった。最も役立つ運転操作診断の項目は、訓練生の視点、指導員の視点いずれもエラー地点・時刻と運転取扱が多く、特に指導員の視点ではこの2項目で8割以上を占めた。

「エラーの自動判定は、指導の際に役立つと思うか」との質問に対し、指導員の視点で評価した結果、9割が「役立つ」または「非常に役立つ」という回答であった。

以上、アンケート結果を総合すると、概ね異常時対応能力向上プログラムの振り返り支援システムが有効であるとの回答を得られたと言える。ただし、上記回答に見られるように異常時対応能力向上プログラム自体は指導員が付いた訓練の方が自主学習よりも効果が発揮できると考える回答者が比較的多く、基本的には指導員付き訓練での活用が望ましいと考えられる。また、今回のシナリオが仮想線区であったことから、自由記述の欄で「自分の実線区での訓練が望ましい」とする意見が比較的多く聞かれた。プレイバックサブシステムは客観的に振り返られることやグラフと映像が連動してわかりやすいと言った高い評価が多くみられたが、さらなる改善点として「グラフ上で異常時運転シナリオがもっと容易にわかるようにした方が良い」、「グラフ上の現在地点を示すバーを移動する操作が、直接バーをつまんで移動できるとよい」等の意見も見られた。

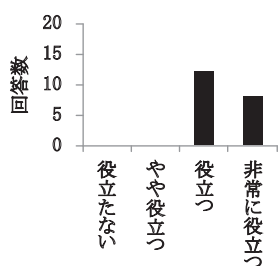


図10 「訓練生の立場から見て、異常時対応能力向上に役立つか」の評価回答

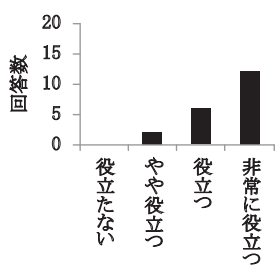


図11 「指導員の立場から見て、指導の際に役立つか」の評価回答

5. まとめ

異常時対応能力向上プログラムは、異常時運転シナリオによって異常時の心理過程をシミュレータ訓練で疑似体験し、次にデータに基づいて客観的に振り返ることで自身の心理状態と運転行動の特徴を意識化する運転士用教育訓練プログラムである。本研究では、異常時対応能力向上プログラムの実用化を目的とした振り返り支援システムを開発した。

振り返り支援システムは運転訓練シミュレータに付加するタイプのシステムで、6つのサブシステムからなっている。振り返りに使用する運転データ、映像データ、心拍データ等を一元管理し、それらの情報のスムーズな検索と同期表示ができるユーザビリティの高いインターフェースと振り返りのポイントを運転直後に出力する機能を有し、新鮮な記憶で、効果的な振り返ることができるようになっている。

また、20名の運転経験者がシステムを試用し、アンケート調査評価を行った。その結果、異常時対応能力向上プログラムおよびその実用システムである振り返り支援システムは、訓練生の立場、指導員の立場、いずれの立場からも概ね異常時対応能力向上に役立つとの評価が得られた。特に、プレイバックサブシステム、運転操作診断およびエラーの自動判定については、指導に役立つと評価された。

6. おわりに

振り返り支援システムは訓練生の気づきを促し、指導にも有効なツールであるとの評価を得た。また、異常時対応能力向上を目的としたものであるが、通常のシミュレータ訓練でも役立つと考えられる機能も含まれている。今後は、本システムが事業者に広く活用して頂けるように情報発信をしていくとともに、導入のための支援を行っていく予定である。

なお、振り返り支援システムは三菱プレジジョン(株)殿との共同研究において開発されたものである。

謝辞

最後に、今回の有効性確認試験に快くご協力して頂いた北海道旅客鉄道株式会社の方々へ心より感謝の意を表する。

文献

- 1) 喜岡恵子, 澤貢, 北村康広, 赤塚肇: 運転士の異常時対応能力向上に向けた教育プログラムの開発, 鉄道総研報告, Vol.23, No.9, pp.5-10, 2009
- 2) 井上貴文: 運転士の異常時対応能力向上プログラムの開発, 第234回鉄道総研月例発表会要旨集, 2010