

視界不良時における視線誘導灯施設による ドライバの視線分布変化に関する研究

内橋 宏太郎¹・萩原 亨²・高橋 翔³・頓部 真大⁴・浜岡 秀勝⁵
佐々木 伸⁶・高木 一誠⁷

¹ 学生会員 北海道大学大学院 工学院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
E-mail: kuma12ti8q@eis.hokudai.ac.jp (Author)

² フェロー 北海道大学大学院 工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
E-mail: hagiwara @eis.hokudai.ac.jp

³ 正会員 北海道大学大学院 工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
E-mail: stakahashi@eng.hokudai.ac.jp

⁴ 東日本高速道路株式会社関東支社水戸管理事務所

⁵ 秋田大学大学院 理工学研究科

⁶ 株式会社ネクスコ・エンジニアリング東北

⁷ 積水樹脂株式会社

積雪寒冷地の高速道路では、積雪や吹雪により区画線が視認できなくなり、ドライバの線形把握が困難となる。そこで、線状の反射光で道路線形を示す帯状ガイドライトが開発された。しかし、既存の視線誘導灯と帯状ガイドライトがドライバの視線挙動に与える影響の違いは明らかにされていない。そこで本研究ではドライビングシミュレータを用いた走行実験を用いて、視線誘導灯によるドライバの視線分布変化の評価を行った。ドライバの視点分布の分析から、視界不良時に視線誘導施設による支援を必要とするドライバグループとそうでないドライバグループに分かれた。

Key Words: Guide Light, Delineator, Eye Tracking, Gaze Distribution, Poor Visibility

1. はじめに

積雪や吹雪により区画線の視認が困難となる積雪寒冷地の高速道路では、ドライバの道路線形把握が困難となる。また、吹雪による視界不良などの気象条件による事故が発生し続けている。そこで、積雪寒冷地の道路では自発光型の視線誘導灯を設置することでドライバの運転支援を行っている。しかし、既存の視線誘導灯は中央分離帯上や路肩上に設置され、外側線位置と異なる。このため、ドライバは道路線形や走行位置の把握することが難しい。さらに、点状の光源であるため視線を動かし続ける必要がある。これらの課題に対応するため、線状の反射光で視線誘導を行う帯状ガイドライト(図1)が開発された¹⁾。萩原らの研究では、帯状ガイドライトがド

ライバの主観的メンタルワークロードの軽減、道路線形の認知の向上に効果的であることが示された^{2) 3)}。また、頓部らの研究では、帯状ガイドライトは視線誘導灯と比較して、走行位置を適切に認識できることや視界不良に起因する速度低下を抑制することが示された⁴⁾。しかし、どのような視線挙動の変化が帯状ガイドライトにより起き、道路線形の認知や走行位置の認識に繋がっているかは明らかになっていない。

そこで、本研究では視界不良時に帯状ガイドライトがドライバの視線挙動に与える影響を検討する。また、点光源である自発光式視線誘導灯(以下、自デリ)による視線挙動と比較する。具体的には、視界がよく線形が読み取れている晴天時を基準とした吹雪時の視点分布評価を行った。本研究では、視線誘導灯の種類や色、天候な

ど様な状況を再現するためにドライビングシミュレータ（以下 DS とする）を用いて走行実験を行った。走行実験で得られた走行位置などの運転行動の結果や走行後の主観評価の結果，視点分布評価から自発光式視線誘導灯と帯状ガイドライトがドライバに与える影響を比較する。

2. 実験手法

(1) 実験参加者

2021 年 1 月に秋田大学総合研究棟で，冬期道路状況を再現した高速道路における走行実験を実施した。実験概要を表 1 に示す。DS 上に再現した冬期高速道路を走行するドライバとして，積雪寒冷地で日常的に運転を行なっている 20 代から 60 代までの男女 20 名（男性 11 名，女性 9 名）が実験に参加した。

(2) 実験環境

自発光式視線誘導灯や帯状ガイドライトは積雪により区画線が視認できない場合や吹雪などの視界不良の場合にもドライバの運転支援となることが期待されている。しかし，そのような環境下で実際の道路で走行実験を行うことは危険である。そこで，本実験では積雪状況や天候，多様な設置条件を任意に設定可能で，実験参加者の安全が確保されるよう DS（FORUM8 社製 UC Win/Road Ver. 14）を用いて実験を行った。

