

運転士の視線配分データフィードバックシステムの開発

鈴木 大輔* 菊地 史倫* 小池 隆治**

Development of a Gaze Distribution Data Feedback System for Train Drivers

Daisuke SUZUKI Fumitoshi KIKUCHI Takaharu KOIKE

This study aimed at developing gaze data feedback system for conducting a driving simulator training using quantitative gaze data of train drivers. The system can preset driving scenes to efficiently instruct trainees within a limited training time. The system can also to compare trainees with experts on face direction and gaze data graphs to clarify the characteristics of trainees' visual search. In addition, the system can visualize the gaze data and clearly show the objects that trainees were looking at while driving. An instructor from a railway company tried the system and gave it a positive evaluation as a training tool for trainees' visual search.

キーワード：視線配分，注視行動，フィードバック，振り返り，運転シミュレータ，訓練

1. はじめに

1.1 背景と目的

鉄道の運転士は様々な異常事象に対応することが求められており，この対応力を向上させるために運転シミュレータを用いた訓練が行われている^{1) 2)}。鉄道総研は，運転シミュレータを活用した訓練方法として，発生した異常事象に迅速・的確に対応することに焦点を当てた異常時対応能力向上プログラム^{3) 4)}を提案した。また，「シミュレータ運転体験後に，運転中の操作や心理状態について思い出すこと」を振り返りと呼び，訓練運転中に撮影された自身の映像と走行速度や運転操作等の運転データを見ながら異常時の対応を振り返る機能（振り返り支援システム）^{5) 6)}を開発した（図1）。

一方で，運転中に発生する異常事象をいかに素早く発見するかに着目すると，運転士の視線配分のあり方が重要だと考えられる。乗務員の教育や訓練での指導にデータを使った客観的な説明をすることは効果があることがわかっており^{5) 7)}，視線配分においても「シミュレータ運転体験後に，客観的な視線配分データ（注視対象物や注視時間）に基づいて，運転中の視線配分を振り返ること」が有効であると考えられる。そこで本研究では，運転士に負担をかけることなく視線を計測する方法について検討し，訓練受講者の視線配分データを訓練運転直後にフィードバックするシステムを開発した。なお，本論文では，「訓練受講者に，行動の内容や結果を知らせ，関連する知識を与えること」を「フィードバック」と呼ぶこととする。



図1 振り返り支援システムの画面例
(上方，側方，後方からのカメラ映像と車外映像)

1.2 視線配分に関する先行研究の調査

鉄道分野では運転士の視線配分に関して，古くから研究されてきた。鉄道総研の人間科学研究部の前身である鉄道労働科学研究所において，水田ら⁸⁾は，在来線の普通列車を運転中の視線配分を算出した。その結果，車外は約80%，車内機器は約15%，その他は約5%であった。車外のうち前方は約50%，信号は約25%，その他は約25%であった。一回あたりの注視時間は0.5～0.9秒が多く，短時間のスキッピングが行われていることを示した⁹⁾。水田ら¹⁰⁾は，列車の運転状況と視線配分の関係を分析し，運転制限速度まで余裕のある状態では速度計への注視頻度は低くなること，車外への視線配分は線路環境，特にカーブの多少，左右方向の見通しの状況などによって影響を受けやすいことを示した。伊南ら¹¹⁾は，貨物列車を運転している時の視線配分を調査し，車内機器に向けられる注視時間が長いこと，ノッチ扱いやブレーキ扱いの際に電圧・電流計や圧力計に対して長い時間の注視が行われることを明らかにした。また，西日本旅客鉄道株式会社の安全研究所においても，西本ら¹²⁾は，運

* 人間科学研究部 人間工学研究室

** 株式会社エモヴィス

転士の視線配分を分析した。その結果、車外は約 85%、速度計・時刻表・時計等は約 15%であった。車外のうち前方は約 65%、信号は約 10%、標識は約 10%、その他は約 15%であった。しかしながら、これらの運転士の視線配分に関する研究の目的は運転台設計等への活用であり、運転中の視線配分に関して、データを用いた訓練については検討されてこなかった。

