

「信州大学審査学位論文」

車両近傍照射用路面描画ランプ  
の必要性能に関する研究

2021 年 9 月

柴田 裕一

## 目次

<b>第 1 章 序論</b>	<b>1</b>
1-1 はじめに	2
1-2 背景	3
1-2-1 夜間交通事故の発生状況	3
1-2-2 自動車用照明機能概要	6
1-2-3 自動車用照明技術の進化	8
1-2-4 自動車照明分野での人間工学的研究	13
1-2-5 今後期待される自動車照明技術	17
1-3 本研究の目的	20
1-4 本論文の構成	21
<b>第 2 章 形状別に必要な路面描画ランプの性能とグレア検証</b>	<b>22</b>
2-1 はじめに	23
2-2 現状把握実験方法	26
2-2-1 想定シーン	26
2-2-2 既存ターンシグナルランプ検出実験方法	26
2-3 現状把握実験結果	28
2-4 路面描画検出実験方法	29
2-4-1 レイアウトと使用機材	29
2-4-2 実験条件	32
2-4-3 実験手順	38
2-5 路面描画検出実験結果	39
2-5-1 シーン A（左折巻き込みレイアウト）結果	39
2-5-2 シーン B（出会い頭レイアウト）結果	41
2-6 背反（グレア）実験方法	43
2-6-1 実験レイアウト	43
2-6-2 路面描画・環境照度条件	44
2-7 背反（グレア）実験結果	46

2-8	考察	48
2-8-1	交通参加者が気づくために必要な 路面描画ランプ光度	48
2-8-2	路面描画の形状違いによる検出率の差	53
2-8-3	シーン違いによる検出率の差	54
2-8-4	タスクの違いによる目の順応状態	55
2-8-5	観測位置と不快グレアについて	56
2-9	まとめ	57
<b>第3章 点灯方法別に必要な路面描画ランプの性能</b>		<b>58</b>
3-1	はじめに	59
3-1-1	交通事故統計	59
3-1-2	車両後退用路面描画に関する既往研究	62
3-1-3	本研究の目的	64
3-2	現状把握実験	65
3-2-1	想定シーン	65
3-2-2	既存バックランプ検出実験条件	65
3-2-3	既存バックランプ検出実験方法	68
3-3	現状把握実験結果	69
3-4	路面描画検出実験方法	71
3-4-1	レイアウトと使用機材	71
3-4-2	実験条件	74
3-4-3	実験手順	78
3-5	路面描画検出実験結果	79
3-5-1	シーン A（正面注視歩行者）結果	79
3-5-2	シーン B（脇見歩行者）結果	85
3-5-3	タスク違いの影響	91
3-6	官能評価実験方法	92
3-6-1	実験レイアウト	92
3-6-2	実験条件	93

3-7	官能評価実験結果 . . . . .	94
3-8	考察 . . . . .	95
3-8-1	交通参加者が気づくために必要な路面描画ランプ性能	95
3-8-2	路面描画ランプの色違いによる影響 . . . . .	97
3-8-3	路面描画ランプの点灯と交通参加者の視認行動 . . .	99
3-9	まとめ . . . . .	100
 <b>第4章 結言 . . . . .</b>		<b>101</b>
4-1	本研究のまとめ . . . . .	102
4-2	今後の展望 . . . . .	104
 <b>参考文献 . . . . .</b>		<b>110</b>
 <b>発表論文 . . . . .</b>		<b>117</b>
 <b>謝辞 . . . . .</b>		<b>119</b>



# 第 1 章

## 序論

## 1-1. はじめに

1885～86 年に現在主流となるガソリンエンジン搭載した四輪車が開発され，1900 年代初頭に，自動車の大量生産が始まり広く普及した．初期の自動車には照明機能は無かったが，次第に夜間走行のために路面を照射する照明機能が搭載された．当初は光源に灯油やアセチレンなどを用いた燃焼式ランプであったが，技術革新により電気式ランプを経て LED などの半導体光源へと進化した．同様にランプ機能も，照射範囲の拡大が可能となった．

今後自動車照明は従来の照射機能に加え情報伝達機能が加わると予想される．この情報伝達機能の 1 つが，路面に文字やシンボルを投影し情報を伝える路面描画ランプである．本研究では車両周囲の交通参加者への伝達を目的とした，車両近傍照射用路面描画（図 1-1）に着目し，路面描画ランプの必要性能を明らかにした．



図 1-1：車両近傍照射用路面描画の例

（左：ターンシグナルランプ用路面描画，右：後退用路面描画）

以下 1-2-1 節で夜間に発生する交通事故の現状，1-2-2 節～1-2-3 節で自動車照明機能の概要及び自動車用照明のこれまでの進化を示し，1-2-4 節ではこれまでに行われた関連する人間工学的研究についてレビューする．1-2-5 節では今後予想される自動車照明機能の進化を示し 1-3 節で本研究の目的を具体的に説明する．1-4 節では 2 章，3 章で行う研究対象者実験を通じ明らかにした必要性能を本研究の構成と共に述べる．

## 1-2. 背景

### 1-2-1. 夜間交通事故の発生状況

内閣府が発表した平成 30 年に発生した交通事故統計【1】によると、類型別の交通事故死者は、歩行中（1,258 人、構成率 35.6%）が最も多く、次いで自動車乗車中（1,197 人、構成率 33.9%）が多くなっており、両者を合わせると全体の 69.5%を占めている。