本実験では，実在する高速道路の線形を参考に 4 車線の高速道路を再現した。道路線形は直線だけではなく，曲線半径 600m から 1500m の左右カーブを含む。視線誘導施設（自発光式視線誘導灯と帯状ガイドライト）の機能を適切に評価するために天候に関わらず，路面は轍や区画線が見えない状態の積雪寒冷地道路を再現した。また，路面と積雪のある沿道の路肩が走行の視線誘導とならないよう，沿道は雪で覆われた滑らかな法面とした。

(3) 走行条件

走行条件として，晴天時と吹雪時の 2 通りの天候条件を設定した。晴天時は 350m 前方まで見通せるようにした。吹雪時は降雪により視程が 150m となるように設定した。天候による視界の違い，ドライバから見た前方の視野を図 2 に示す。自発光式視線誘導灯（図 2 のセンター側の橙色の点）は連続して点灯する点光源により視線誘導する。帯状ガイドライト（図 2 の路肩側の緑色の線）は，路側線の位置の線として視線誘導する。路面夜間道路を再現するため，DS の時間設定を夜間とし，実験室内に遮光カーテンを設置した上で，実験室の照明を落とし，十分に暗い環境下で走行実験を行った。（図 3）



図 1 帯状ガイドライト
表 1 実験概要

実験日時	2021 年 1 月 12 日～26 日
実験場所	秋田大学 総合研究棟 5 階
実験参加者	20 名
走行距離	3km（前半 1km は視線誘導施設なし）
走行回数	20 回ずつ
走行速度	実験参加者の任意の速度
走行環境	夜間積雪のある 4 車線高速道路
天候	晴天吹雪

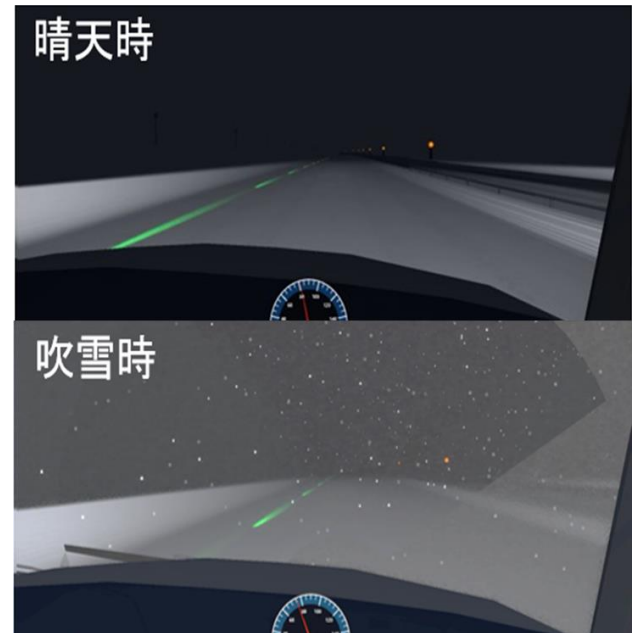


図 2 天候による視界の違い



図 3 実験の様子

(4) 視線誘導施設の設定

高速道路に設置されている自発光式視線誘導灯は路肩上だけでなく、中央分離帯上にも設置されている。また、色は緑色や橙色など複数存在し、点滅するものや定常的なものが存在する。この内、本実験では現在導入が進められている、定常的な発光をするものを再現した。

その設置箇所は路肩及び中央分離帯上とした。路肩に設置した場合の発光は緑であり、中央分離帯上に設置した場合の発光は緑または橙とした。

带状ガイドライトは外側線上に緑の線状反射光を再現する形とした。各視線誘導施設の設置位置と設置間隔を図 4 に示す。なお、モニタを用いて実験を行うと、DS で設定した数値とドライバーが感じる大きさに相違が発生する可能性がある。そこで、視線誘導施設の見え方が実際の道路運転時と同様に感じるように色や大きさについて、道路管理者等を含め複数人で議論し設定した。

(5) 走行シナリオ

路肩及び中央分離帯上の自発光式視線誘導灯と带状ガイドライトの 3 種類の設置に関して 10 種類 (表 2) の組み合わせを設定した。また、3 種類全てが点灯する状況はコストの観点から現実的ではないため、設定していない。視線誘導施設の設置条件 10 種類と晴天時または吹雪時の天候条件 2 種類を組み合わせ、全 20 種類の実験条件を設定した。