鉄道総研において、筆者ら^{13) 14)}は、運転シミュレータにおける走行速度の異なる2つのシナリオ（高速と低速）を対象に、運転中に前方に発生した異常事象を発見できた運転士と発見できなかった運転士の視線配分を比較した。その結果、発見できた運転士は高速走行では比較的遠くの正面を長い時間注視していることが多く、前方を奥行方向に深く見ていると考えられた。低速走行では比較的近くの注視点の移動範囲が広く正面以外にも風景や線路を注視していることが多く、前方を左右方向に広く見ていると考えられた。

他の交通分野においては、初心者と熟練者による視線配分の違いについて検討されてきた。永田ら¹⁵⁾は、自動車の運転者を対象に、初心者と熟練者の低速走行時の視線配分を比較した。その結果、初心者より熟練者の方が左右方向の注視範囲が広いことを示した。また、佐藤¹⁶⁾は一般道を運転中のドライバの注視点と周辺視情報処理について測定し、熟練者は片側一車線の道路では前方に中心視をすえて周辺の情報は周辺視で処理する視覚探索を用いて運転していること、片側二車線道路や市街地では他車の動き等に注意を払うために広い範囲に注視点分布していることを示した。片山ら¹⁷⁾は、二輪車のライダーを対象に、初心者と熟練者の視線配分を比較した。その結果、初心者の特徴として、同一対象物を繰り返し見る回数が少ないこと、遠方を注視する回数が少ないことを示した。

このように、初心者と熟練者の視線配分は異なるといった研究結果が数多く報告されている。初心者を熟練者に近づけるための訓練方法については、初心者に自身の視線配分データをフィードバックし、自身の視線配分について振り返りながら熟練者との違いを教育することが考えられる。

1.3 データを用いた振り返りに関する先行研究の調査

データを用いた振り返りの訓練効果については、運動学習の分野で研究されてきた。小澤ら¹⁸⁾は、鉄棒運動を対象に、運動直後に自身の映像を見たグループと見なかったグループを比較した。その結果、自身の映像を見たグループは習得率が高く、自己評価と教師による評価の差も小さいことを示した。自身の映像を見ることにより正確に自身のフォームや動きを認識できるようになったと考えられている。村山ら¹⁹⁾は、フライングディスク・

サイドアームスロー（プラスチック製の円盤を横投げで投げる動作）を対象に、映像の即時フィードバックの有無による技術向上について比較した。その結果、フィードバックを行った群において、課題（ディスクが地面と水平になって飛ぶ）の成功回数が多くなり、技術向上の効果が確認された。賀川²⁰⁾は、カヌー競技を対象に、運動技能習得のためデジタル・コンテンツを利用して動画をフィードバックした。その結果、フォームの改善やコース取り等、技能習得に関する効果が認められたと報告している。杉山ら²¹⁾は、バスケットボールを対象に、ミドルシュートの成功率が高い選手の視線配分を成功率が低い選手に映像で提示した。その結果、成功率が低かった選手の視線配分は成功率が高い選手に近づき、成功率も向上したと報告している。しかしながら、データを用いた振り返りの効果について、運動技能の習得に関しては数多く検討されているものの、視線配分についてはバスケットボールの例のみであり、運転中の視線配分を対象とした検討はなされていない。

2. 視線配分データフィードバックシステムの作成

視線配分データを用いた訓練を実現するために、訓練運転中に計測した視線配分データを、訓練運転直後に訓練受講者にフィードバックするシステム（視線配分データフィードバックシステム）を開発した。視線配分データフィードバックシステムは、「視線計測・注視対象物判定機能」と「視線配分データ集計・表示機能」からなる。

