

---

令和6年度 修士学位論文

道路上の区画線劣化に伴う  
注視点変化に関する研究

指導教員 池浦 良淳 教授

三重大学大学院工学研究科  
博士前期課程 機械工学専攻  
人間支援システム研究室  
鈴木 理央

# 目次

---

## 目次

目次.....	
<b>第 1 章 序論.....</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 本論文の構成.....	2
<b>第 2 章 実験装置及び走行環境.....</b>	<b>5</b>
2.1 ドライビングシミュレータ .....	5
2.1.1 ドライビングシミュレータの概要 .....	5
2.1.2 PC の役割.....	7
2.1.3 走行環境.....	8
2.2 アイマークレコーダ EMR-9.....	9
2.2.1 アイマークレコーダの概要 .....	9
2.2.2 視線計測の原理.....	10
<b>第 3 章 実験手順及び分析手法.....</b>	<b>11</b>
3.1 実験内容.....	11
3.1.1 実験手順.....	11
3.1.2 アンケート項目 .....	13
3.2 注視点の分析手法.....	13
<b>第 4 章 実験結果及び考察.....</b>	<b>16</b>
4.1 主観アンケート.....	16
4.1.1 運転のしやすさ (Q.1) .....	16
4.1.2 区画線の安全性 (Q.2, Q.3) .....	17
4.1.3 アンケート結果の考察.....	17
4.2 視線分析結果.....	23
4.2.1 直線.....	23

4.2.2 右カーブ .....	23
4.2.3 左カーブ .....	23
4.2.4 視線分析結果の考察 .....	24
<b>第5章 結論</b> .....	28
5.1 まとめ .....	28
5.2 今後の課題 .....	29
参考文献 .....	30
謝辞 .....	33

# 第1章

## 序論

### 1.1 研究背景

道路上の区画線は、交通の安全及び円滑化のために不可欠な要素であり、主な種類として車道中央線、車道外側線、車線境界線などが存在する。道路法第45条では「道路管理者は、道路の構造を保全し、又は交通の安全と円滑を図るため、必要な場所に道路標識又は区画線を設けなければならない。」と定められており、区画線は常に良好な視認性を維持する必要がある。実際に区画線の視認性が事故率の低減に寄与することが確認されている。James らおよび Tsyganov らの研究では、外側線の明瞭な表示が衝突事故、特に夜間の致命的および重傷事故の減少に寄与していることが示されており、視認性の高い外側線が事故減少に効果的であることが明らかになっている<sup>[1][2]</sup>。また、Smadi らの研究では、白色の外側線と黄色の中央線の視認性の低下が衝突事故の増加に繋がることが確認されている<sup>[3]</sup>。

しかし、Fig. 1.1 に示す日本の道路実延長推移を見ると、2019年時点で管理対象が120万km以上と膨大であることや、区画線の劣化が不均一に生じるなどの理由により、劣化状況の把握は困難である。その結果、現在行われている目視点検では、多大な労力や時間、費用が発生しており、維持管理手法の改善が必要となっている。

実際の区画線維持管理業務では、道路管理者によって異なる指標や塗り替え基準が使用されている。例えば、三重県の県土整備部では Table 1.1 に示す指標を用いて目視点検を行っており、剥離度Ⅲ以上を塗り替え基準として定めている<sup>[4]</sup>。また、全国道路標識・標示業協会は Fig. 1.2 に示す5段階の目視評価ランクを定めており、ランク3以下を塗り替え基準として推奨している<sup>[6]</sup>。

このような背景から、点検作業の一部自動化による負担軽減と人の主観に左右されない精度の確保を目的として、車載カメラを用いて区画線の剥離度を測定する研究がなされてきた<sup>[7][13]</sup>。浅田らは、助手席に設置された一眼レフデジタルカメラを用いて撮影した路面画像に、テンプレートマッチングを適用することで剥離率を推定している<sup>[8]</sup>。河

崎ら<sup>[11]</sup>は車体の底部に設置された天球カメラを用いて、菅ら<sup>[12]</sup>はデジタル一眼レフカメラを用いて路面を撮影し、俯瞰図変換することで剥離率を推定している。また、「ROADVIEWER」と呼ばれる区画線調査システム<sup>[14]</sup>が開発されており、このシステムを活用して実際に中国地方整備局などで取り組みが行われている<sup>[15]</sup>。

さらに、区画線の塗り替え基準に関しても様々な研究がなされてきた。これらの研究の主な手法として、①区画線の視認性評価<sup>[16]-[19]</sup>、②区画線の運転支援技術における作動率評価<sup>[20]-[21]</sup>、③折れ線回帰モデルを用いた舗装更新周期の推定<sup>[22]</sup>などがある。周囲環境の影響を調査した研究として、平澤らの周囲環境や時間帯、天候を考慮した外側線視認性評価に関する研究<sup>[16]</sup>が挙げられる。しかし、この研究ではスクリーンに映し出されたCG動画を実験協力者が見ることで評価しており、実験協力者本人が操作する形で走行実験による視認性評価や運転行動評価を行っていない。また、運転行動の変化を調査した研究として、三林らのドライビングシミュレータを用いた実験による再塗装基準の検討に関する研究<sup>[18]-[19]</sup>が挙げられる。この研究では路面標示の評価ランクと時間帯の変化のみでドライバの視線による評価は行っていない。本研究室の先行研究<sup>[23]</sup>では、道路環境を変化させた場合の、外側線劣化による運転行動の影響を明らかにした。しかし、中央線の劣化についての実験はできていない。

## 1.2 研究目的

背景で述べたように区画線の劣化がドライバの運転行動に及ぼす影響について様々な先行研究があるが、外側線と中央線の劣化度合いに伴う、ドライバの視線を分析した研究は見当たらない。そこで、本研究ではドライビングシミュレータを用いて、区画線劣化による注視点変化への影響を明らかにすることを目的とする。

## 1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。まず、第2章では本研究で用いたドライビングシミュレータと視線計測装置の構成を説明する。また、走行実験に使用したコースについても説明する。次に、第3章では実験手順と分析手法について述べる。第4章では実験結果を示し、得られたデータの考察を行う。最後に、第5章では本研究のまとめと今後の課題について述べる。

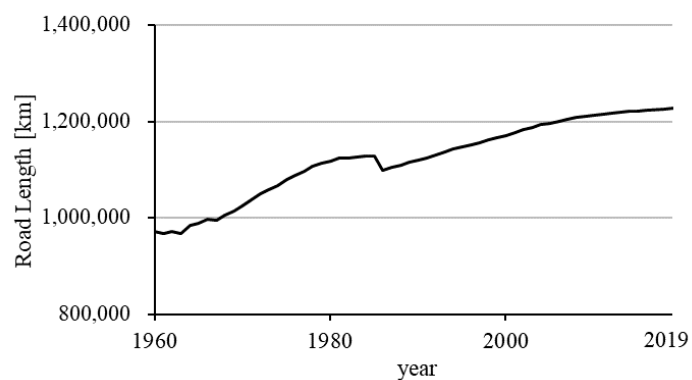






Fig. 1.1 Total Length of Roads

(Created by the author from Annual Report of Road Statistics <sup>[4]</sup>)Table 1.1 Peeling Degree Classification <sup>[5]</sup>

Rank	I	II	III	IV
Peeling Rate	0 ~ 50 %	50 ~ 70 %	70 ~ 90 %	90 ~ 100 %
Description	No or little peeling.	Some peeling is observed.	Peeling is progressing.	Peeling is extremely advanced.
	Visibility can be ensured.	Visibility can be ensured.	Visibility is difficult at night and during rainfall.	Visibility is difficult to be ensured.
Image				

## 白の線表示（外側線、中央線、破線等）



25

Fig. 1.2 Visual Evaluation Rank by the Japan Contractors Association of Traffic Signs and Lane Markings <sup>[6]</sup>

## 第2章

# 実験装置及び走行環境

本章では，本実験で使用する三面式ドライビングシミュレータ（以下 DS と略す）と視線計測装置（アイマークレコーダ EMR-9）について述べる．2.1 節では，DS の構成について説明する．2.2 節では，視線計測装置について説明する．2.3 節では本研究で利用した実験コースについて説明する．

### 2.1 ドライビングシミュレータ

#### 2.1.1 ドライビングシミュレータの概要

本研究で用いる DS の構成図と外観を Fig. 2.1 と Fig. 2.2 に示す．DS は PC4 台，プロジェクター3 台，スクリーン 3 台，ステアリングコントローラ，インパネ，スピーカーで構成されており PC は PC2, PC3, PC4 の 3 台を用いる．PC4 は制御用コンピュータであり，自動車のダイナミクスを計算する．PC3 は情報提示用コンピュータであり，速度メータなどの情報を提示する．PC2 はスクリーン投影用コンピュータであり，PC4 から受信する車両の動きを描画する．インパネには実際の自動車のインパネを使用しており，ドライバの視界や雰囲気を実車に近づけている．ステアリングは Thrustmaster 社製の T500RS GT RACINGWHEEL を使用している．またステアリングは，インパネとは別々のフレームの上に設置し，急なハンドリングやステアリングアシスト時の負荷に耐えられるように設計されている．運転席後方に設置されたスピーカーからは PC4 から受信する運転情報に応じたエンジン音が流れる．

