

# 営業列車における GOA2.5 自動運転と手動運転における 運転士の視線配分の比較

中川 千鶴\* 赤塚 肇\*  
青柳 孝彦\*\* 藤井 彩佳\*\*

## Comparison of Driver's Line of Sight Distribution during Commercial Train Operation by GOA2.5 Automatic and Manual Systems

Chizuru NAKAGAWA Hajime AKATSUKA  
Takahiko AOYAGI Ayaka FUJII

A comparative study of driver gaze allocation during automatic and manual operation on a demonstration train was conducted to verify whether the forward gaze allocation during automatic operation is equivalent to that during normal manual operation. We measured the forward gaze allocation of three drivers on test trains and 15 drivers on commercial trains and analyzed eleven of them. The results showed that 10 of the 11 drivers had the same or greater forward gaze allocation during automatic operation as during manual operation.

キーワード：自動運転, GOA2.5, 視線計測

### 1. はじめに

GOA2.5は、前頭に運転士以外の係員（自動運転乗務員）が乗務する形態の自動運転である。自動運転乗務員の業務の1つとして異常を認めた場合の非常停止操作があり、現状の手動運転（GOA1）を行う運転士と同等に異常を認めた際に同様の操作が行われる必要がある。特に、GOA2.5の対象である、踏切があり駅にホームドアがない線区においてその重要度は高い。一方、異常を認め速やかな非常停止操作を行うには、進行方向である前方に視線が向いていることと、覚醒レベルが運転作業に適切な範囲に収まっている必要がある。

本稿ではこのうち、自動運転時の前方への視線配分が通常の手動運転と同等であるかを検証した調査について報告する。

### 2. 試運転列車での予備調査

営業列車で通常運転時の運転士の視線を測定するには、測定準備やセンサ装着が簡便である必要がある。鉄道運転士の乗務時の視線計測に関しては、これまで、計測機器が大掛かりとなるため試運転列車を設定することが多かった<sup>1)2)</sup>。国鉄時代に営業列車で計測した事例があるが<sup>3)</sup>、異なる運転士2名で1回ずつの測定に留まっている。特に、今回対象とした自動運転の実証線区はワンマン運転で、視線配分の範囲は運転台上部にある乗降確認用の車上モニタを含み、非常に広範囲である。このような広範囲の視線配分を正確かつ簡便に解析する製品は、本研究当時にほとんどなかった。このため、最初に予備的検討として試運転列車を設定し、3名の運転士を対象として市販の視線計測装置を活用し視線配分について検証した。

\* 人間科学研究部

\*\* 九州旅客鉄道株式会社

## 2.1 調査方法

### 2.1.1 調査区間と調査対象者

調査は自動運転の実証線区において3日間実施した。試運転列車を設定し、同一区間を1日2往復した。対象区間は駅間が約1~2分の11駅で走行時間は片道で35分前後であった。調査対象者は、メガネ型センサを使用するため乗務時にメガネを着用しない運転士とし、1日1名、合計3名の運転士を測定した（以後、運転士A、B、Cとする）。すべて運転士歴は10年以上であった。

### 2.1.2 調査条件

1日の運転は、午前1往復、午後1往復とした。各往復の間の休憩時間は約45分であった。運転方式（自動運転・手動運転）は往復ごとに変更した。実施順序が結果に影響する可能性があるため、運転士A、Bは1往復目を手動運転とし、運転士Cは1往復目を自動運転とした。

### 2.1.3 測定項目

視線計測は、運転室にセンサ類を設置する Smart Eye Pro (SMARTEYE Co.,Ltd. 以後、設置型センサ) と、メガネ型のトビーグラス3 (トビー・テクノロジー (株), 以後、メガネ型センサ) を用いた。設置型センサは往路で、メガネ型センサは復路での測定に用いた。測定の様子を図1に示す。

設置型センサは、運転台側に設置した複数の赤外線カメラから視線を測定し、運転士側から前方に向けて設置した前方視野カメラ (図1(a)) と同期することで、自動的に前方視野カメラの撮像範囲での視線配分を算出する機能を有している。このため、運転時の視線配分調査には最適と思われたが、設置に時間がかかることや、運転室に設置できる機材数ではハンドル操作や運転席上部の車上モニタは測定領域外となる欠点がある。