2.1 視線計測・注視対象物判定機能²²⁾

視線の計測にはEMR ACTUS（株式会社ナックイメージテクノロジー製）を使用した。EMR ACTUSは2台のカメラで頭部と眼球を撮影し（図2）、キャリブレーションをせずに非接触で視線を計測できることを特長とする。運転現場の訓練で視線配分データを収集するためには、運転士に負担をかけずに視線を計測することが重要である。また、普段の運転と同様の視線配分データを収集するためには、視線を計測されていることを運転士に意識させないことも重要である。さらに、運転現場でのシミュレータ訓練は時間が限られているので、キャリブレーション等に時間を割かずに効率的に視線配分データを収集する必要がある。これらの点を考慮し、キャリブレーションをせずに非接触で視線を計測できる手法を用いた。

視線計測の範囲は装置の性能を考慮し、運転シミュレータの前画面内とした。鉄道の運転中は前方だけでなく、運転室内の速度計や時刻表の注視が重要となる場合も想定される。そこで、頭部映像の画像解析により、

頭部の回転と傾き量を算出し、それらをもとに顔向き（前方、時刻表、速度計、運転台手元）を判定することとした（図3、図4）。

顔向き判定の閾値を定めるために、運転操縦中の顔向きを計測する実験を行った。参加者は鉄道総研の職員4名（男性2名、女性2名）であった。運転シミュレータの一駅間を運転中に「時刻表」、「速度計」、「運転台手

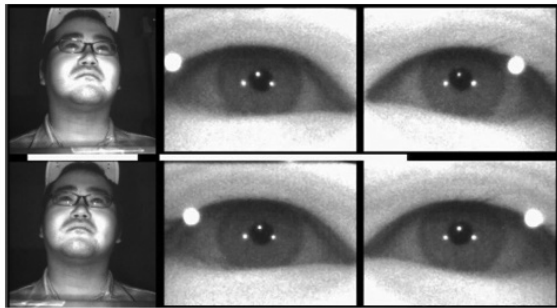


図2 撮影された頭部と眼球の様子
（文献²²⁾から引用）



図3 顔向き判定のエリア

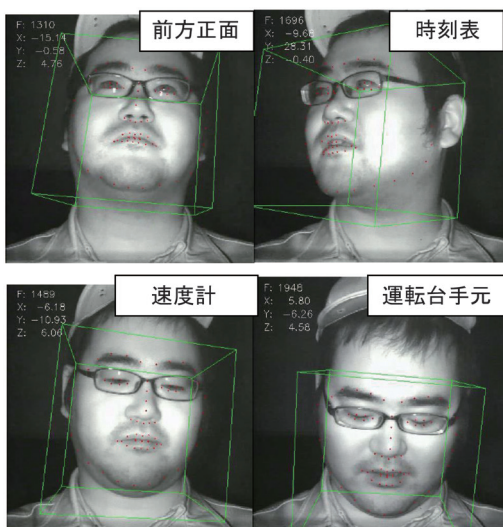


図4 頭部の回転・傾き量から顔向きを推定
（文献²²⁾から引用）

元」を見るよう所定のタイミングに口頭で指示した。一駅間で、指示はそれぞれ2回であった。口頭の指示により顔を向けた「時刻表」、「速度計」、「運転台手元」の顔向き角度のデータをもとに、顔向き判定の閾値を定め、顔向きを判定した。参加者の属性と顔向き判定の結果を表1に示す。「時刻表」、「速度計」、「運転台手元」について、画像解析により顔向きを判定できることを確認した。ビデオ映像と顔向き判定結果を比較し、画像解析による顔向き判定は、ビデオ映像による顔向きと概ね一致していることを確認した。