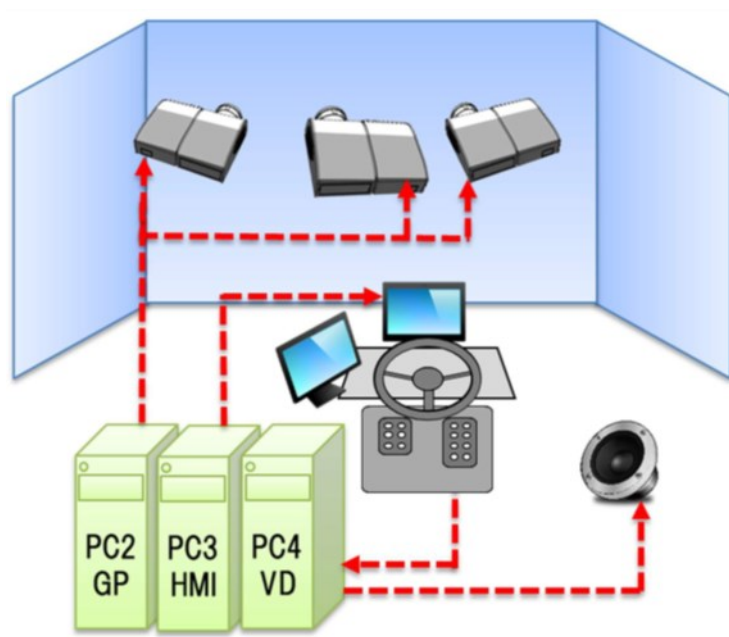


Fig. 2.1 Driving Simulator Configuration



Fig. 2.2 Appearance of DS

### 2.1.2 PC の役割

以下に DS で使用する PC のソフトウェアについて述べる。

#### (1) 制御用コンピュータ (PC4)

PC4 にはステアリングコントローラに付属のアクセルとブレーキからドライバの運転情報が収集される。統合制御プログラムには開発用ソフトウェアとして C++Builder を使用し、Carsim には Visual C++を使用している。CarSim は自動車のダイナミクスを計算するために使用する。本研究室では CarSim の ver. 5.15 を用いている。CarSim はドライバのステアリング操作やアクセル、ブレーキ操作などの操作情報や走行環境などのパラメータを入力として受け取り、車両ダイナミクスの計算をリアルタイムで行い、出力として車両として車両の速度やエンジンの回転数、車両の挙動などを計算する。また、これらの入力を自由に変更することができ、その条件を満たす車両挙動をシミュレーションすることができる。この CarSim だけではステアリング操作などの各入力からの情報の受け取りができないため、統合管理ソフトを用いることで受け取りを可能にして制御することを可能にしている。

統合管理ソフトは主にステアリングやアクセルなどのデバイスからドライバの運転情報を収集し、その情報を CarSim に与える。また、CarSim から車両のダイナミクスについての状態情報を受け取り、反力をステアリングに与えるなどデバイスに出力する。これは C++ Builder を用いて作成されており、制御画面からシミュレータのコントロールが可能である。エンジン音はあらかじめ録音したエンジン音の一部を CarSim で計算されたエンジンの回転数に応じて統合制御プログラムが DirectX library を用いて音を作成し、スピーカーより出力する。

#### (2) スクリーン投影用コンピュータ (PC2)

PC2 は運転席から前方と左右の景色を表示するために用いる。実験コースの三次元モデルが再現されており、メモリンクを介して PC4 から受信した現時刻の自車の動きを描画する。ここで作成された映像は映像分配器を通して 3 台のプロジェクターに送られ、プロジェクターからスクリーンへ投影される。

## (3) 情報提示用コンピュータ (PC3)

PC3 は PC4 から送られてくる速度情報をインパネに取り付けられた小型ディスプレイに出力する速度メータとして用いられている。

## 2.1.3 走行環境

本実験では、歩行者や対向車が存在しない、片側一車線のコースを使用し、コース形状（直線、右カーブ、左カーブ）、外側線の劣化度（ランク 1, 3, 5）、中央線の劣化度（ランク 1, 3, 5）を変化させた合計 27 条件を設定した。ここで、劣化度のランクは Table 1.1 の指標に基づいている。

走行実験は簡略化のため同一のコースを用いており、初期位置を変えて走行する。使用したコースの模式図を Fig.2.7 に示す。コースの長さは、50 km/h で 20 s の走行時間を確保できる長さに設定した。例として、右カーブのコース外観を Fig.2.3 に示す。また、道路の詳細な寸法については道路構造令、標識令、防護柵カタログ<sup>[25]</sup>を参考に Table 2.1 のように決定した。

Table 2.1 Dimensions of Each Part of the Course

Name	Dimensions [m]
Curve radius	100
Lane width	2.75
Edge line width	0.15
Center line width	0.15
Shoulder width	0.75
Sidewalk width	2
Curb width, height	0.15
Guardrail height	0.775
Guardrail post spacing	4

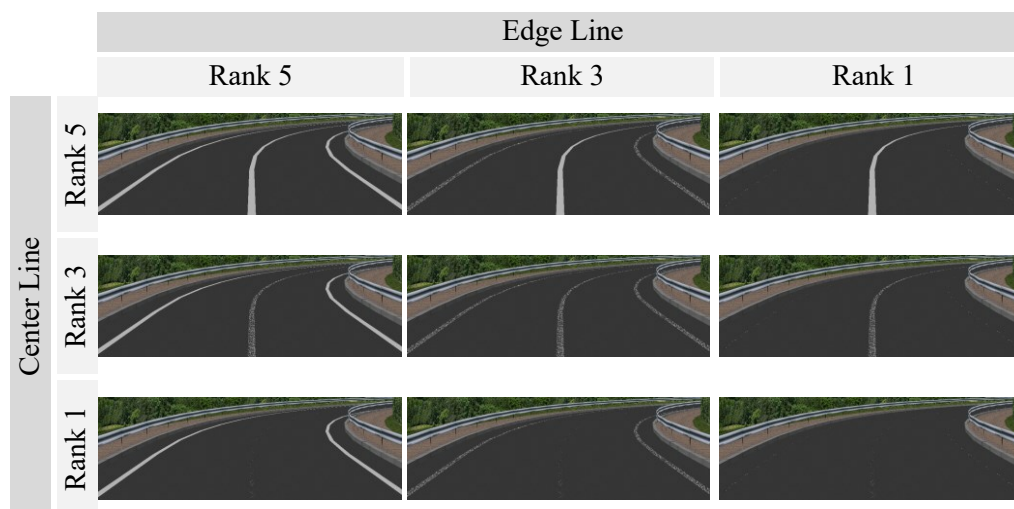


Fig. 2.3 Example of Experimental Course

## 2.2 アイマークレコーダ EMR-9

### 2.2.1 アイマークレコーダの概要

EMR-9の外観をFig.2.4に示す. EMR-9は, 左右の視線計測用眼球カメラ, 見ている風景の撮影用視野カメラ, これらのカメラを取り付けるヘッドユニットから構成されている. この2台のカメラを用いて, 視野映像に視線位置を重ねることで見ている場所を記録し, 動画データとして出力する. 例として実験協力者にレーザーポインタを注視してもらった際の視線計測データをFig.2.5に示す. ここで, Fig.2.5中の四角と十字マークはそれぞれ右眼と左眼のアイマークを示している.