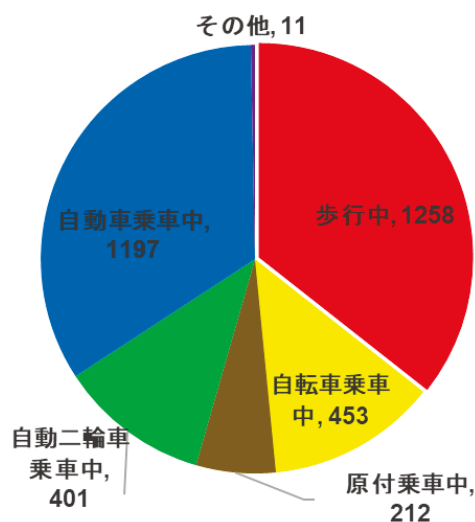


図 1-2：平成 30 年に発生した類型別交通死者数（【1】より引用）

また図 1-3，1-4 に平成 30 年に発生した交通事故負傷者・死者割合を分類別，昼夜別に示す。いずれの分類でも負傷者数に対して死者数は夜間の割合が増加している【1】。

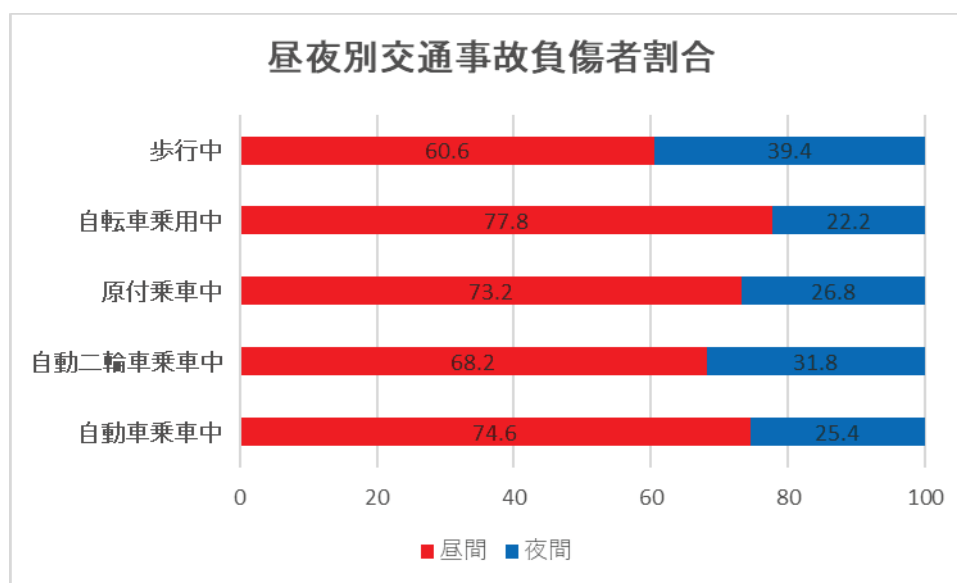


図 1-3 : 分類別・昼夜別交通事故負傷者割合 (【1】より引用)

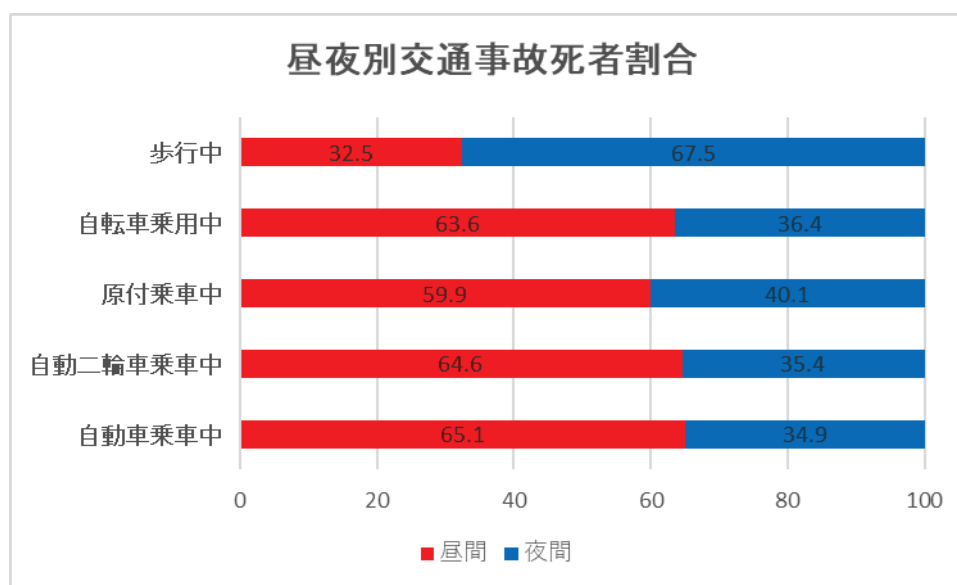


図 1-4 : 分類別・昼夜別交通事故死者割合 (【1】より引用)

図 1-5 に警察庁が発表した，平成 28 年から令和 2 年までの 5 年間に  
おける死亡事故発生状況時間帯別交通事故死者数を示す【2】. 17  
時～19 時の日没前後の時間帯の件数が多い.