一方、メガネ型センサは可搬型で運転台への固定は不要で扱いやすいが、前方視野カメラがメガネ部分に内蔵されているため撮影範囲が常に動き、視線配分の自動解析機能もない。

視線以外の計測として、自動・手動運転での作業負担の差をみるため、生理計測と主観評価を実施した。なお、この調査は調査者が常に添乗した状態で測定しているため緊張が生じやすく、その影響を受けやすい覚醒度 (眠気度) の評価には適さないが、分析時の参考のために眠気に関する主観評価を行った。

生理計測として心拍 (WHS3, ユニオンツール (株)), 脈拍 (OH1, POLAR Inc.) と呼吸 (ZenTracker, (株) コト) を測定した。また、乗車時と折り返し時に、疲労や覚醒状態を反映するフリッカー値と主観評価を測定した。主観評価は、眠気の状態として9段階の眠気度 (カロリンスカ尺度) と、疲労の状態として0~100の範囲の数字による疲労度を口頭で回答してもらった。図2に主観評価の内容を示す。

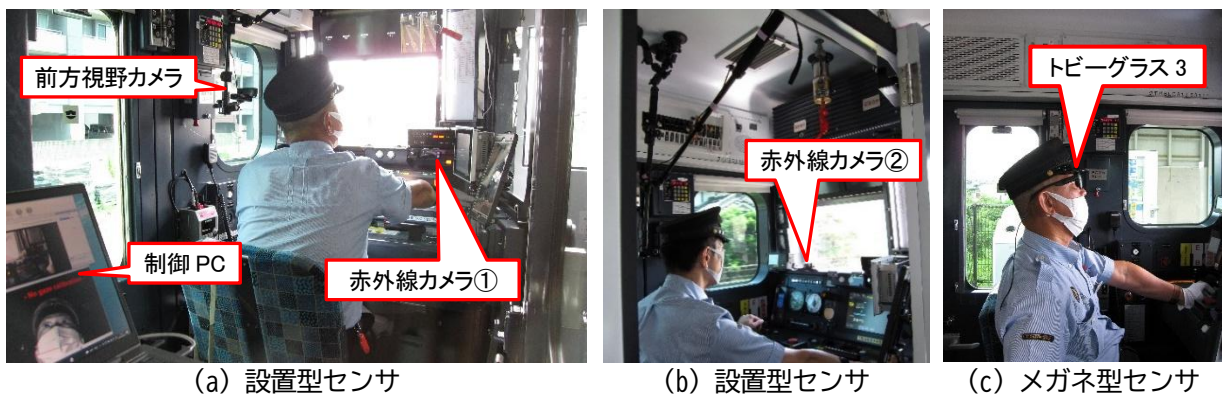


図1 視線計測の様子



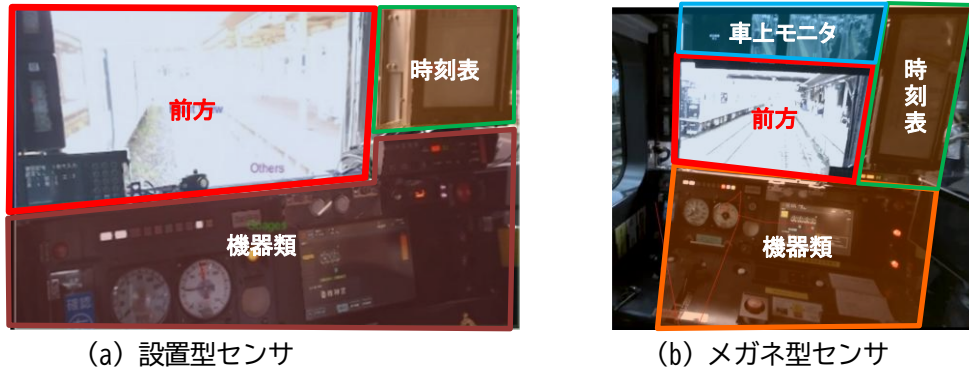


図4 視線配分分析の対象エリア

一方、メガネ型センサはカメラがメガネに内蔵されているため視線が向いた全てのエリアを撮影することができる。このため、設置型センサでは捉えられなかった車上モニタを加えた以下の4つのエリアを検知対象として視線配分を調べた(図4(b))。