Fig. 2.4 Appearance of EMR-9

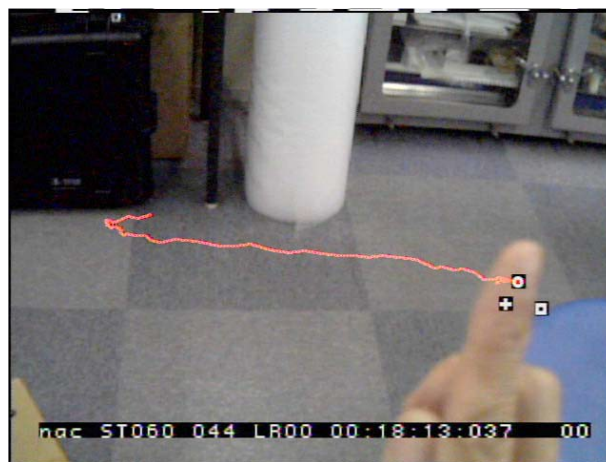


Fig. 2.5 Eye mark on eye tracking data

### 2.2.2 視線計測の原理

EMR-9 は瞳孔/角膜反射方式を採用しており，その原理を Fig. 2.6 に示す．この手法は，近赤外 LED の角膜反射像（プルキニエ像）の位置と，瞳孔中心位置の相対的な距離から眼球運動を検出するものである．この原理を応用して眼球の回転角を求められるが，眼球の大きさなどの身体的特徴に個人差があるため正確な回転角度を求められない．そこで，計測前にキャリブレーション(校正)を行うことで，眼球の特徴を取得し正確な視線を計測している．

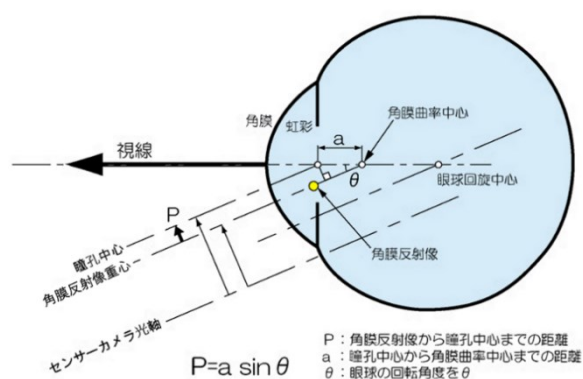


Fig. 2.6 Principles of pupillary corneal reflectometry [24]

---

## 第3章

# 実験手順及び分析手法

---

前章で紹介した DS と EMR-9 を用いた実験の手順と分析手法について述べる.

### 3.1 実験内容

#### 3.1.1 実験手順

実験は, 普通自動車免許を持つ 20 代の男性 6 名を対象に, 2.1.3 で述べた全 27 条件で走行実験を行った. まず, 実験協力者に視線計測装置を装着してもらいキャリブレーションを行う. その後, 実験協力者に「速度 50 km/h で走行車線の中央を維持しながら走行すること」を伝え, DS での運転を十分習熟するまで走行練習をしてもらう. 車速の維持と運転操作に問題がないことを確認した後, 視線と計測したアイマークのずれが生じていないかを確認し, 全 27 回の走行実験を実施する. 各走行後にアンケートを回答してもらい, 3 回の走行ごとに視線のずれを確認する. 走行順序については詳細を Table 3.1 に示す.

Table 3.1 Experimental Sequence

Experiment No.	Course Type	Edge Line Rank	Center Line Rank
1	Straight	5	5
2	Right Curve	1	3
3	Straight	3	1
4	Left Curve	3	5
5	Right Curve	5	3
6	Left Curve	1	1
7	Right Curve	1	5
8	Straight	3	3
9	Left Curve	5	1
10	Right Curve	5	5
11	Left Curve	1	3
12	Right Curve	3	1
13	Straight	3	5
14	Left Curve	5	3
15	Straight	1	1
16	Left Curve	1	5
17	Right Curve	3	3
18	Straight	5	1
19	Left Curve	5	5
20	Straight	1	3
21	Left Curve	3	1
22	Right Curve	3	5
23	Straight	5	3
24	Right Curve	1	1
25	Straight	1	5
26	Left Curve	3	3
27	Right Curve	5	1

### 3.1.2 アンケート項目

本研究で用いた主観アンケートの項目を Fig. 3.1 に示す. アンケートは Q.1 から Q.3 までの3つの質問から構成されており, 各条件の走行ごとに, それぞれ1から5までの5段階評価で回答を求めた. Q.1 では総合的な運転のしやすさを, Q.2 及び Q.3 では劣化した区画線の安全性についての評価を収集した.

Q.1 運転のしやすさ \*

	1	2	3	4	5	
困難	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	容易

Q.2 この「外側線」は運転の安全上, 十分だと感じたか \*

	1	2	3	4	5	
不十分	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	十分

Q.3 この「中央線」は運転の安全上, 十分だと感じたか \*

	1	2	3	4	5	
不十分	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	十分

Fig. 3.1 Questionnaire Content

## 3.2 注視点の分析手法

EMR-9 では, 60 Hz のサンプリング周波数で注視点が測定され, Fig. 3.2 で示す視野映像上でのピクセル座標で記録される. 本研究では, 区画線の劣化に伴う注視点の変化を調査するため, ドライバが路面上のどこを注視しているかを分析する.

EMR-9 で記録される映像データに映る路面は, Fig. 3.3 に示すように, 道路モデルにアフィン行列  $A_1$  でドライバの視点に変換, ホモグラフィ行列  $H$  で遠近法を適用, アフィン行列  $A_2$  で, EMR-9 の視野座標に変換したものと考えられる. したがって, 測定された注視点座標に変換行列  $A_1, H, A_2$  の逆行列を適用することで, 鳥観図における注視点座標を求めることができる. ここで, 変換行列  $H$  は DS の設定に依存し常に一定の値をとるが, 変換行列  $A_1$  は車両の位置と角度で, 変換行列  $A_2$  は, ドライバの頭部の動きで変動するため, Table 3.2 のように目視で道路形状のフィッティングを行った.

以上の手法より，鳥観図における注視点座標から，走行車線左側の外側線を -1，中央線を 0，対向車線右側の外側線を 1 とした注視点の位置を計算し，ドライバがどの区画線を意識しているかを分析した．また，水平線に近い位置や，水平線より上を注視している場合は，道路遠方を注視していると判断した．

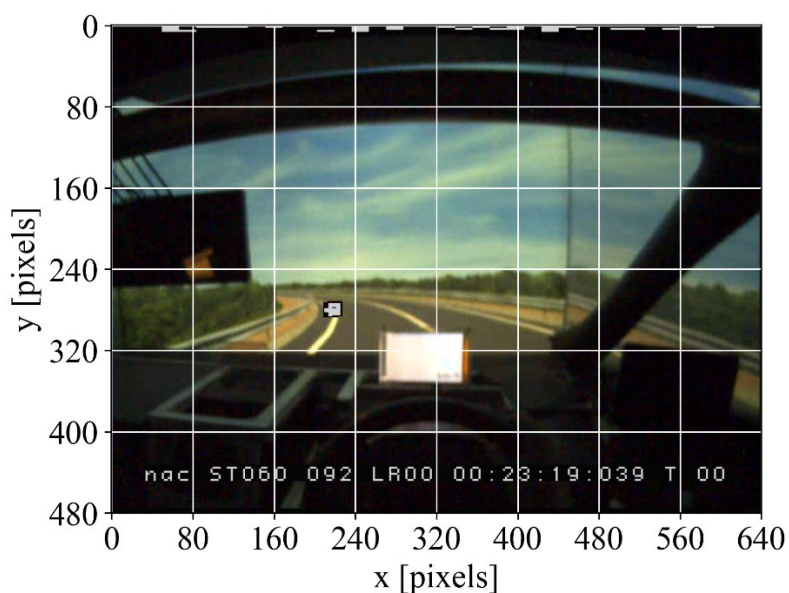


Fig. 3.2 Eye Mark Coordinate

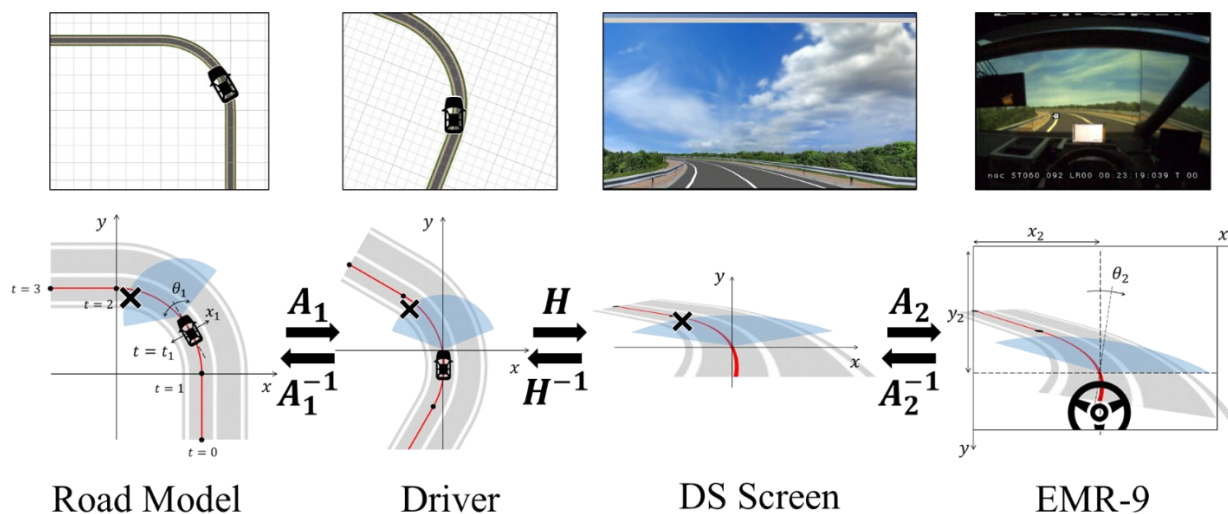
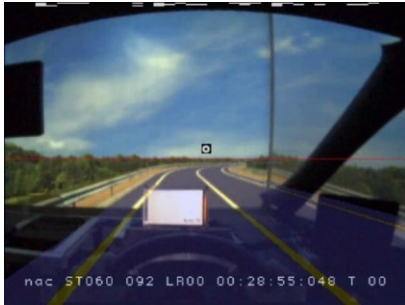
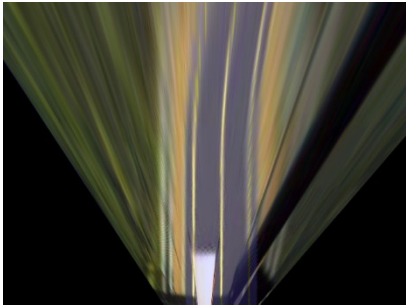