1 回の走行における走行距離は 3km とした。ただし、走行条件に関わらず、前半 1km は視線誘導施設が設置されておらず、後半の 2km に視線誘導施設が設置されている。(図 5) また、線形の影響を除くため、4 車線高速道路の走行区間はランダムに設定した。

各走行後に線形認知や疲労などの運転状況に関するアンケート調査を行った。また、走行速度や走行位置などの運転行動を記録した。加えて、DS 画面の下端に設置した Tobii テクノロジー社の Tobii Eye Tracker 4C を用いて視線計測を行い、視線データとした。運転状況及び運転行動、視線挙動は視線誘導施設設置区間を対象として、その挙動を分析した。

(6) 視線計測

視線計測には Tobii テクノロジー社の Tobii Eye Tracker 4C を用いた。DS 画面上の視線の位置を 1/30 秒毎に記録した。Tobii Eye Tracker 4C で記録した視線データと実験参加者が実際に見ていた位置が同じとなるように、毎走行前にキャリブレーションを行った。キャリブレーションは DS 画面上に表示した円で囲まれた数字を見るように指示し、その時得られた座標と円の中心の座標を比較することで行った。

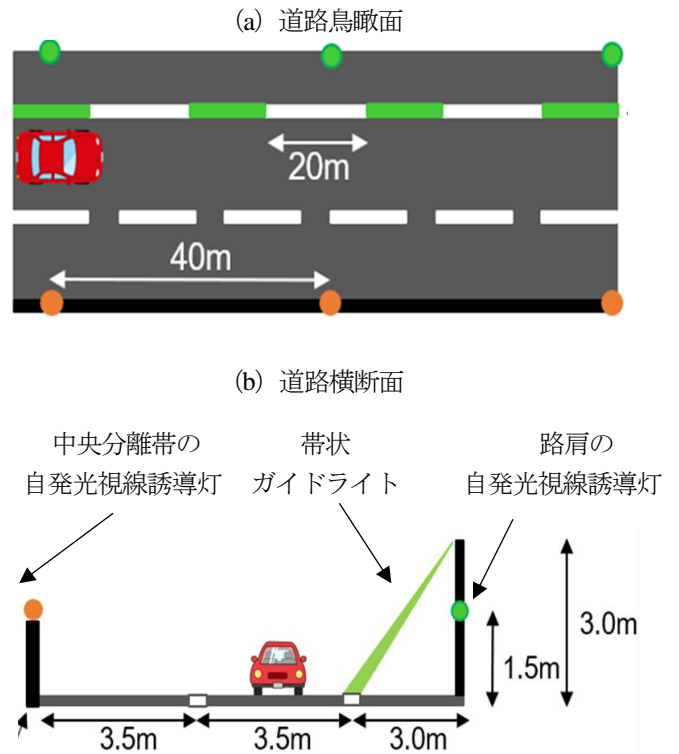


図 4 視線誘導施設の設置位置

表 2 走行シナリオ

パターン	路肩 視線誘導灯	带状ガイド ライト有無	中央分離帯 視線誘導灯
①	×	×	×
②	緑	×	×
③	×	×	橙
④	×	×	緑
⑤	緑	×	橙
⑥	緑	×	緑
⑦	×	○	×
⑧	緑	○	×
⑨	×	○	橙
⑩	×	○	緑