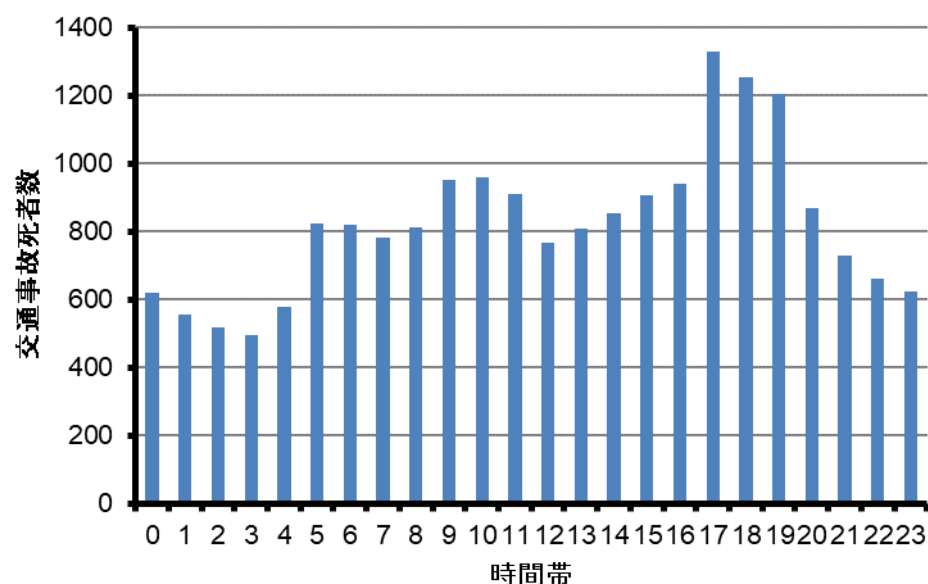


図 1-5： 平成 28 年から 5 年間に発生した時間帯別  
交通事故死者数（【2】より引用）

以上から，夜間だけでなく日没前後の時間帯における歩行者など交  
通弱者に対する交通事故低減は社会的ニーズが高く，自動車用照明が  
果たすべき役割は大きい.

### 1-2-2. 自動車用照明機能概要

夜間の自動車運転時にはドライバの視界の確保及び自車の存在を知らせるため、照明機能が必要不可欠である。自動車用照明は前照灯と標識灯の2種類に大分される。前照灯は自車ドライバが道路線形の認識、及び障害物等を検出し事故を回避するため、自車の前方を照射する機能を有する。一方標識灯は周囲の交通参加者に自車の動きや存在を示す機能を有する。図 1-6, 1-7 に主な自動車用照明機能を示す。

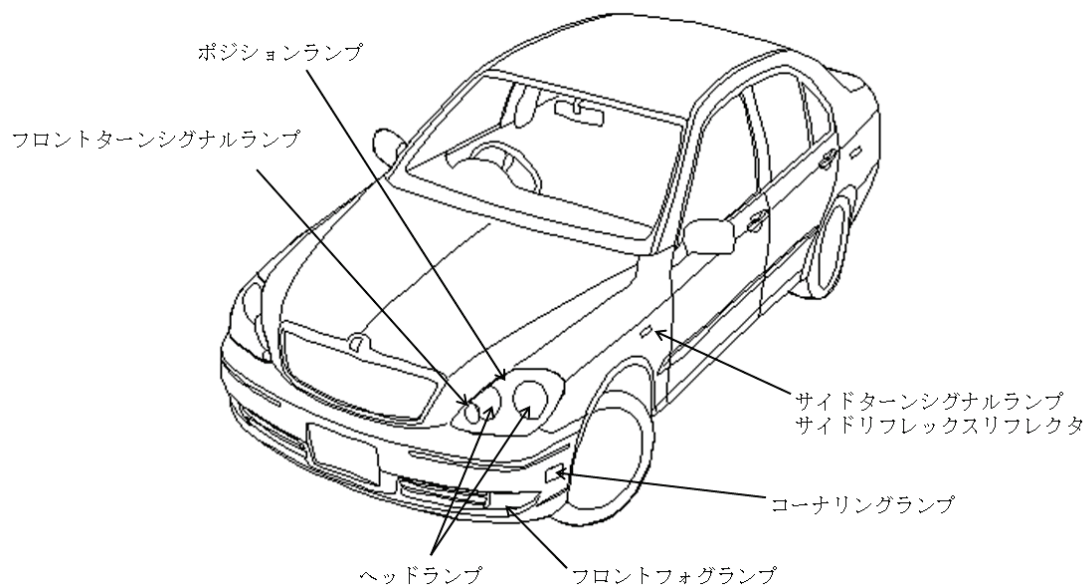


図 1-6 : 前部自動車用照明機能 (【3】より引用)

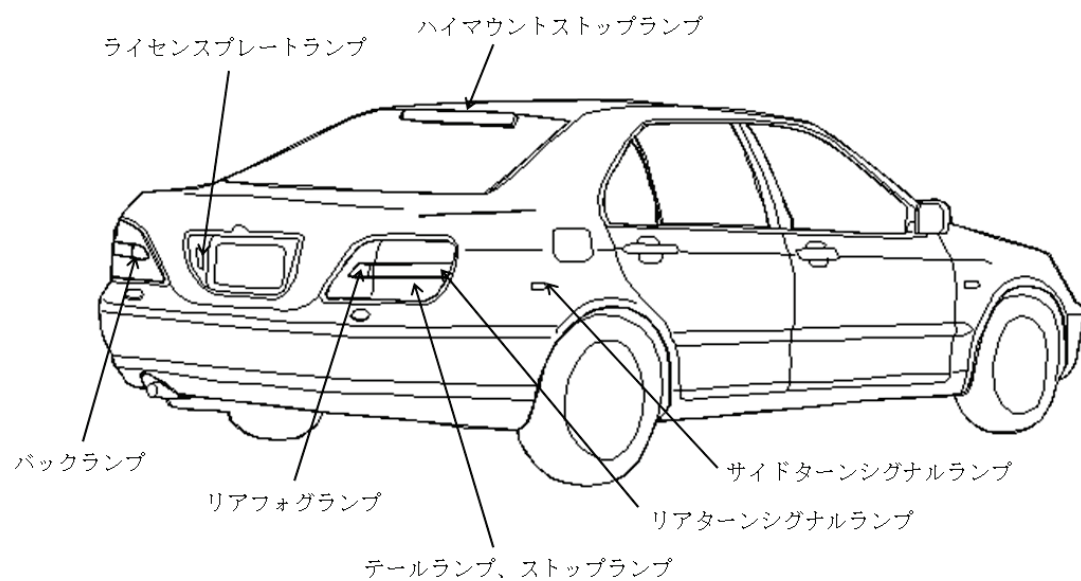


図 1-7 : 後部自動車用照明機能 (【3】より引用)