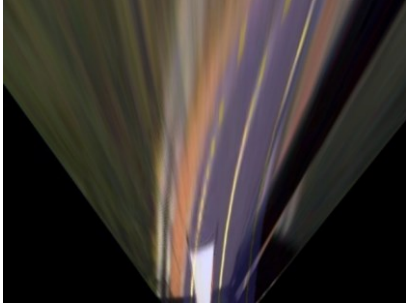

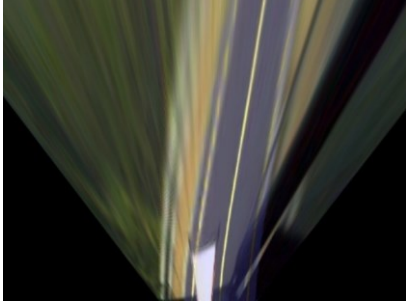


Fig. 3.3 Transformation Process from Road Model to EMR-9

Table 3.2 Example of Road Fitting

EMR-9	Bird's Eye View	Transform Matrix
		$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 102 \\ 0 & 1 & 20 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ $A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 276 \\ 0 & -1 & 322 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
		$A_1 = \begin{pmatrix} 0.978 & -0.209 & 101.2 \\ 0.209 & 0.978 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ $A_2 = \begin{pmatrix} 0.991 & 0.131 & 292 \\ 0.131 & -0.991 & 334 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
		$A_1 = \begin{pmatrix} 0.165 & -0.986 & 101.3 \\ 0.985 & 0.165 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ $A_2 = \begin{pmatrix} 0.986 & 0.165 & 304 \\ 0.165 & -0.986 & 330 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

## 第4章

# 実験結果及び考察

本章では、3章で述べた区画線の劣化度を变化させた走行実験によって得られたアンケート結果と視線データの実験結果について考察を述べる。4.1節で主観アンケート結果について、4.2節で視線データの実験結果について説明し、4.3節でまとめと考察を述べる。

### 4.1 主観アンケート

区画線の劣化に伴う運転の難易度の変化と、外側線と中央線それぞれの安全性評価をアンケートで調査した。実験協力者6名（AからF）について、Q.1からQ.3それぞれのアンケート結果をTable 4.1からTable 4.3に示す。アンケートは0から4までの5段階で評価されており、評価値が高いほど安全だと感じていることを示している。また、Fig. 4.1からFig. 4.3に実験協力者全員の評価値をまとめた。横軸は外側線と中央線の劣化度の各条件を表し、それぞれRank 5, 3, 1の組み合わせで構成されている。縦軸はアンケートの平均評価値を示し、エラーバーは標準偏差を示している。また、図中の\*はTukeyの多重比較による有意差を示しており、赤色は外側線、青色は中央線の条件間での有意差を表している。以下に、アンケート項目ごとの特徴と考察を述べる。

#### 4.1.1 運転のしやすさ (Q.1)

Fig. 4.1より、直線と比較して、右カーブ及び左カーブの方が全体的に評価値が低く、運転しづらいと感じている。区画線の劣化に注目すると、直線及び右カーブでは、中央線の劣化条件間で評価値に有意差があり、中央線の視認性が運転難易度に大きく影響することが確認できる。一方、左カーブでは外側線と中央線の両方の条件間で有意差が見られ、両条件とも劣化による運転難易度の上昇が確認された。右カーブにおいて外周の指標である外側線の劣化の影響が小さいという結果は、アスファルトと縁石の境界線が外側線の機能を補っている可能性を示唆している。左カーブにおいては、外周の指標と

なる中央線の代替となる境界が存在しないため、中央線の劣化の影響が顕著に表れると考えられる。また、左カーブにおいて外側線の劣化が影響するのは、ドライバは道路線形の把握のために、外周の境界よりも内周の境界が重要視しており、外側線以外の境界線では道路線形を十分に把握できないためだと推測される。

#### 4.1.2 区画線の安全性 (Q.2, Q.3)

Fig. 4.2, Fig. 4.3 にて、外側線と中央線それぞれについて、十分な安全性を確保できているかの評価値を示している。4.1.1 節で述べたように、運転難易度は主に中央線の視認性に依存し、左カーブでは外側線の視認性も影響するという結果が得られた。しかし、Fig. 4.2 及び Fig. 4.3 から読み取れるように、外側線と中央線の劣化度は、そのまま安全性の評価値に影響しており、運転難易度に関わらずドライバは劣化している区画線は安全上不十分だと感じるという結果が得られた。また、中央線の安全性についての評価値は、中央線の劣化度が Rank 1 のとき、全ての道路線形で非常に低い値となっている。外側線の安全性については、左カーブのときに顕著に評価値が低下している。

#### 4.1.3 アンケート結果の考察

運転難易度評価 (Q.1) と外側線と中央線それぞれの安全性評価 (Q.2, Q.3) について、中央線の劣化が特に安全性を低下させ、左カーブで外側線の劣化による影響も現れるという同様の結果が確認できた。直線及び右カーブにおいて、外側線が劣化している場合でも、アスファルトと縁石の境界などが道路線形の把握に有効であり、運転難易度は大きく低下しない。しかし、ドライバが感じる主観的な評価としては、十分な視認性を確保できていないと感じているため、ドライバの安心感を確保するために外側線の視認性も重要であることが確かめられた。

Table 4.1 Questionnaire Results on Driving Ease (Q.1) for each Participant

Course Type	Edge Line Rank	Center Line Rank	Score					
			A	B	C	D	E	F
Straight	5	5	4	4	4	4	4	4
		3	4	4	4	3	3	3
		1	2	2	3	3	2	3
	3	5	4	4	4	4	3	4
		3	3	1	2	3	2	4
		1	2	1	2	3	3	3
	1	5	3	4	4	4	3	4
		3	3	3	3	3	2	3
		1	0	1	2	2	1	3
Right Curve	5	5	4	4	3	4	4	4
		3	3	1	3	3	2	1
		1	1	0	1	3	0	1
	3	5	4	3	2	3	3	2
		3	3	0	3	3	3	1
		1	1	0	2	3	1	0
	1	5	3	2	3	3	4	2
		3	3	0	3	3	3	2
		1	0	0	0	3	0	0
Left Curve	5	5	4	4	3	4	4	4
		3	4	3	3	3	3	2
		1	4	1	2	3	2	2
	3	5	3	3	3	3	3	3
		3	3	2	2	3	2	1
		1	1	1	0	3	1	2
	1	5	3	1	2	3	2	2
		3	2	0	2	3	1	2
		1	0	0	0	2	0	0

Table 4.2 Questionnaire Results on Edge Line Safety (Q.2) for each Participant

Course Type	Edge Line Rank	Center Line Rank	Score					
			A	B	C	D	E	F
Straight	5	5	4	4	3	4	4	4
		3	4	4	4	3	4	4
		1	4	4	4	4	4	4
	3	5	3	1	3	3	1	2
		3	3	1	2	3	2	2
		1	2	1	2	2	2	2
	1	5	2	1	2	3	1	2
		3	1	1	1	3	0	1
		1	0	0	0	1	0	0
Right Curve	5	5	4	4	4	4	4	4
		3	4	4	4	4	4	4
		1	4	4	4	4	4	4
	3	5	3	1	2	3	2	1
		3	3	1	3	3	2	1
		1	1	0	2	3	2	1
	1	5	1	1	1	3	2	0
		3	2	2	0	1	4	1
		1	1	0	0	3	0	0
Left Curve	5	5	4	4	4	4	4	4
		3	4	4	4	4	4	4
		1	4	4	4	4	4	4
	3	5	3	1	3	3	2	2
		3	3	1	3	3	1	1
		1	3	1	3	3	2	2
	1	5	1	0	1	2	0	0
		3	1	0	1	2	0	1
		1	0	0	0	1	0	0