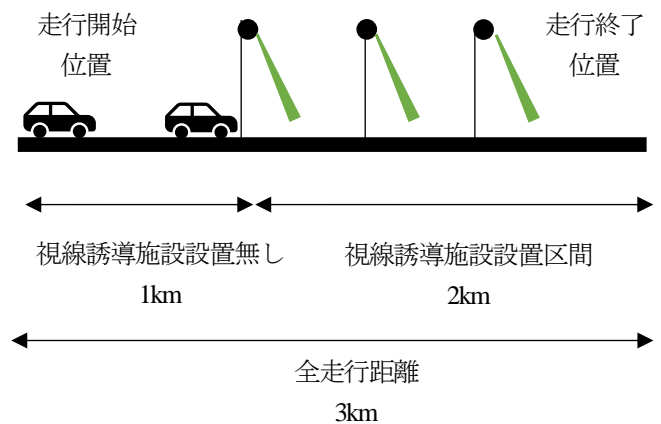


図 5 走行距離と視線誘導施設設置区間

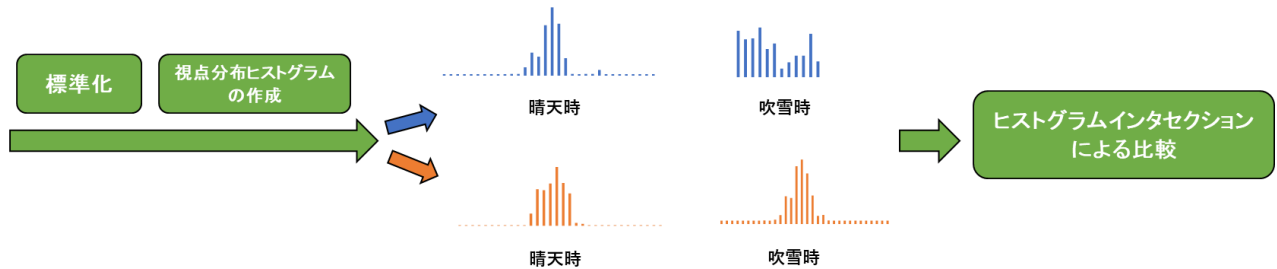
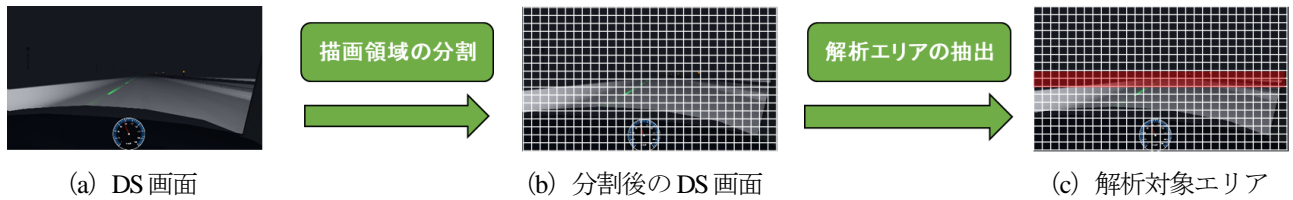


図 6 解析手法の概要

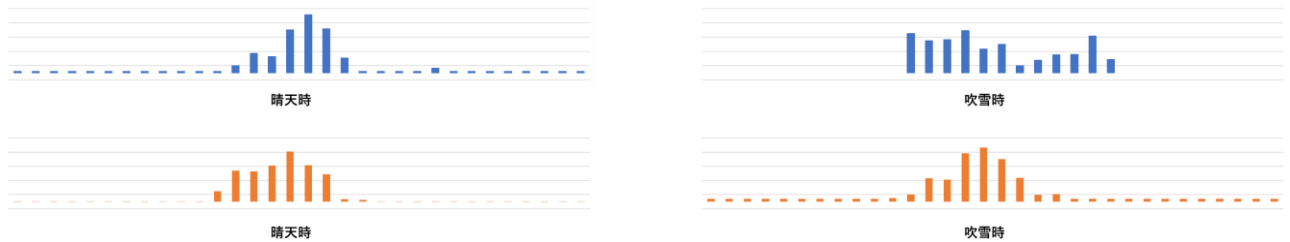


図 7 晴天時と吹雪時の視点分布ヒストグラム

(7) 実験手順

実験走行前に練習走行を行った。練習走行では、DS画面の見え方や運転車両の操作（ハンドル、アクセル、ブレーキ）に慣れてもらった。練習走行では実験で用いる視線誘導施設も表示し、その効果を体験してもらった。

走行中は走行車線を維持して運転するよう説明した。実験開始時の速度は 70km/h とし、走行車線を走行した状態でスタートするが、走行中は各々の実験参加者が安全だと感じる速度で運転してもらうよう説明した。実験シナリオの順番は順序効果が出ないようにするためランダムとした。

3. 視点分布分析

(1) キャリブレーションの結果

キャリブレーションの結果から、2名のドライバーが見ている画面上の座標と計測結果の座標が大幅に異なっていた。これら2名を分析から除外し、18名の実験参加者のデータを分析対象とした。