顔向き判定により、前方画面内と画面外（時刻表、速度計、運転台手元）を判別したうえで、前方画面内に顔が向いている際には、前方画面上での視線の位置を計測し、注視点を抽出した。また、キロ程が同じ場合、前方風景（信号機などの画面上での位置）も同じになることが鉄道運転の特徴であることから、キロ程ごと（0.1m刻み）に各オブジェクト（信号機など）の前方画面上での座標を計測し、オブジェクトエリアデータを生成した。オブジェクトエリアデータの生成には、OI-Editor（株式会社エモヴィス製）を使用した。表示されている動画映像上で任意の対象物の矩形を指定した後、物体追跡処理により映像の再生とともに連続した矩形座標データを出力した。出力するデータには映像上のフレーム情報を付与し、運転シミュレータのログファイルのキロ程情報と照合して、キロ程ごとのオブジェクトエリアデータを生成した（図5）。物体追跡のために、元の映像は逆転再生させた。

訓練運転終了後に各オブジェクトのエリアデータと各注視点の前方画面上での座標データを照合し、注視対象物を判定した（図6）。事前に生成したキロ程ごとのオブジェクトエリアデータを用いることにより、訓練受講者が運転中に注視していた対象物を自動で判定できることを確認した。

2.2 視線データ集計・表示機能

運転シミュレータから出力される運転データ（キロ程、走行速度、力行ノッチ、ブレーキノッチ）、顔向きデータ、視線データを整理し、統合データを作成する。キロ

表1 参加者の属性と顔向き判定結果

参加者		A	B	C	D
属性	性別	女性	男性	女性	男性
	眼鏡	なし	あり	なし	あり
顔向き判定	画面内(%)	85	94	92	91
	時刻表(%)	5	3	3	4
	速度計(%)	7	2	4	4
	運転台(%)	3	1	1	1

程ごとに複数の運転士を比較できるようにキロ程をデータ統合の基軸とした。

視線配分データフィードバックシステムの画面例を図7に示す。視線配分データフィードバックシステムの画面は、「(1) 運転場面指定エリア」、「(2) グラフエリア」、



(A) 対象物の初期指定



(B) 対象物の追跡状況

図5 矩形座標データの生成

「(3) 動画エリア」の三つで構成されている。

2.2.1 運転場面指定エリア

運転場面指定エリアでは、駅進出や踏切通過等、あらかじめ設定しておいた指導すべき運転場面を指定できる。実際の運転士の定期訓練では、例えばシミュレータ訓練の時間が60分で訓練運転が40分程度の場合、視線配分データを用いた振り返りの時間は20分程度しか取れないことが想定される。そのため、記録した動画を全て再生して振り返りを行うことは難しい。運転場面指定エリアであらかじめ指定しておいた指導すべき運転場面を呼び出しながら指導することで、少ない時間でも漏れなく効率的に振り返りを行うことができる。

2.2.2 グラフエリア

グラフエリアでは、顔向きデータと視線データが集計され、他の運転士と比較することで訓練受講者の特徴を把握することができる。例えば、顔向きデータから前方風景や計器を見ている割合が高い/低い傾向があるとい