### 1-2-3. 自動車照明技術の進化

これまでの自動車照明の進化は、夜間の交通事故低減に大きく寄与している。進化の過程は光源の進化と機能の進化と大きく 2 つに分類される。

#### 自動車照明用光源の進化

図 1-8 に前照灯用光源の進化を示す。白熱灯から 1960 年代にハロゲン光源が量産された。その後 1991 年にハロゲンに対し 3 倍の輝度、2 倍の光束を有する HID (High Intensity Discharge) 光源を搭載したヘッドランプが BMW7 シリーズで量産された。またさらなる省電力化を図るため、白色 LED を搭載したヘッドランプが 2007 年に LEXUS LS で量産化された【4】。その後白色 LED の効率向上に伴う必要光源数の減少により、現在高級車から低価格車まで拡販が進んでいる。また 2015 年に白色レーザー光源を時速 70km 以上で作動する追加ハイビームランプが BMW7 シリーズに搭載された【5】。

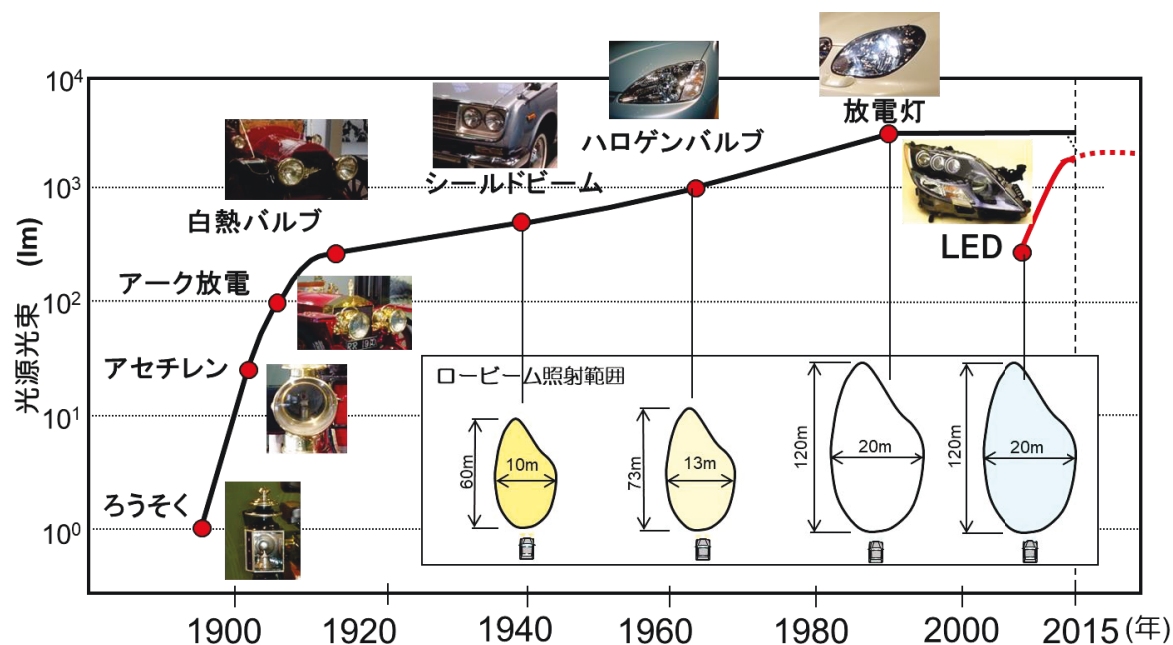


図 1-8 ; 自動車照明用光源の進化 (【6】より引用)



### 自動車照明機能の進化

光源の進化と共に、機能面でも進化をしている。従来はロービーム、ハイビームの固定配光であったが、技術の進歩に伴い国連 WP29（World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations）で可変配光が認可された。

まず、乗員の増減や荷物の有無、走行時の加減速により、車両の前後傾斜が変化した際のヘッドライトによる周囲への眩惑防止、および必要な照射範囲確保を目的に、ロービーム配光を車両の前後傾斜に応じて自動で上下に調整するオートレベリングが採用された（図 1-9）。