Table 4.3 Questionnaire Results on Center Line Safety (Q.3) for each Participant

Course Type	Edge Line Rank	Center Line Rank	Score					
			A	B	C	D	E	F
Straight	5	5	4	4	3	4	4	4
		3	3	2	3	3	1	2
		1	1	1	1	3	0	1
	3	5	4	4	4	4	4	4
		3	3	0	2	2	2	2
		1	1	0	0	1	1	0
	1	5	4	4	4	4	4	4
		3	3	1	3	3	3	2
		1	0	0	0	1	0	0
Right Curve	5	5	4	4	4	4	4	4
		3	3	0	2	3	1	1
		1	0	0	0	2	0	0
	3	5	4	4	4	4	4	4
		3	3	0	3	2	2	1
		1	0	0	0	2	0	0
	1	5	4	4	4	4	4	4
		3	3	0	3	3	2	2
		1	0	0	0	2	0	0
Left Curve	5	5	4	4	4	4	4	4
		3	3	1	2	2	2	2
		1	1	0	1	3	1	1
	3	5	4	4	4	4	3	4
		3	3	1	3	3	2	1
		1	1	0	0	2	0	1
	1	5	4	4	4	4	4	4
		3	3	0	3	3	1	2
		1	1	0	0	1	1	0

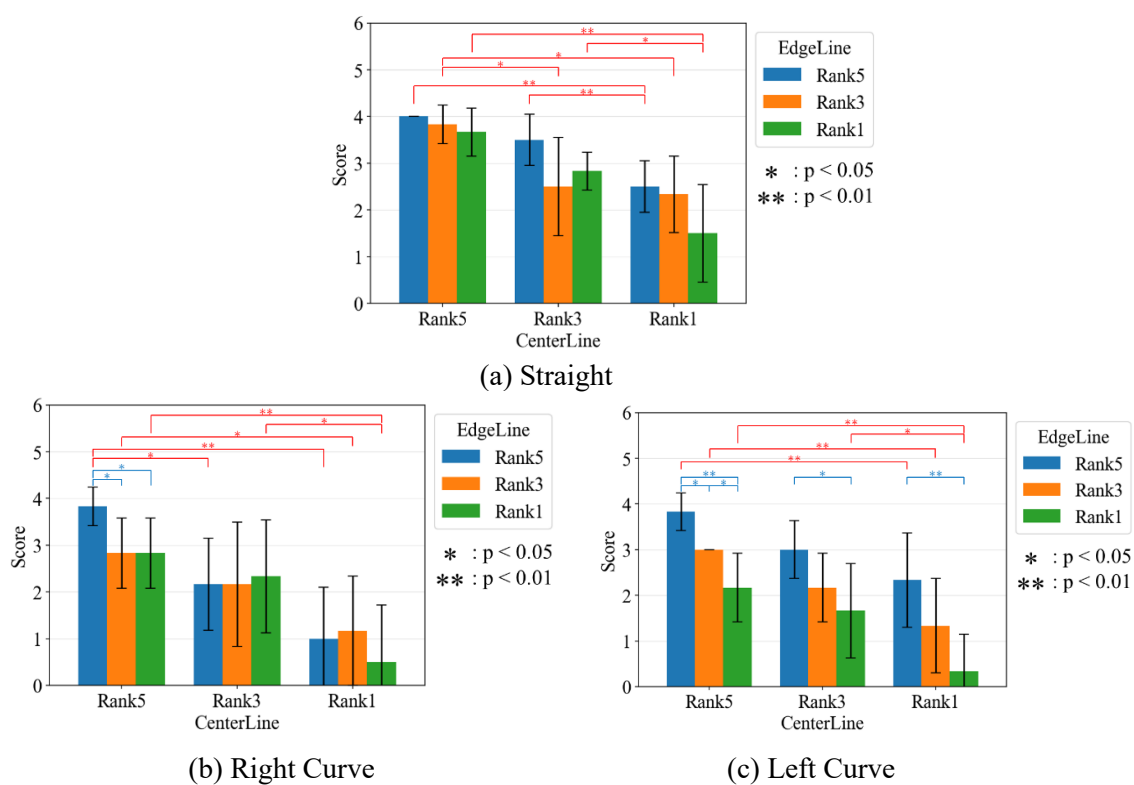


Fig. 4.1 Average Scores for Driving Ease

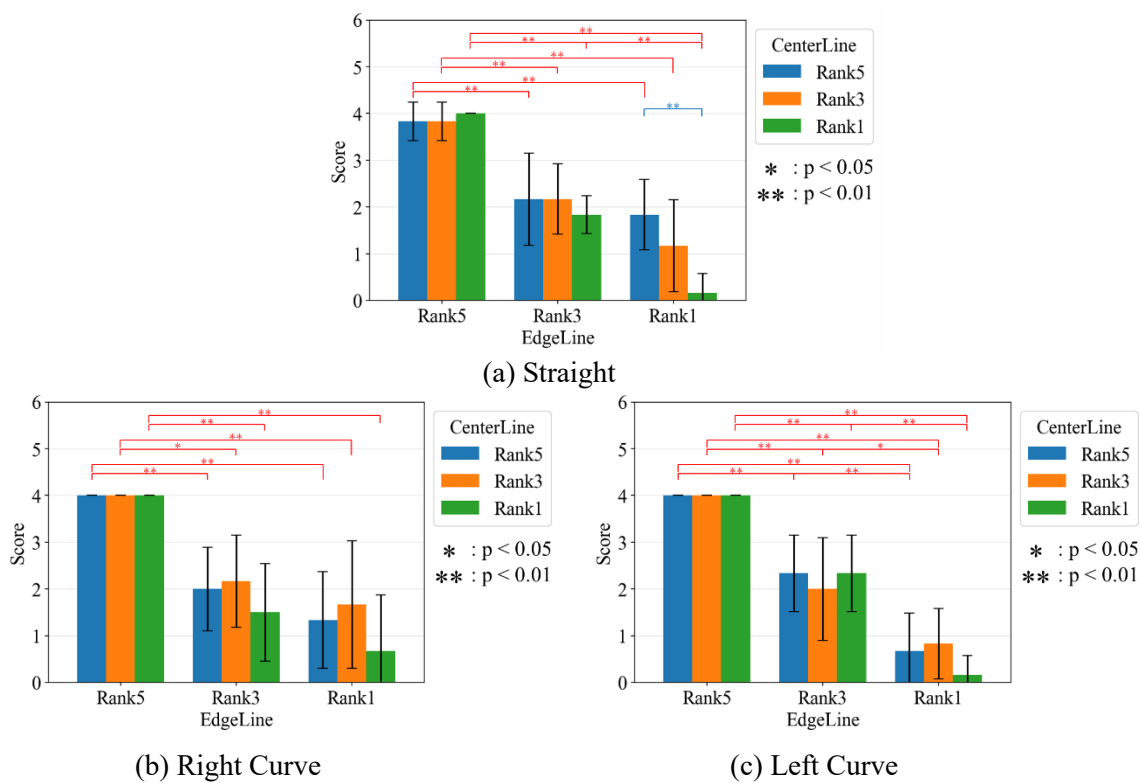


Fig. 4.2 Average Scores for Edge Line Safety

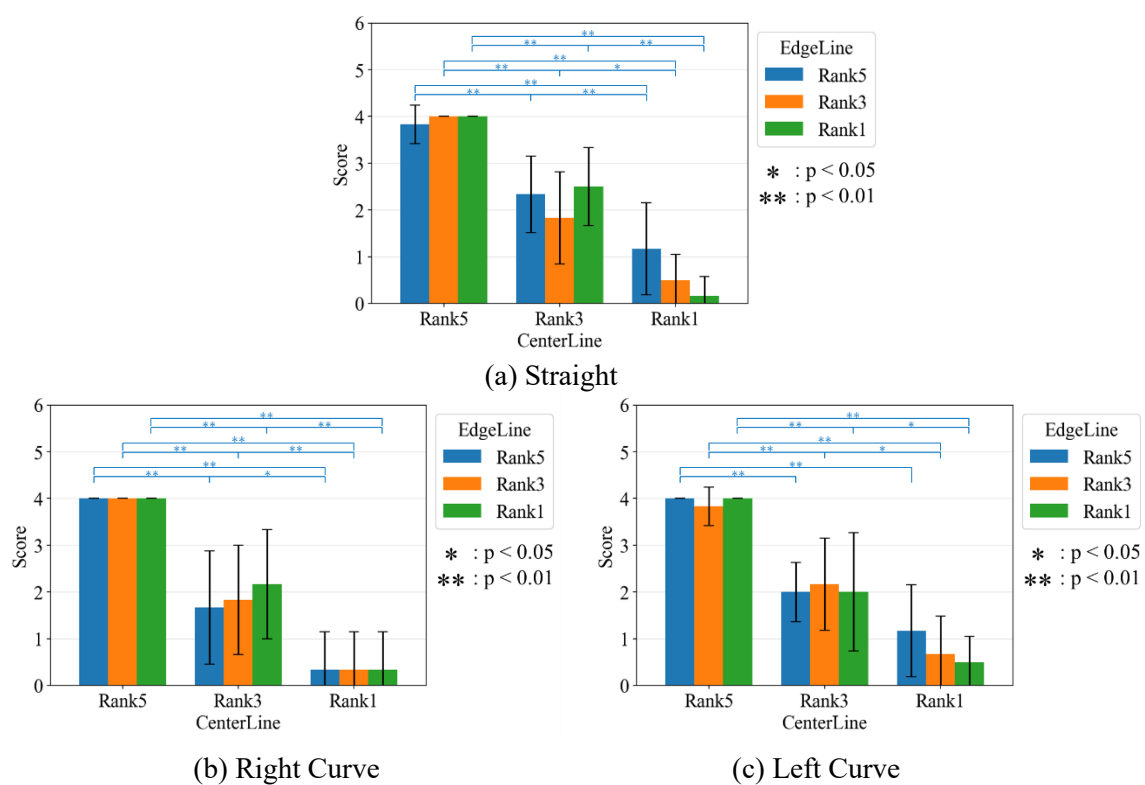


Fig. 4.3 Average Scores for Center Line Safety

## 4.2 視線分析結果

区画線の劣化に伴う注視点の変化について、Fig. 4.4 から Fig. 4.6 に示す。図中の箱ひげ図は注視点の分布を示しており、横軸の値は、左側外側線 (-1)，中央線 (0)，右側外側線 (1) を表している。また、道路遠方と道路近傍の注視割合を棒グラフで示している。以下に、コースの形状ごとの特徴と考察を述べる。