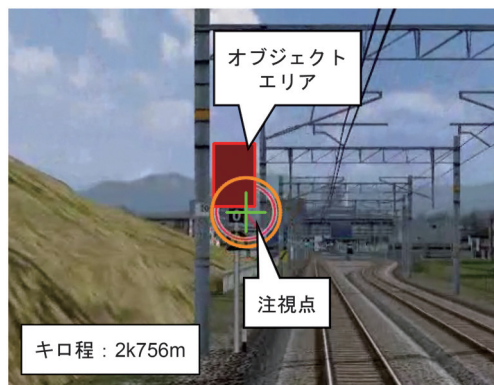


図6 注視対象物の判定イメージ

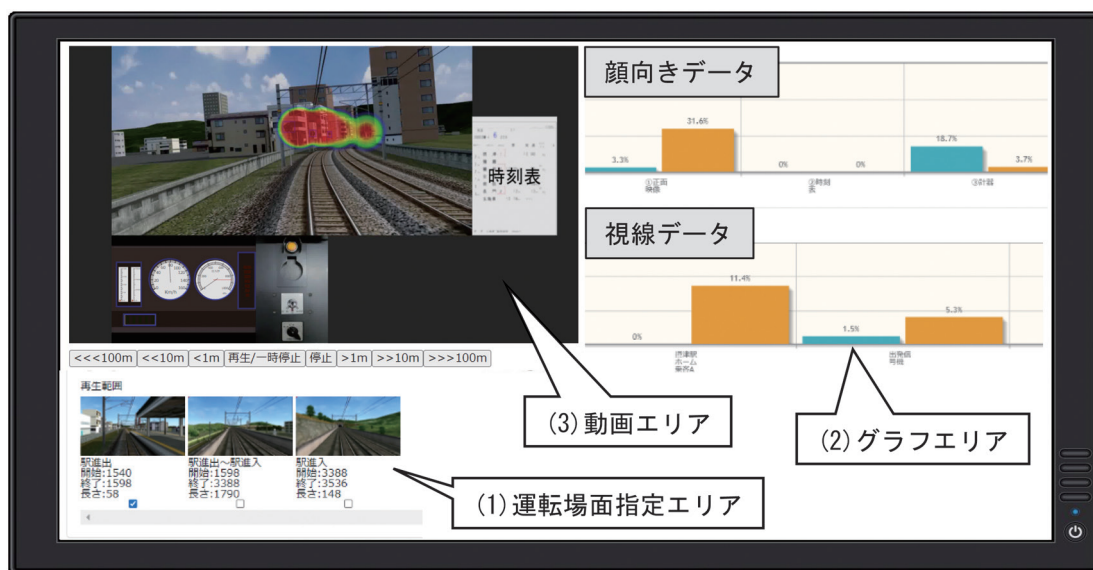


図7 視線配分データフィードバックシステムの画面例

たことがわかる。また、視線配分データから前方風景の中で、信号機や踏切特発、踏切等を見た回数が多い／少ない、あるいは通過する直前まで見ていたかといった傾向を把握できる。

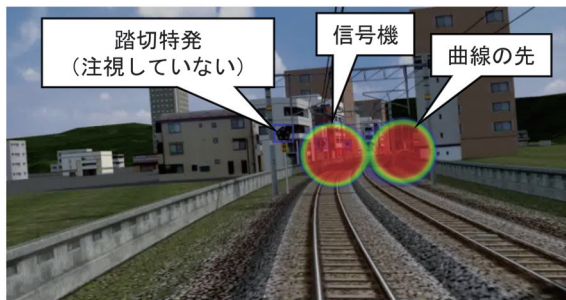
2.2.3 動画エリア

動画エリアでは、視線の可視化を用いて訓練受講者を指導できる。例えば、同じキロ程での訓練受講者の視線と指導操縦者の視線をボタン操作で瞬時に切り替えることができるので、全く同じ風景の中で見ているものの違いをわかりやすく示すことができる。

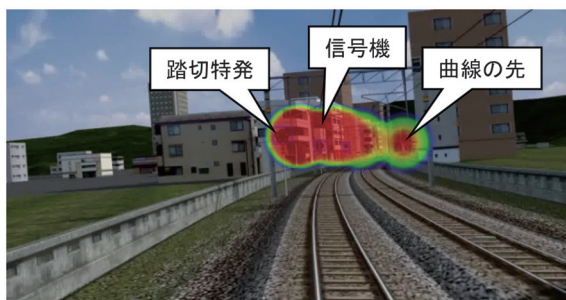
2.3 視線配分データフィードバックシステムの使用イメージ

視線配分データフィードバックシステムの使用イメージを指導操縦者のデータを比較用データにする場合を例に説明する。まず、列車遅延や通告等の訓練シナリオを作成し、比較用データとする指導操縦者に運転してもらい、運転してもらった指導操縦者に、前方注視で気をつけている点をヒアリングする。例えば、カーブ直後に踏切特発を見る等である。ヒアリング結果を参考に振り返りで指導すべき運転場面を設定する。例えば、踏切特発から踏切通過まで等である。また、それぞれの運転場面で比較したい注視対象物を選定する。例えば、出発信号機、ホーム旅客、踏切特発、踏切、標識等である。