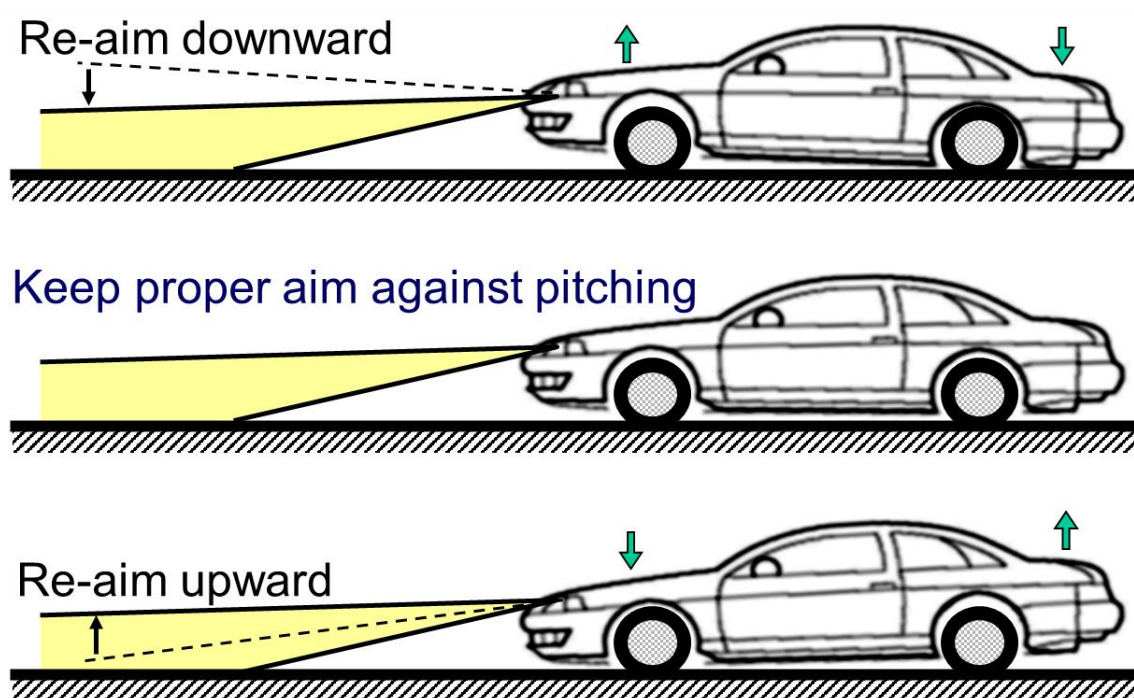


図 1-9 : オートレベリング原理図（【7】より引用）

その後 AFS（Adaptive Frontlighting System）と呼ばれるロービームの配光パターン可変機能が認可された。主に以下 4 種類の機能が認可された。

- ・ 曲路用配光（図 1-10）
- ・ 高速道路用配光（図 1-11：ML）
- ・ 雨天用配光（図 1-11：AWL）
- ・ 市街地配光（図 1-11：TL）

Tilt beam direction along  
with the road curvature

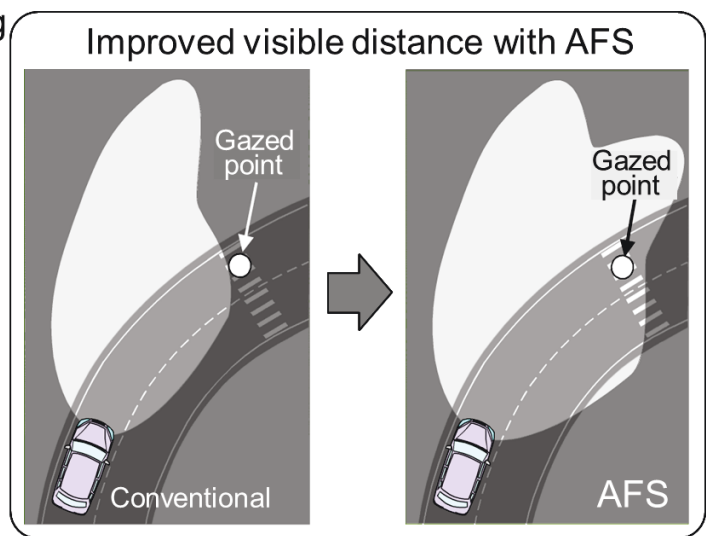
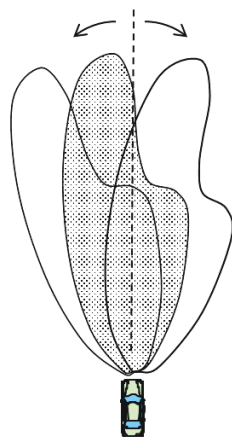


図 1-10： AFS 曲路用配光イメージ（【7】より引用）

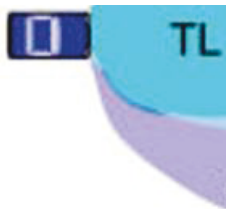


図 1-11： AFS 配光モードイメージ（【8】より引用）

ロービームの配光可変に続いて、ハイビームの配光可変技術である ADB (Adaptive Driving Beam) が認可された。ADB とは前走車や対向車など遮光すべき部分は遮光し、それ以外の領域を照射することで、先行車及び対向車のグレア（眩惑光）を抑制しつつ夜間走行時の視認性を高める技術である。

当初はプロジェクター式ヘッドランプ内部の遮光板を機械的に可動させることでハイビームの配光可変を実現した。

しかし、この方式では遮光部分が多く、視認性の向上度合いは限定的であった。そのため、多数の LED を用い、個々の LED チップの点消灯でハイビームの配光を変化させる LED アレイ式 ADB が開発された。図 1-12 に LED アレイ式 ADB の原理を示す。対向車や先行車が存在する部分を照射する LED チップを消灯させることで、機械的な遮光制御方式に比べて遮光範囲を狭小化している。