<視線配分の対象エリア(メガネ型センサ)>

- ① 前方：前方の窓
- ② 機器類：運転台の速度計・圧力計等
- ③ 時刻表：運転台右側に設置されている時刻表
- ④ 車上モニタ：運転席前方窓の上部のモニタ

設置型センサでの解析結果を図5に示す。なお、以後の解析では自動と手動運転時を比較し、手動運転時に対する視線配分の差が5%(5ポイント)以内を同等と見なすこととする。

図から、運転士Aと運転士Cでは自動運転時の方が手動運転時より前方視線配分が5ポイント以上増加したが、運転士Bでは明確な差がなかったことがわかる。

次に、メガネ型センサで測定した結果について述べる。メガネ型センサは視線配分の自動分析機能がないため画像解析プログラムを作成して分析を行った。なお、作成した画像解析プログラムの精度を検証したところ、分類対象とした動画からランダムに抽出した画像に対する自作プログラムによる分類結果と、目視による判定結果の一致度は約90%以上であった。

メガネ型センサの解析結果を図6に示す。なお、運転士Cはメガネ型センサでの測定に不備があったため、運転士Aと運転士Bの結果である。運転士Aは自動運転時の方が手動運転時より前方視線配分が5%以上増加し、運転士Bでは5%以上の差はみられなかった。この傾向は設置型センサの結果と一致する。なお、図6が図5と結果が一致していない理由は測定した区間が異なるためである(図5は往路、図6は復路の測定結果)。

なお、メガネ型センサでのみ測定できた車上モニタの結果をみると、運転士Bは自動運転で手動運転時の倍近く車上モニタをみていることがわかる。車上モニタは駅出発直後にホーム上の安全を確認するために見るものであり、異常を認めるための視線配分という観点では車上モニタへの視線配分は前方への視線配分と同様に重要である。

### 2.2.2 その他の測定項目

生理指標では、呼吸が全体として手動運転時にやや早まる傾向がみられたが、運転方式の実施順序が運転士A、Bと逆であった運転士Cでは、1往復目の自動運転の往路で最も呼吸が早かった。心拍数には明確な差はみられなかったが、3名とも1往復目の往路が最も高い値を示した。このことから、これらの生理指

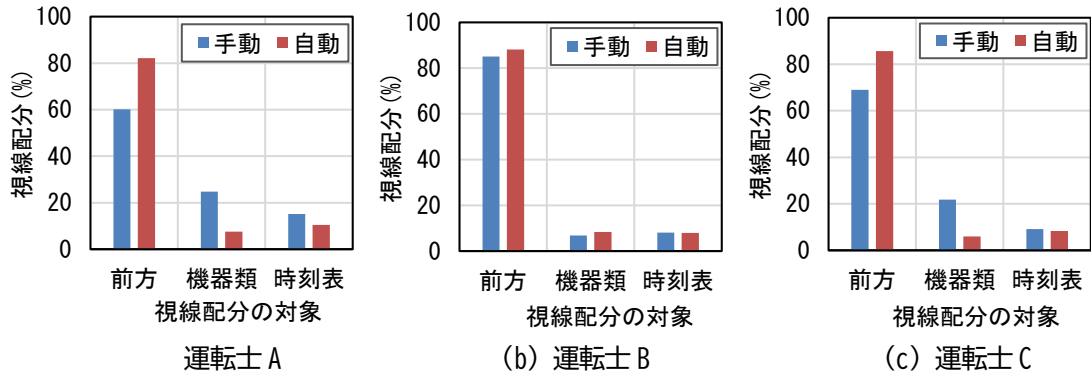


図5 主要視線配分の対象エリアにおける視線配分率 (設置型センサ)