### 4.2.1 直線

Fig. 4.4 に示す直線道路での注視点分布によると、ドライバーは主に道路遠方を注視しており、注視点の中央値は走行車線の中心、すなわち -0.5 の付近に位置している。外側線と中央線の劣化による注視点の変化を見ると、外側線の影響は少なく、中央線のランクが下がるにつれて、ドライバは外側線や中央線付近を注視する傾向が強くなっている。また、外側線と中央線がともに Rank 1 で視認が困難になると、道路遠方の注視割合が高まることが確認された。

### 4.2.2 右カーブ

Fig. 4.5 に示す右カーブでの注視点分布によると、直線区間と比較して道路近傍を注視する割合が高くなり、注視点分布の中央値は中央線を表す 0 付近の値をとっている。中央線の劣化度が Rank 5, 3 で視認可能な場合は、外側線の劣化度に関わらず注視点分布の変化は見られないが、中央線の劣化度が Rank 1 で視認が困難になると、外側線が視認可能な場合には外側線への注視が増加することが確認された。

### 4.2.3 左カーブ

Fig. 4.6 に示す左カーブでの注視点分布によると、右カーブ区間と同様に道路近傍を注視する割合が高く、注視点分布の中央値は外側線を表す -1 付近の値をとっている。左カーブでは、直線や右カーブと比較して区画線の劣化が注視点の分布に及ぼす影響は小さい。ドライバは主に外側線の位置を注視し、中央線をまれに注視する傾向がある。

#### 4.2.4 視線分析結果の考察

以上より、ドライバは直線では道路遠方、右カーブでは中央線、左カーブでは左側外側線を主な指標としていることが明らかとなった。また、直線と右カーブでは、特に中央線の劣化度が注視行動に影響を与え、中央線や外側線への注視が増加した。左カーブでは外側線と中央線ともに劣化が注視行動に与える影響は見られなかった。ドライバは、道路に沿って走行するために、視線移動によって道路線形を把握している。したがって、区画線の劣化による注視点分布の変化が現れた条件では、劣化した区画線の代替となる指標を注視していると考えられる。すなわち、中央線が劣化している直線及び右カーブについては、代わりに外側線やその他の境界線を注視することで道路線形の把握を補っていると推測される。しかし、右カーブでは中央線を主な指標としており、中央線が視認できない場合に、その線形を把握できる代替の指標が存在しないため、最も危険だと考えられる。注視点分布に変化が見られなかった左カーブについては、外側線の線形を把握する指標として、アスファルトと縁石の境界などが存在するため、注視位置が変化しなかったと考えられる。