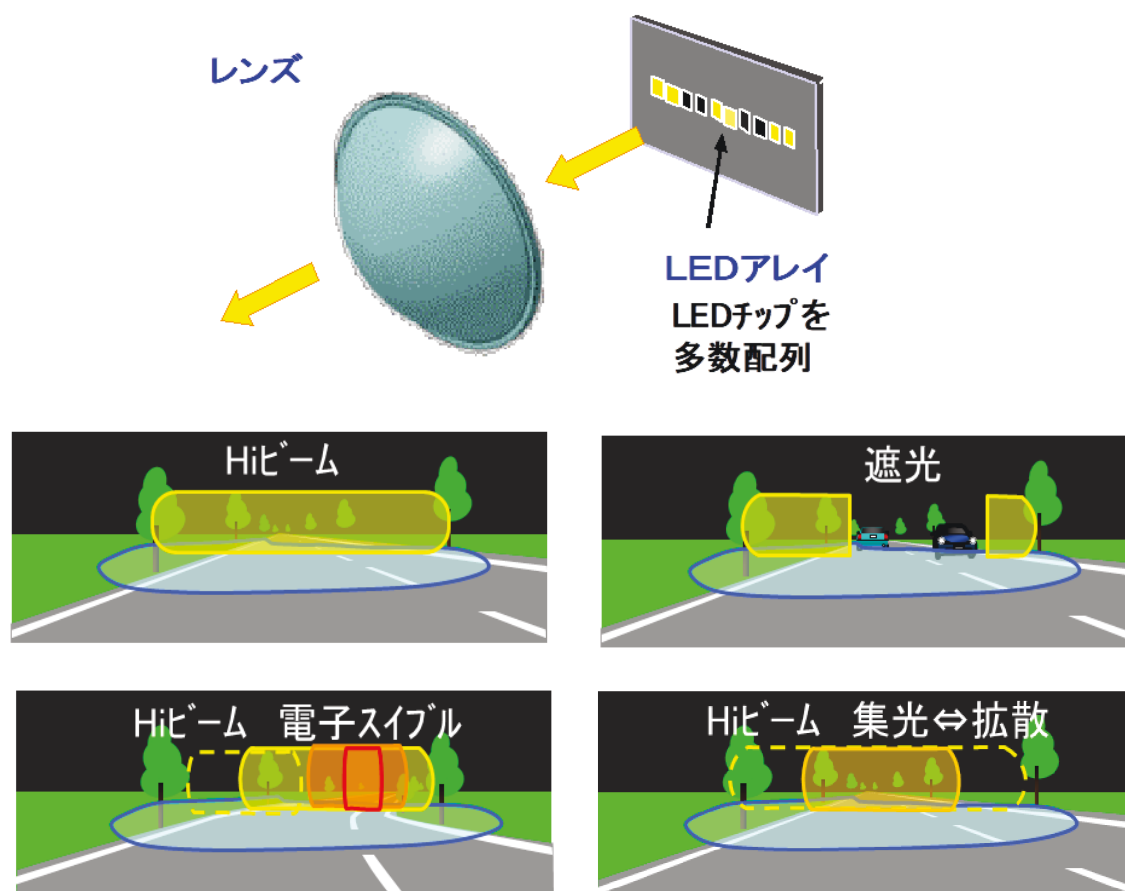


図 1-12 : LED アレイを用いた ADB 原理 (【6】より引用)

現在，世界で最も多い分割数は 1 個のユニット内に 84 個の LED チップを並べた ADB システムが量産化されている【9】．一般的に LED アレイ式は LED チップの個数が多いほど遮光幅を狭くすることが可能になるが，LED の個数を増やさず遮光幅を狭くする別の方式も考案されている．例として，数個の LED と回転ミラーを用い，LED の点消灯と，高速に回転するミラーの位置とを同期させることで，遮光部の最小化を狙った方式も考案されている(図 1-13)【10】．このように，性能の向上と共に自動車照明機能は大きく進化した．



図 1-13： スキャン式 ADB の原理図（【10】より引用）

#### 1-2-4. 自動車照明分野での人間工学的研究

自動車照明が果たすべき機能は，夜間走行時の安全性向上で，自車ドライバにとって見やすく（視対象の視認性）かつ先行車や対向車ドライバに眩しくないことに主眼を置いて研究がされていた．以下，視認性およびグレアに関するこれまでの研究事例を紹介する．

##### 視対象視認性研究

均一照明環境下における視対象の見やすさは視対象輝度  $L_o$  と背景輝度  $L_b$  を用いた輝度コントラスト  $C$  で評価される．輝度コントラスト  $C$  は式 (1-1) で定義される．

$$C = \frac{L_o - L_b}{L_b} \quad (1-1)$$

Blackwellらは均一背景条件下で背景輝度，視対象輝度，視対象サイズを変え，視対象の弁別閾値（検出できるか否かの限界値）を求めた【11】．図1-14に代表的な結果例を示す．背景輝度が上昇するほど弁別に必要な輝度コントラストが低くなっている．

しかし実際に自車ヘッドランプで照らした路面輝度は不均一であるため、単純に応用できない。そのため視対象の種類、位置に応じた視認限界距離に関する研究がこれまで行われていた【13】。

#### 自動車照明関連の色彩研究

自動車照明分野での色彩研究は主に異なる光源（色温度，分光分布）間での路面の明るさ感及び視対象の見え方に着目した研究が進んでいた。主な先行研究として白色LEDはHID（High Intensity Discharge）光源やハロゲン光源よりも路面の明るさ感が高い

【14】，高色温度LEDはその他の低色温度光源よりも標識が鮮明に見える【15】等がある。

照射色を一般的な有彩色光に拡大した場合，同輝度の有彩色光と白色光は有彩色光の方が明るく感じると言われており，この現象をHelmholtz - Kohlrausch効果と呼ぶ。つまり有彩色光の明るさを $B$ ，輝度を $L$ とした場合， $B/L$ が一定とならない。図1-15にCIE 1964 xy色度図上に $B/L$ 曲線をプロットしているが，この傾向は特に赤色及び青色光で顕著である【16】。

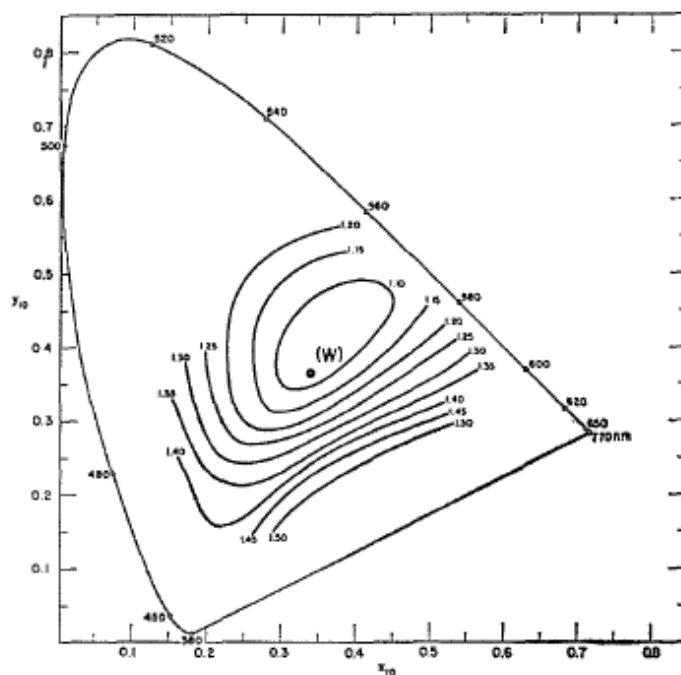


図1-15： CIE1931xy色度図上にプロットした $B/L$ 曲線【16】

また気づき易さに関しても、特に赤色光の誘目性が高い【17】，  
 呈示位置に依らず青色，赤色刺激が白色刺激よりも誘目性が高い  
 【18】という結果が示されている．