次に、訓練受講者に運転してもらい、訓練運転直後に



(A) 訓練受講者の例



(B) 指導操縦者の例

図8 動画エリアに表示される視線の可視化の例

視線配分データをフィードバックして、振り返りを行う。例えば、カーブから踏切通過までに、指導操縦者は踏切特発をよく見ているが、訓練受講者は見る回数が少ない等である。この後、視線の可視化をもとに指導する。前方風景に視線を可視化した例を図8に示す。同じ風景の中で見ていたものを比較すると、訓練受講者は踏切特発を確認せずに信号機と曲線の先のみを見ていたのに対して、指導操縦者は踏切特発もしっかり確認できていたことがわかる。このように視線移動の傾向を把握したうえで、可視化された視線データで具体的な改善点を指導することができる。

3. 視線配分データフィードバックシステムの有効性評価

視線配分データフィードバックシステムの有効性を確認するために、視線検知システム付き運転シミュレータを訓練に使用している鉄道会社Aの運転現場1箇所に視線配分データフィードバックシステムを設置し(図9)、シミュレータ訓練に関わる指導員等が試用し、4名に対して訓練での活用等のヒアリングを行った(図10)。その結果、本システムは「運転士の視線について今までにできなかった指導ができるツールである」、「データに基づいたより説得力のある指導ができる」、「キロ程での集

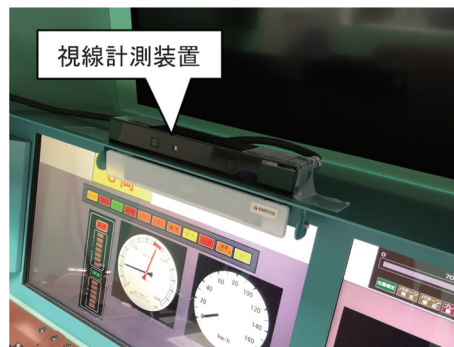


図9 設置された視線計測装置



図10 視線配分データフィードバックシステムの試用風景

計で効率的に指導できる」といった肯定的な意見が得られた。

4. おわりに

本研究では、視線配分データを用いた訓練を実現するために、訓練運転中に計測した視線配分データを、訓練運転直後に訓練受講者にフィードバックするシステム（視線配分データフィードバックシステム）を開発した。視線配分データフィードバックシステムを用いることにより、あらかじめ設定しておいた指導すべき運転場面を指定でき、限られた訓練時間内で漏れなく効率的にデータを用いた振り返りを行うことができる。また、顔向きデータと視線配分データのグラフにおいて、指導操縦者等と比較することにより訓練受講者の視線配分の傾向を把握できる。さらに、視線配分データが可視化された動画により、全く同じ風景の中で見ているものの違いをわかりやすく示すことができる。本システムを鉄道事業者の運転現場で試用したところ、シミュレータ訓練に関わる指導員から肯定的な評価を得た。

実際の訓練での使用方法や訓練シナリオ毎の視線配分データのフィードバック方法等については、今後、さらに検討する必要がある。

付 記

本論文の内容の一部は、文献 22 において発表した。

謝 辞

本システムの作成においては、北海道旅客鉄道株式会社および西日本旅客鉄道株式会社の関係者の皆様にご多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