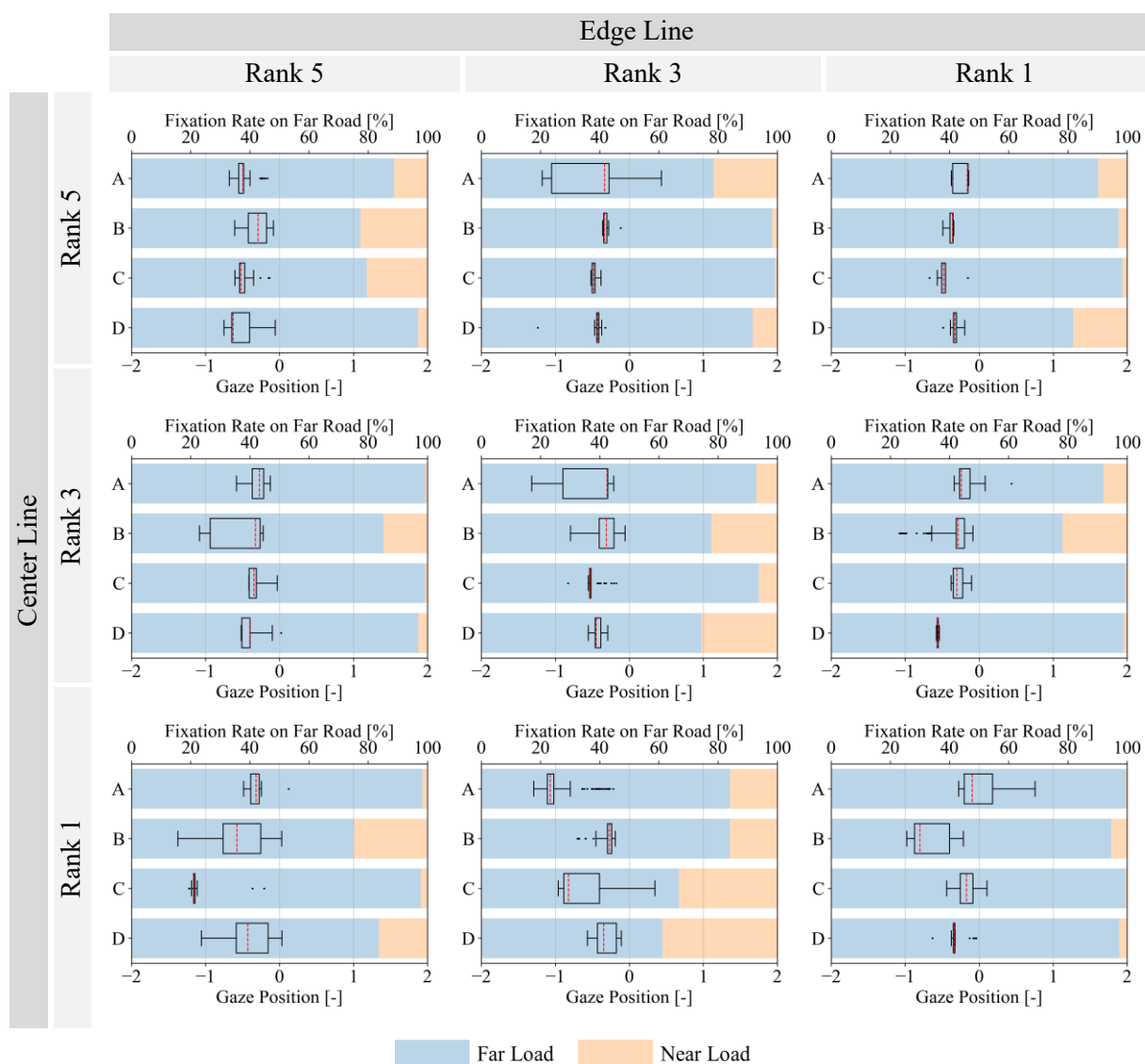


Fig. 4.4 Fixation Point Distribution on Straight Road

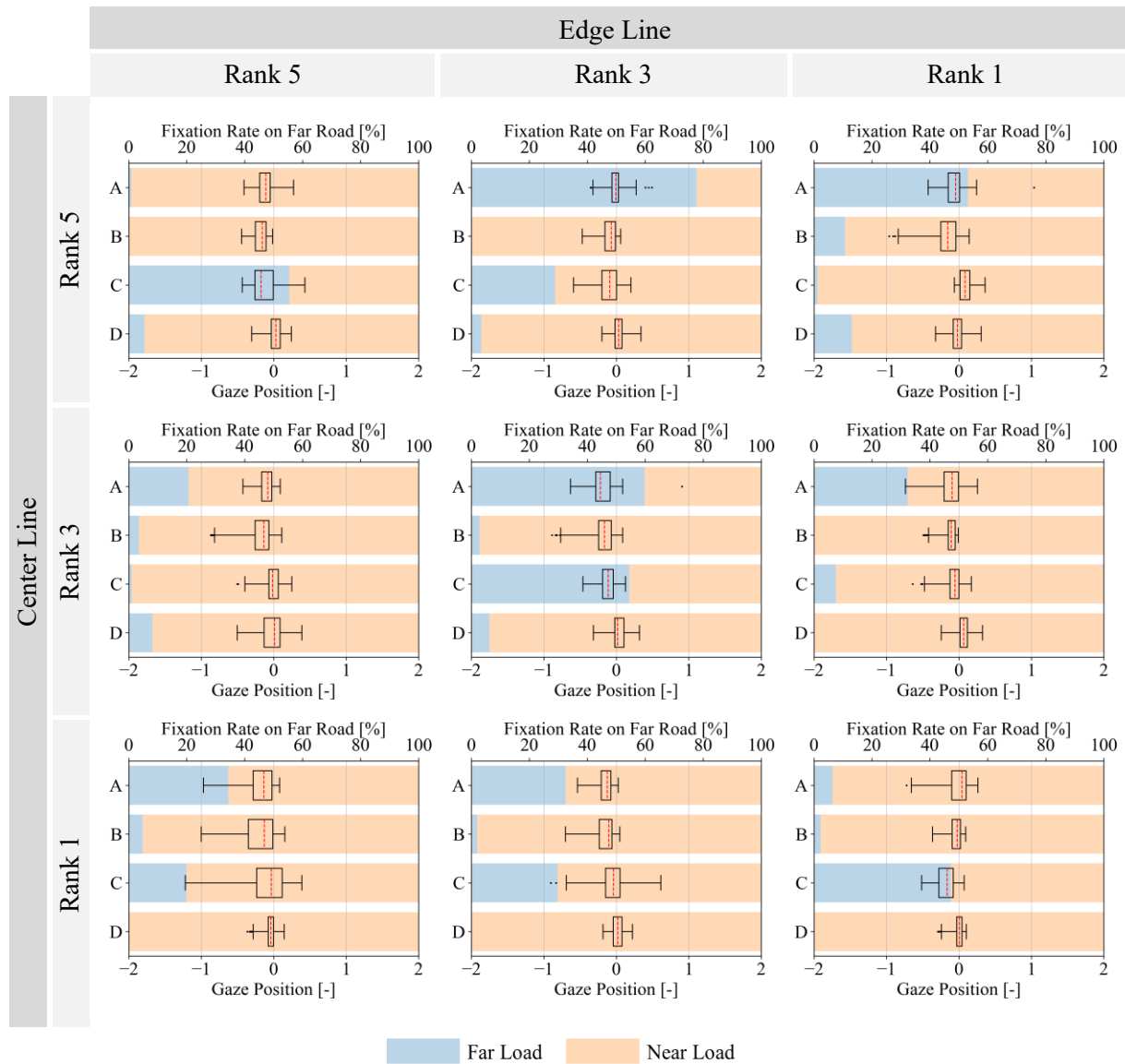


Fig. 4.5 Fixation Point Distribution on Right Curve Road

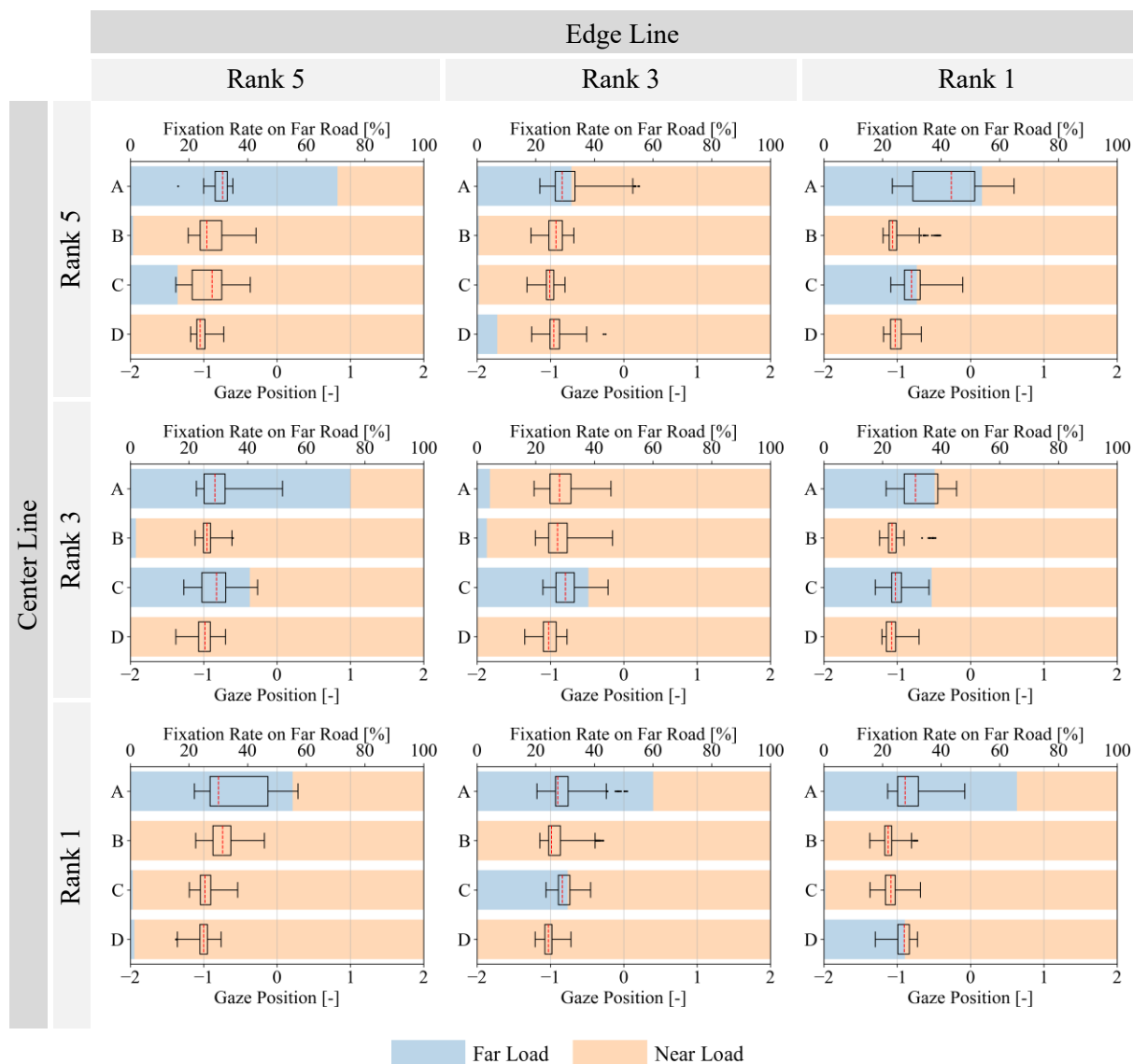


Fig. 4.6 Fixation Point Distribution on Left Curve Road

# 第 5 章

## 結論

### 5.1 まとめ

道路上の区画線は、交通の安全と円滑のために重要な要素であり、常に良好な視認性を確保する必要がある。しかし、整備数が膨大であるため維持管理手法の改善が求められている。そこで、本研究ではドライビングシミュレータと視線計測装置を用いて、外側線と中央線について劣化度を 3 段階で変化させた場合の、運転の安全性への影響を明らかにすることを目的とした。

運転の安全性を評価するため、アンケートによる主観評価と、ドライバの注視点による客観評価を行った。アンケートでは、運転難易度、外側線と中央線それぞれの安全性を 5 段階で評価した。注視点データは、録画映像を鳥観図に変換し、左側外側線を-1、右側外側線を 1 として正規化した注視点座標を計算し、分析を行った。