(2) 画面の分割と視点分布ヒストグラムの作成

図 6 (b) に示すように DS 画面を横 32 マス縦 18 マスに分割した。この時、1 マスの pixel 数は 60×60 でありその視野角は横 1.67° 、縦 1.78° であった。次に、図 6 (c) の赤で示すように、自発光視線誘導灯と帯状ガイドライトの発光が、前方まで連続する DS 画面内のエリアに分布した視点を収集した。各マスに視点が何回計測されたかをカウントした。その結果を用いて、水平方向の視点分布ヒストグラムを作成した。

(3) 標準化

晴天時と吹雪時の視点分布ヒストグラムの比較にあたり、走行ごとに計測される視点データの数に違いがみられるため、ヒストグラムインタセクションの前処理として走行毎に視点データ数を標準化した。図 7 に晴天時と吹雪時の視点分布ヒストグラムを示す。

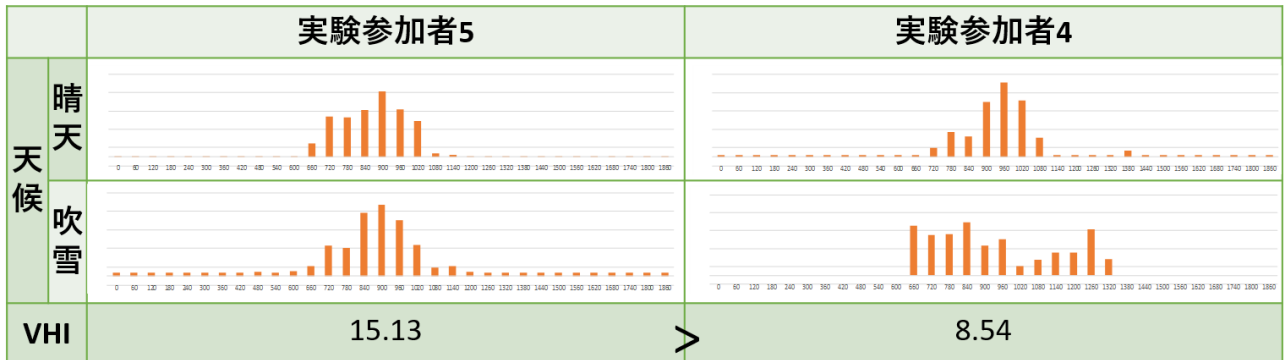


図 8 VHI の結果例

(4) ヒストグラムインタセクション

水平方向の視点分布ヒストグラムから、吹雪時と晴天時の視点分布の類似度を比較した。このとき、式 (1) と式 (2) を用いてのヒストグラムインタセクション^{5) 6)} によって両者の類似度を評価した。ヒストグラムインタセクションの値を以下 VHI (Value of Histogram Intersection) と記述する。VHI の値が大きいほど類似度が高い。

$$m_i = m_i n(i_{h_1}, i_{h_2}) \quad (1)$$

$$VHI = SUM((m_i) allBins) \quad (2)$$

図 8 に例を示す。表 2 中のパターン①において実験参加者 4 と 5 の VHI を求めた。この時、VHI は実験参加者 5 の方が大きくなり、実験参加者 5 の晴天時と吹雪時の視点分布は、実験参加者 4 のそれより似ていると言える。

4. 視点分布分析結果

(1) 視線誘導施設がないときの晴天時と吹雪時の視点分布の類似度 (VHI 評価)

最初に、視線誘導施設を設置していないシナリオにおける晴天時と吹雪時の VHI から実験参加者のグループ分けを行った。18 名の VHI を大きい順に並べたものを表 3 に示す。実験参加者の VHI の差が最大となる点で 2 つのグループに分けた (表 3 中の実験参加者 14 と 1 の間)。VHI が大きく、晴天時と吹雪時で視点分布が変わらない実験参加者は 8 名 (グループ 1)、変わった実験参加者は 10 名 (グループ 2) であった。

(2) 吹雪時誘導施設あり (9 種類) と晴天時 (誘導施設の設置なし) のときの視点分布の類似度 (VHI 評価)