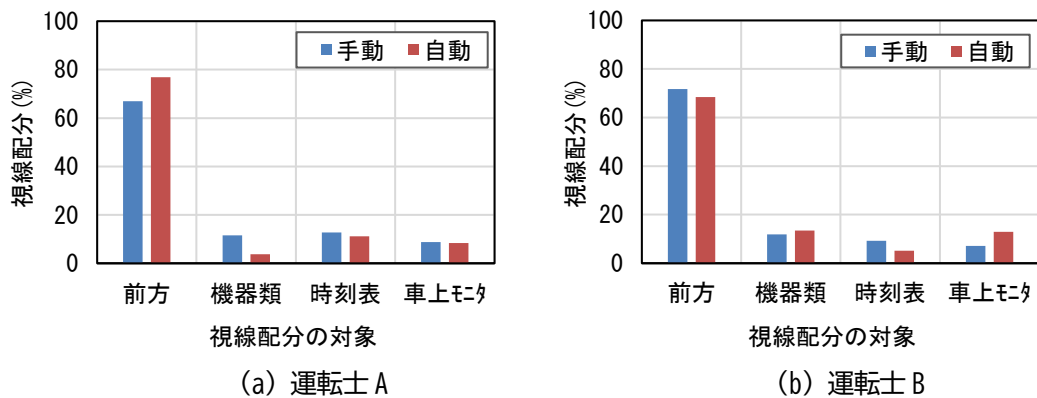


図6 主要視線配分の対象エリアにおける視線配分率 (メガネ型センサ)

標は、運転方式の違いより順序効果の影響、つまり測定開始直後の緊張状態が影響したと思われる。フリッカー値は運転方式による明確な違いはみられなかった。眠気度と疲労に関する主観評価においても運転方式による明確な違いはみられなかった。

### 3. 営業線での本調査

自動運転時の視線配分が現状の手動運転時と同等であることを検証するには、通常業務の状態である営業列車で、可能な限り多くの運転士の視線データを確認することが望ましい。2章で述べた予備的検討により、営業列車での測定に適したメガネ型センサを活用した視線配分分析が技術的に可能となったため、本調査では、メガネ型センサを用いて営業列車で運転士の視線を測定し、自動運転と手動運転での視線配分を比較検証した。

#### 3.1 調査方法

##### 3.1.1 調査区間と調査対象者

調査区間は2章の調査と同じ区間を走行する営業列車で実施した。調査対象者は事前説明を受け、測定に合意したメガネ不使用の運転士15名を調査対象とした。運転士歴は5年以上、内14名は10年以上であった。しかしこのうち4名で測定不備が生じたため、解析は11名に対して行った。年齢は、30代が4名、40代2名、50代2名、60歳以上が3名であった。

##### 3.1.2 調査手順

運転士が運転台に乗り込んだ時点で、実験者が簡単な説明を行い、眠気度と疲労度を口頭で質問した。ま

表1 測定項目と測定機器・方法

No	測定項目	測定機器・方法	運転士への装着	備考（記録媒体等）
1	視線	トビーグラス3	メガネ型センサ	専用ロガー
2	心拍（脈拍）	CHET	腕バンド	iPad
3	呼吸	CHET	腹部バンド	iPad
4	眠気度	カロリンスカ尺度	なし（口頭回答）	実験者が記録
5	疲労度	0～100の範囲の数値	なし（口頭回答）	実験者が記録



図7 測定機材（左：メガネ型センサ 中央：生理計測システム CHET）と測定の様子（右）

た、測定の準備として運転士へのセンサ装着と測定機材の設置をした。所要時間が5分以内となるよう実施した。

### 3.1.3 測定項目と機材，装着方法

測定項目はほぼ2章の調査と同じである。測定項目と機材を表1にまとめ、図7に機材の外観および測定の様子を示す。

生理計測には営業列車で速やかに測定開始できるよう改良したワイヤレスセンサを用いた生理測定システム CHET（図7中央）<sup>4)</sup>を用いた。これは鉄道総研が開発したシステムであり、複数の市販ウェアラブルセンサを bluetooth で繋ぎ、GPS 情報や振動加速度と同期して測定端末（iPad mini, Apple Inc.）に記録できるものである。表1 No.1～3の測定項目は連続測定を行い、No.4～5の主観評価は乗り込み時と折り返し時に口頭で回答してもらった。なお、営業列車での測定のため、測定に時間を要するフリッカー値測定は行わなかった。

## 3.2 結果

### 3.2.1 視線配分計測

解析は駅停車時を除いた走行時のデータに対して行った。前方への視線配分を、運転士ごとに自動運転時と手動運転時で比較した結果を図8に示す。縦軸は、手動運転時の視線配分を100とした場合の自動運転時の前方への視線配分比率を示す。値が100（図中の赤点線）であれば手動運転と同じ視線配分、100以上の場合は手動運転時より前方への視線配分が多いことを意味する。

結果として、11名中10名（約91%）で100以上もしくは100±5ポイント以内、つまり自動運転での前方視線配分が手動運転時と同等もしくは増加していた。なお、残る1名（D04）も減少は5.7ポイントであった。