#### 自動車照明でのグレア研究

対向車ヘッドランプ光などのグレア光は視認性を低下させるだけでなく，不安感の増大を与える．グレア光には一般的に不快感を与える不快グレアと視認性を低下させる減能グレアがある．

自動車照明分野での不快グレア評価にはde Boerが採用したde Boer  
 尺度が多く用いられる（図1-16）．

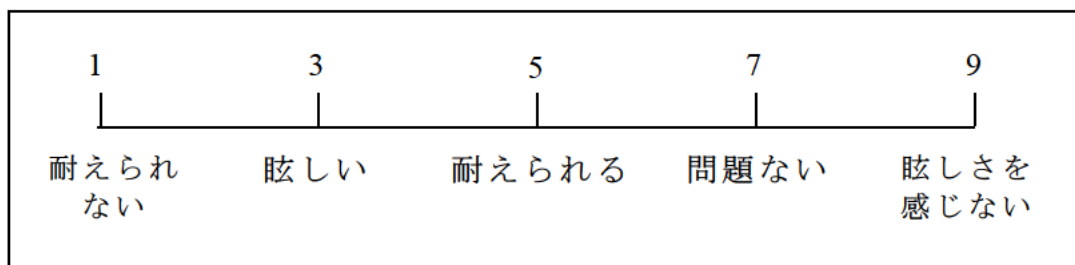


図1-16： de Boer 尺度

この尺度を表す式として，Schmidt-Clausen及びBindelが眼前照度，  
 順応輝度，光源位置（注視位置とグレア源のなす角度）を用い式  
 (1-2) で表している【19】．

$$W = 5 - 2 \cdot \log \sum_{i=1}^n \frac{E_{Bi}}{C_{poo} \left[ 1 + \sqrt{\frac{L_u}{C_{pL}}} \right] \theta^{0.46}} \quad (1-2)$$

ただし， $E_{Bi}$ ：眼前照度

$L_u$ ：順応輝度

$C_{poo}$ ：  $3.0 \times 10^{-3}$  (定数)

$C_{pL}$ ：  $4.0 \times 10^{-2}$  (定数)

$\theta$ ：視線とグレア源（路面描画）のなす角度 (min)

減能グレアは、グレア源からの光が眼球内で散乱し、視野内に光の幕ができることで視認性が低下する．この光の幕を等価光幕輝度と呼ぶ．これまで複数の研究者の研究で、等価光幕輝度 $L_{veil}(cd/m^2)$ は、眼前照度 $E(lx)$  に比例し、グレア源と視線のなす角度 $\theta$  のべき乗に反比例する式を用い式(1-3)で表される．

$$L_{veil} = k \cdot \frac{E}{\theta^n} \quad (1-3)$$

CIE（Commission internationale de l'éclairage, 和名：国際照明委員会）ではStiles & Crawford の研究結果【20】を基に、 $k = 10, n = 2$ を用いることで合意されている【21】．

ただし上記理論は視対象が視野中心にある場合を想定していて、夜間自動車走行時は視対象及びグレア源共に周辺視野に存在する場合が多い．この条件での等価光幕輝度に関する研究が現在進んでいる【22】．



### 1-2-5. 今後期待される自動車照明機能

今後自動車技術は手動運転から自動運転への移行，加えて”CASE” (Connected, Autonomous / Automated, Shared, Electric)の進展に伴いモビリティの形態が大きく変化すると予想される．

自動車照明機能も ”CASE” の進展に併せて，従来の光源や光学系の進化による従来の視認性向上に加え，ドライバへの車両情報や警告情報を表示する運転支援機能，及び他の交通参加者への車両が意思を伝達する高度なコミュニケーション機能（Connected に相当）が加わると考えられる．具体的には表 1-1 に示す路面描画や車体表示などコミュニケーションランプが各社で検討されていて，現在法制化活動が進んでいる．

表1-1： 自動運転表示，コミュニケーションランプ各方式  
（【23】より引用）

機能 表示位置	路面描画		車体表示	
	自車前方	車両近傍	自動運転（AV） 表示灯	車体ディスプレイ 表示
イメージ				
対象	自車ドライバ向け	車両周囲の交通参加者向け		
目的	自車ドライバ 運転支援	車両の動き の予告	自動運転モード 表示	車両状態・ 道路環境表示
法制化	2019年GTB承認 GRE審議中	GTB審議中	SAEで制定	具体的な動き無し

※ GTB：Groupe de Travail "Bruxelles 1952"，和名ブラッセル作業部会．  
法規草案を提案する NPO（業界）団体．

※ GRE：(Working Party on Lighting and Light-Signaling，国連内の  
WP29：World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations に設置  
された自動車用ランプの法制化を協議する専門部会)

※ SAE: Society of Automotive Engineers (米国自動車技術者協会)

各方式で用途が異なり，有効性検証など多くの研究が行われている．各方式の既往研究は以下の通りである．

#### 【路面描画】

##### <有効性検証>

- ・ 路面に速度警告表示をすることでブレーキ反応時間が速くなる【24】
- ・ 工事現場で進行方向を誘導する描画を路面に照射することで，ステアリング操作が安定する【25】
- ・ 路面描画により障害物への制動反応時間が短縮する【26】

##### <他車に与える影響の有無確認>

- ・ 並走車両の路面描画により，自車運転中の注視行動に影響を及ぼさない【27】
- ・ 路面湿潤時，ロービームに路面描画を追加照射しても対向車グレアは増加しない【28】