文 献

- 1) 石坂直弘：運転士対応力向上シミュレータの導入，サイバネティクス，Vol.20，No.3，pp.4-7，2015
- 2) 鈴木大輔，斉藤雅章，鈴木寿，石坂直弘，吉田鷹夫，籾木俊暁：列車運転士の対応力向上シミュレータを用いた訓練手法，人間工学，Vol.51，Supplement，pp.242-243，2015
- 3) 喜岡恵子，澤貢，北村康宏，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
- 4) 喜岡恵子，澤貢，北村康宏，赤塚肇，佐藤文紀：異常時対応能力向上プログラムにおける列車運転行動の可視化，可視化情報学会誌，Vol.30，No.117，pp.14-19，2010
- 5) 小美濃幸司，遠藤広晴：運転士の異常時対応能力向上プログラムの実用化，鉄道総研報告，Vol.27，No.3，pp.17-22，2013
- 6) 遠藤広晴，異常時の運転行動・心理状態を自ら振り返る訓練プログラム，運転協会誌，Vol.55，No.4，pp.5-8，2013
- 7) 山内香奈：鉄道従業員教育におけるエビデンスを活用した推奨行動の促進教材の開発と評価，日本教育工学会論文誌，Vol.36，No.4，pp.361-373，2013
- 8) 水田淳一，伊南盛治，吉岡哲二，工藤盈，伊藤祐天，飯山雄次：列車運転における視作業分析，人間工学，Vol.11，No.2/3，pp.55-61，1975
- 9) 水田淳一，伊南盛治，吉岡哲二，工藤盈，伊藤祐天，飯山雄次：動力車乗務員の注視行動（運転情報の人間工学的研究），鉄道労働科学，No.28，pp.129-142，1975
- 10) 水田淳一，伊南盛治，工藤盈，伊藤祐天，麻生銀吾：動力車乗務員の注視行動（2）—運転情報における人間工学的研究一，鉄道労働科学，No.29，pp.115-126，1975
- 11) 伊南盛治，山口正，吉岡哲二，工藤盈，伊藤祐天，山内一泰：動力車乗務員の注視行動（3）—運転情報の人間工学的研究一，鉄道労働科学，No.30，pp.123-136，1976
- 12) 西本嗣史，宗重倫典：運転士の注視行動に関する研究（2）—夜間および日中走行結果の比較一，JREA，Vol.56，No.11，pp.31-34，2013
- 13) 鈴木大輔，山内香奈，松浦理：異常事象に気付く運転士の注視行動，鉄道総研報告，Vol.33，No.1，pp.17-22，2019
- 14) 鈴木大輔，山内香奈，松浦理：異常事象発見のための鉄道運転士の視覚探索方略，人間工学，Vol.55，No.5，pp.189-199，2019
- 15) 永田雅美，栗山洋四：自動車運転初心者の注視行動に関する研究，自動車技術会論文集，No.23，pp.85-90，1981
- 16) 佐藤公治：運転初心者と熟達者の視覚探索・周辺視情報処理，国際交通安全学会誌，Vol.19，No.3，pp.191-199，1993
- 17) 片山硬，元木正典，中西盟，落合英雄：初心者ライダーと熟練者ライダーの注視行動の違い，自動車研究，Vol.16，No.3，pp.24-27，1994
- 18) 小澤治夫，石田譲，岡崎勝博，西嶋尚彦：鉄棒単元におけるスポーツミラーによる運動画像の即時フィードバックの効果，北海道教育大学釧路校研究紀要，No.35，pp.1-6，2003
- 19) 村山光義，村松憲，佐々木玲子，清水静代，野口和行：動作映像の即時フィードバックを用いた技術指導の効果，日本体育学会第 57 回大会予稿集，pp.1-15，2006
- 20) 賀川昌明：デジタル・コンテンツを利用した動画フィードバックが運動技能の習得・発揮に及ぼす効果の検討，鳴門教育大学情報教育ジャーナル，No.8，pp.1-9，2011
- 21) 杉山敬，石川優希，亀田麻依，木葉一総，前田明：バスケットボールのミドルシュートにおける注視点がシュート成功率に及ぼす影響，スポーツパフォーマンス研究，Vol.6，

pp.263-275, 2014
22) 鈴木大輔, 松浦理, 小池隆治, 松鶴邦征: 鉄道運転シミュ

レータにおける視線データフィードバックシステム, 人間
工学, Vol.55, Supplement, p.1B1-5, 2019