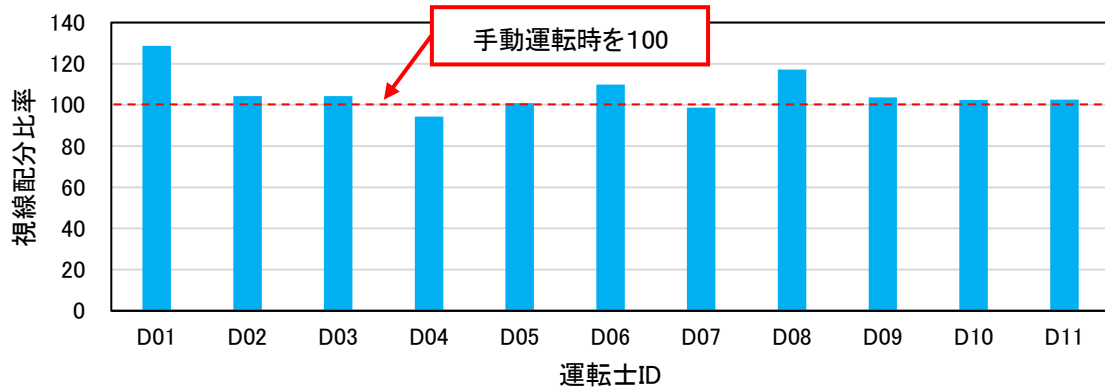


図8 自動運転時の列車前方への視線配分比率 (手動運転時を100)

### 3.2.2 その他の測定項目

生理指標では、心拍数は全体として同一運転士内での差は小さく、また、運転方式に関連した何らかの傾向はみられなかった。呼吸間隔は自動運転時の方が長い（呼吸がゆっくりしている）ケースがやや多く、手動運転時の方がゆっくりだったケースは11例のうち2例のみであった。これは2章の調査結果とも一致した。

眠気度と疲労に関する主観評価において、運転方式による明確な違いはみられなかった。

## 4. まとめ

GOA2.5自動運転において、自動運転乗務員の列車前方への視線配分が現状の手動運転を行う運転士と同等であるかを検証するため、自動運転の実証線区において、自動・手動運転時の運転士の視線を測定した。その結果、列車前方への視線配分が、自動運転時は手動運転時に比べ同等もしくはやや増加することを確認した。

なお、前方の支障物等を認めることができるか否かは、適切な視線配分とともに、注意意識を向けていることも重要である。自動運転は、運転操作の作業量が軽減され、視線を前方に配分しやすくなるメリットがある。一方で、自動運転に限らないが、直線区間や駅間が長いなど、人間の特性上、注意の維持が難しい条件を含む線区もある。このような線区に導入する場合は、乗務員に眠気が生じる可能性等への考慮が必要であり、本稿では紹介しないが、我々は、覚醒維持に有効で乗務内容に親和性が高い方策に関する基礎的な検討も実施しており、指差喚呼や任意の発話、指差喚呼に対する自動応答が覚醒維持に対し効果があることを示唆する結果を得ている<sup>5)</sup>。

今後、GOA2.5自動運転のように従来とは異なる作業環境が生まれていくこと、また携わる人材の資質も多様化していくことが予想される。このような中で鉄道の安全性を維持・向上させるために、新たなシステムと人間との連携や、人間特性を考慮した多面的な検討を継続することが重要である。

## 文献

- 1) 宗重倫典, 藤澤厚志, 福田啓介: 運転士の注視行動に関する研究, JREA, Vol.55, No.11, pp.32-35, 2012
- 2) 西本嗣史, 宗重倫典: 運転士の注視行動に関する研究(2) 一夜間および日中走行結果の比較一, JREA, Vol.56, No.11, pp.31-34, 2013
- 3) 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

- 4) 中川千鶴：鉄道運転業務中の運転士の覚醒レベル変化の検知を目的とするウェアラブルデバイスを活用した状態モニタリングシステムの検討，日本人間工学会第 59 回大会 Supplement 号，No.P2E1-17，2023
- 5) 中川千鶴，赤塚肇，鈴木大輔，秋保直弘，鈴木浩明：鉄道運転作業に親和性の高い覚醒維持方策に関する基礎的検討，日本人間工学会第 60 回大会 Supplement 号，No.2E2-2，2024