主観アンケートより、すべての道路線形（直線、右カーブ、左カーブ）において、中央線の劣化が特に安全性を低下させ、左カーブでは外側線の劣化による影響も現れるという結果が確認された。直線及び右カーブにおいて、外側線の劣化による運転難易度への影響が小さいのは、外側線以外の境界線（アスファルトと縁石など）が道路線形の把握に寄与しているためだと考えられる。しかし、ドライバが感じる主観的な評価としては、外側線の劣化によって運転の安全性への不安は増大している。そのため、中央線の視認性が最も重要だが、外側線の重要性も確認された。

注視点分析より、ドライバは直線では道路遠方、右カーブでは中央線、左カーブでは左側外側線を主な指標としていることが明らかとなった。また、直線及び右カーブでは、特に中央線の劣化度が注視行動に影響を与え、中央線や外側線への注視が増加した。左カーブでは外側線と中央線ともに劣化が注視行動に与える影響は見られなかった。道路線形を把握する指標としている区画線が視認できない場合、代替指標を注視することがあるが、中央線の代わりとなる指標が存在しないため、中央線を主な指標としている右

カーブにおいて、中央線の劣化に伴って安全性が大きく低下すると考えられる。

以上の結果より、視認性が低下した中央線には代わりの指標が存在しないため、中央線の視認性の確保が最も重要だと考えられる。特に中央線を主な指標としている右カーブにおいては、優先して再塗装を実施すべきだと考えられる。外側線の劣化については、運転難易度や注視点分布への影響は確認できなかったが、ドライバの主観的な評価として、外側線の視認性も影響しているため、安心感のある運転体験のため再塗装は必要である。

## 5.2 今後の課題

本研究では、アンケートによる主観評価とドライバの注視点による客観評価を行ったが、客観評価による運転の難易度を評価することはできていない。また、区画線の劣化度を3段階に設定したが、注視点分析における Rank 5 と Rank 3 の差を確認できなかったため、今後は実験協力者を増やし、さらなる検証が必要である。

---

## 参考文献

---

- [1] James, V. M.: “Effect of Pavement Edge Marking on Two-Lane Rural State Highways in Ohio”, Highway Research Board Bulletin, Vol. 266, pp. 1-7 (1960)
- [2] Tsyganov, A.R., Machemehl, R.B., Warrenchuk, N.M.: "Safety Impacts of Edge Lines on Rural Two-Lane Highways", FHWA/TX-05/0-5090-1, (2005)
- [3] Smadi, O., Hawkins, N., Nlenanya, I., Aldemir-Bektas, B.: “Pavement Markings and Safety”, IHRB Project TR-580, (2010)
- [4] 国土交通省, 道路統計年報 2022, < [https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokeinen/2022/xlsx/d\\_genkyou01-1.xlsx](https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokeinen/2022/xlsx/d_genkyou01-1.xlsx) > (参照日 2024-07-12)
- [5] 三重県県土整備部, 第1回三重県内道路路面標示連絡調整会議, <<https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000924378.pdf>> (参照日 2024-07-12)
- [6] 一般社団法人全国道路標識・標示業協会, 「路面標示と交通安全」, 技術資料, Vol.10, pp.25 (2017)
- [7] 浅田拓海, 本多誠司, 亀山修一: 「画像特徴量を用いた道路区画線剥離率推定法の開発」, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.67, No.1, pp.10-21 (2011)
- [8] 木下雅央, 浅田拓海, 本多誠司, 川端伸一郎, 亀山修一: 「シークエンス画像を用いた道路区画線の剥離と夜間視認性の評価」, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.5, pp.I\_109-I\_116 (2011)
- [9] 浅田拓海, 亀山修一, 川端伸一郎, 佐々木克典: 「走行車両から撮影した路面画像を用いた舗装のひび割れ評価手法の開発」, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.70, No.3, pp.I\_9-I\_16 (2014)
- [10] 河崎隆文, 打越大成, 岩本健嗣, 米澤拓郎, 中澤仁, 徳田英幸: 「車両に取り付けたカメラによる路面標示の擦り切れ検出手法の提案」, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol.2014, No.5, pp.101-108 (2014)
- [11] 河崎隆文, 打越大成, 岩本健嗣, 松本三千人, 米澤拓郎, 中澤仁, 徳田英幸: 「汎用カメラと一般車両を用いた路面標示の擦り切れ検出手法」, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-ITS-60, No.3, pp.1-8 (2015)

- 
- [12] 菅一生, 横山達也, 白石陽:「車載カメラ画像を用いた路面標示劣化度合い推定手法の検討」, 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS) , Vol.2017-ITS-71, No.9, pp.1-5 (2017)
- [13] 菅一生, 白石陽:「車載カメラを用いた参加型センシングによる路面標示残存率推定システムの提案」, 第 25 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol.2017, pp.193-195 (2017)
- [14] 宮川興業株式会社, ロードビューワー, <<http://www.miyagawa-co.com/rv.html>> (参照日 2024-07-12)
- [15] 沖野仁:「IT 技術「道路区画線診断システム ROADVIEWER」を活用して維持補修工事の流れをかえる」, 中国地方建設技術開発交流会(2018)
- [16] 平澤匡介, 浅野基樹, 梅本利男:「北海道における区画線塗り替え基準の検討について」, 寒地土木研究所月報, No.686, pp.19-29 (2010)
- [17] 浅田拓海, 亀山修一:「走行車両から撮影した画像を用いた道路区画線診断方法の開発」, 土木学会論文集 D3 (土木計画学) , Vol.68, No.4, pp.358-368 (2012)
- [18] 相田翔, 神田雅大, 三林洋介:「路面標示劣化に対する運転行動変化に関する研究」, 人間工学, Vol.53, No.Supplement, pp.272-273 (2017)
- [19] 三林洋介, 田宮高信, 相田翔, 神田雅大:「路面標示劣化が運転行動に及ぼす影響(第 2 報)」, 人間工学, Vol.54, No.Supplement, pp.1B1-2 (2018)
- [20] 宗広一徳, 中村直久, 倉田和幸, 佐藤昌哉:「運転支援技術を考慮した道路区画線の条件について」, 寒地土木研究所月報, No.806, pp.43-48 (2020)
- [21] 飯田克弘, 藤本怜央:「車線区画線や路面の状態が自動運転機能に及ぼす影響の把握」, 交通工学研究発表会論文集, Vol.40, pp.525-529 (2020)
- [22] 兵頭知, 安井一彦, 小野拓海, 池田隆博:「折れ線回帰モデルを用いた道路区画線の舗装更新周期の推定に関する研究」, 交通工学論文集, Vol.5, No.2, pp.267-274 (2019)
- [23] 井田海, 池浦良淳, 早川聡一郎:「外側線剥離が運転行動に与える影響の評価に関する研究」, 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻令和 4 年度修士学位論文
- [24] 株式会社ナックイメージテクノロジー, EMR-9 取扱説明書, p.109  
<[https://www.eyemark.jp/\\_userdata/pdf/EMR-9\\_manual.pdf](https://www.eyemark.jp/_userdata/pdf/EMR-9_manual.pdf)> (参照日 2024-07-12)
-

- [25] JFE 建材株式会社, JFE 防護柵カタログ, p.14  
<<https://www.jfe-kenzai.co.jp/download/catalogue/pdf/05/12.pdf>> (参照日 2024-07-12)
- [26] 海老澤嘉伸, 杉浦光洋:「視標と注視点条件の視覚依存性意識的サッカー特性への影響」, 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.11, pp.1730-1737 (1998)

---

# 謝辞

---

本研究を進めるにあたり，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 池浦良淳教授には終始多大なる御指導，御鞭撻を親身になって行って頂き，深く感謝致し，厚く御礼申し上げます。

また，大変お忙しい中本論文を査読して頂くと共に，多数のご教示，ご助言を賜りました三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 矢野賢一教授に厚く御礼申し上げます。

また，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 早川聡一郎准教授には研究に関する有益なご助言を頂き，深く感謝致します。厚く御礼申し上げます。

本研究を行うに際しまして，お忙しい中実験に協力して下さった協力者の方々には貴重な時間を割いて頂き，厚く御礼申し上げます。

研究室での生活を楽しく豊かにして頂いた，修士1年生と4年生の皆様に感謝し，今後のご活躍を期待しております。

そして，研究室生活を忘れる事の出来ない充実したものにして頂いた修士2年生の内田雄大氏，後藤倫太郎氏，棚瀬直浩氏，谷口泰誠氏，西村晟央氏，森井省吾氏，菱川直輝氏，三岩功季氏には心より感謝の意を表します。

最後に，大学院在籍中，惜しめない援助を送ってくださった家族のお陰で充実した素晴らしい勉強・研究生活を送ることができました。感謝の気持ちを述べることで謝辞の最後とさせていただきます。