次に、晴天時の誘導灯を設置しないシナリオと吹雪時

表 3 視線誘導施設なしの時の VHI 評価

実験参加者	VHI	実験参加者間の VHI の差
5	15.13	
6	14.68	0.45
10	14.62	0.06
7	14.47	0.15
9	14.46	0.01
3	14.39	0.07
20	13.98	0.41
14	13.82	0.16
1	13.10	0.72
12	13.09	0.01
19	12.56	0.53
16	12.41	0.15
11	12.19	0.22
15	12.12	0.07
17	11.55	0.57
8	11.51	0.04
18	11.34	0.17
4	8.54	2.8

の誘導灯を設置しているシナリオの VHI から実験参加者のグループ分けを行った。18 名それぞれ表 2 の 9 つのシナリオの VHI の内最小値と最大値のギャップが小さい順に並べたものを表 4 に示す。実験参加者のギャップの差が最大となる点で 2 つのグループに分けた (表 4 中の実験参加者 5 と 3 の間)。ギャップが小さく誘導灯の種類に関係なく、晴天時と吹雪時の視点分布が変わらない実験参加者は 4 名 (グループ 3)、誘導灯の種類により、晴天時と吹雪時の視点分布が変わったり変わらなかった

りする実験参加者は 10 名（グループ 4）であった。

(3) 4 グループへの分類

前項の結果からドライバを晴天時と吹雪時で視点分布が変わらずかつ視線誘導灯の影響を受けにくいグループ（グループ A）と受けやすいグループ（グループ B），晴天時と吹雪時で視点分布が変わりかつ視線誘導灯の影響を受けにくいグループ（グループ C）と受けやすいグループ（グループ D）の 4 つに分けた。

(4) 主成分分析

グループ 1 と 2 に分けたときの VHI とグループ 3 と 4 に分けたときの VHI の最大値と VHI の最小値を説明変数とし主成分分析を行った。図 7 に主成分分析により示された 18 名の実験参加者の分布を示す。また、前項で示したグループ A から D を同じ図 7 に示す。前項のグループ分けは主成分分析によるグループに近いものとなった。

5. グループ毎の運転行動、運転状況

グループ毎の走行位置や速度などの運転行動、アンケート調査による運転状況について考察する。

グループ A の 3 名は視線誘導施設による視点分布の変化が小さい実験参加者であった。帯状ガイドライトと中央分離帯自発光デリニエータを設置したとき、線形認知や疲労感に関して、高い評価を示しており、速度が大きいまま運転していた。

グループ B の 5 名は路肩自発光デリニエータを設置したとき、線形認知に関して高い評価を示していた。かつ、吹雪時と晴天時は視点分布があまり変わらず、視線誘導灯の種類による視点分布の違いが大きいため、路肩自発光デリニエータを置くことで、吹雪時でも晴天時と同じ視線分布に変化させ、運転を容易にしていると考えられる。

グループ C は 1 名のみ該当し、特定の視線誘導施設を設置した際に、運転行動や運転状況がよくなるという傾向は見られなかった。

グループ D は 9 名が該当しており、もっとも多くなっている。帯状ガイドライトと中央分離帯自発光デリニエータを設置したとき、線形認知に関して、高い評価を示しており、また、速度が大きいまま運転していた。

6. まとめ

誘導施設設置区間における視点分布解析を行った。吹雪時のヒストグラムインタセクションより、ドライバの視線分布変化毎にグループ分けを行った。吹雪などの視界不良時に視線誘導施設による支援を必要とするドラ

表 4 視線誘導施設無しの際の VHI 評価

実験参加者	最大	最小	ギャップ	差
6	15.21	13.33	1.89	
1	13.60	11.00	2.60	0.71
10	15.18	12.39	2.79	0.19
5	15.44	12.61	2.83	0.04
3	15.20	10.71	4.49	1.66
9	16.16	11.56	4.60	0.11
7	16.01	11.38	4.63	0.03
8	14.26	9.13	5.13	0.50
11	13.42	8.14	5.27	0.14
4	13.89	8.54	5.35	0.08
16	13.14	7.47	5.67	0.32
19	14.58	8.50	6.09	0.42
12	15.24	8.70	6.54	0.45
18	14.83	7.70	7.13	0.59
15	13.33	5.99	7.34	0.21
20	15.97	7.50	8.47	1.13
17	15.15	6.45	8.70	0.23
14	16.17	6.68	9.49	0.79

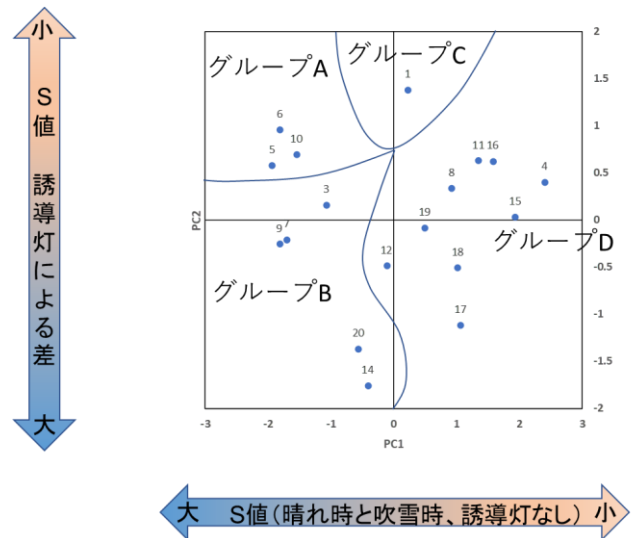


図 9 主成分分析の結果

イバグループとそうでないドライバグループに分かれた。今後は吹雪時に支援を必要とするドライバが晴天時と同じ視点分布となり、安全かつ快適に運転可能となる誘導施設を考えていきたい。また、視点分布を変化させず、晴天時と違う視点分布になっても安全かつ快適に運転可

能となる視線誘導施設を考えていきたい。

参考文献

- 1) 佐々木, 片岡, 渋谷, 高木, “帯状ガイドライト装置の開発”, 第30回道路会議, 論文番号:1048, 2013. 10.
- 2) 萩原, 川村, 佐々木, 高木, “帯状ガイドライトがドライバのメンタルワークロードに与える効果について”, 交通工学論文集, 1 巻, 第 2 号, pp. B_10-B_17, 2015. 2. 2015. 2.
- 3) 萩原, 川村, 佐々木, 高木 “帯状ガイドライトの設置条件がドライバのワークロードと線形誘導性に与える影響について”, 交通工学論文集, 第 3 巻, 第 4 号, pp. B_11-B_18, 2017. 4.

- 4) 頓部, 浜岡, 萩原, 佐々木, 高木, “視線誘導標設置区間における帯状ガイドライトの機能評価”, 交通工学論文集, 3 巻 4 号 pp.B_11-B_18, 2017.
- 5) Tetsuya Yoshimura, Tadashi Ichikawa, Shigeo Morishima, Kiyoharu Aizawa and Takahiro Saito, ” A Human Face Tracking Using Color Histogram Intersection Matching Method”, 映像情報メディア学会誌, Vol.55, No. 3, pp. 412-416 (2001)
- 6) 井上, 浦浜, “ヒストグラムインタセクションの上限と下限に基づくフィルタリング検索”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J86-D2, No. 2, pp. 358-370 (2003)

?

Changes of Driver's Gaze Distribution by Eye Guidance Light Facilities under Poor Visibility in Winter

Kotaro UCHIHASHI, Toru HAGIWARA, Sho TAKAHASHI, Masahiro TOMBE,

Hidekatsu HAMAOKA, Shin SASAKI and Issei TAKAGI

Due to snowstorm and falling snow on the road, it is hard for the drivers to detect the road alignment. To overcome the problem of road markings being obscured by snow cover in the winter, a guide-light delineator that works by shining LED light on the road has been under development since 2012 in Japan. Also, road administrators have been installed various illuminated delineators on the road. However, the differences on the driver's eye behavior between guide-light delineators and illuminated delineators have not been clarified. Therefore, this study evaluated how the guide-light delineators and illuminated delineators affects the changes in the distribution of driver's line of sight under poor visibility conditions in winter. The experiment was conducted on a fixed base driving simulator. Twenty-five participants in their 20's to 60's participated. By analyzing the distribution of drivers' line of sights, there were two groups of drivers who needed assistance from the guide-light delineators and illuminated delineators when they were in a poor visibility conditions, and another group of drivers who did not need assistance from the guide-light delineators and illuminated delineators.