#### 【自動運転表示灯】

- ・ 米国でSAE J3134が2019年に制定された【29】
- ・ 自動運転表示灯の有用性を示す【30】

#### 【車体ディスプレイ表示】

- ・ 30種類のイメージの印象評価を行い，静止画より動的なアニメーション表示が好まれる【31】

これら 4 方式の中で，路面描画ランプは最も早く日本国内市場への投入が予想される．図 1-17 に路面描画ランプの市場予測を示すが，日本国内では 2024 年から市場投入され，2030 年には 530 千台まで搭載車両が増加すると予想されている【32】．

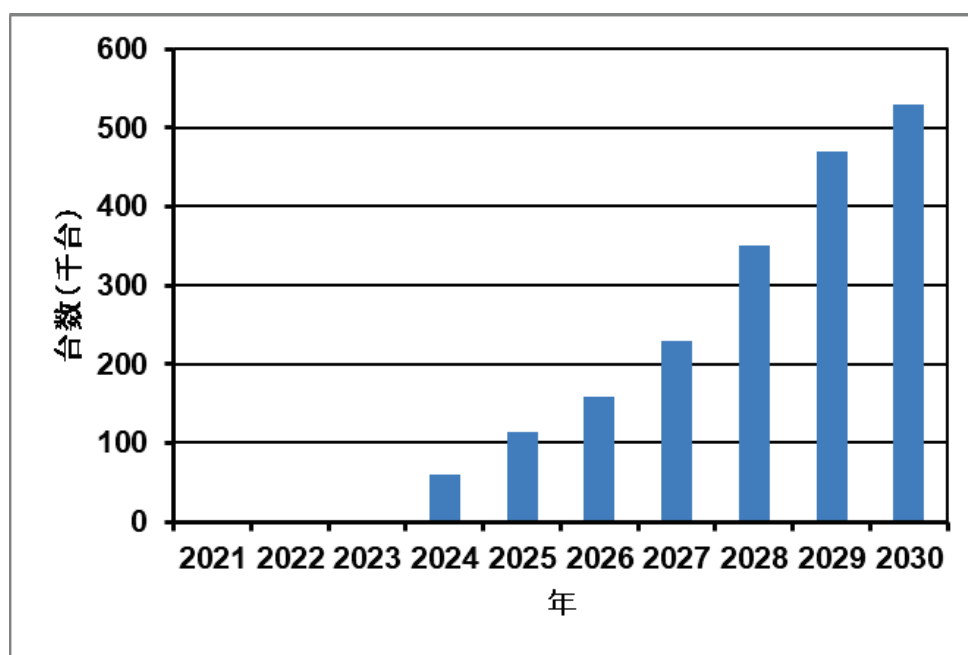


図 1-17： 路面描画ランプ搭載車両台数予測（【32】より引用）

### 1-3. 本研究の目的

1-2-5 節で示した，次世代の自動車照明技術に対し，1-2-1 節で示した対歩行者の交通事故低減につながる技術は車両近傍を照射する路面描画技術となる．しかし当該技術に対し交通事故低減につながる，歩行者が気づくために必要な明るさ，点灯方法，点灯位置，形状，及び背反等は明らかにされていない．

本論文では歩行者にとって車両の接近，存在に気づくために必要な路面描画ランプの性能について，研究対象者による視覚的検出及び印象評価から明らかにすることを目的としている．

また路面描画を点灯することで誘発される課題として「グレア（眩惑光）の増大」，「路面描画ランプを装着した車両と非装着車両混在時における誤認」，「複数の路面描画混在時の判別」等が挙げられる．この中でも想定した位置の研究対象者に対し，路面描画に気づかせるために必要な明るさを与え，かつグレアが無いことが重要であるため，車両周囲の交通参加者に対するグレア有無を明らかにする．

## 1-4. 本論文の構成

表 1-2 に本論文の構成を示す．

表 1-2： 本論文の構成

章	題目	評価パラメータ			
		形状	点灯方法	色	視覚負荷
1	序論				
2	形状別に必要な路面描画ランプの性能とグレア検証	○		○	○
3	点灯方法別に必要な路面描画ランプの性能		○	○	○
4	結言				

2 章では，交差点右左折時に作動するターンシグナルランプ用路面描画配光を素材に，特に形状の違い，環境照度の違い，研究対象者への負荷（タスク）の違いに着目し，必要な性能を明らかにした．また代表的な背反事項であるグレア（眩惑）光に着目し，想定される 1 シーンでのグレア有無を明らかにした．

3 章では，車両後退時に作動する車両後退用路面描画配光を素材に，特に点灯方法の違い，環境照度の違い，研究対象者への視覚負荷（タスク）の違いに着目し，必要な性能を明らかにした．また 2 章結果と併せて，照射色の違いによる影響についても考察した．

4 章で結果の総括及び今後の展望について述べる．

# 第 2 章

## 形状別に必要な 路面描画ランプの性能 とグレア検証

ターンシグナルランプと連動する  
路面描画ランプ

## 2-1. はじめに

ターンシグナルランプ（方向指示器）は周囲に対し自車が交差点での右左折や車線変更などの意思を示すために用いられる。このターンシグナルランプが作動する環境である交差点付近での交通事故データを調査した。

ITARDA（Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis:公益財団法人交通事故総合分析センター）が発行した 2019 年の交通統計によると、全事故件数 430601 件中交差点での事故は 232883 件と全体の約 54%を占めている【33】。

交差点でターンシグナルランプを作動させる車両右左折時に発生する事故は、右折が対歩行者・対二輪車との事故が多いのに対し、左折では対自転車の事故割合が右折より多くなることが報告されている【34】。具体的には、自転車との出会い頭事故（図 2-1）【35】及びトラック等が自転車などを巻き込む事故（表 2-1）が事故事例として多く報告されている【36】。

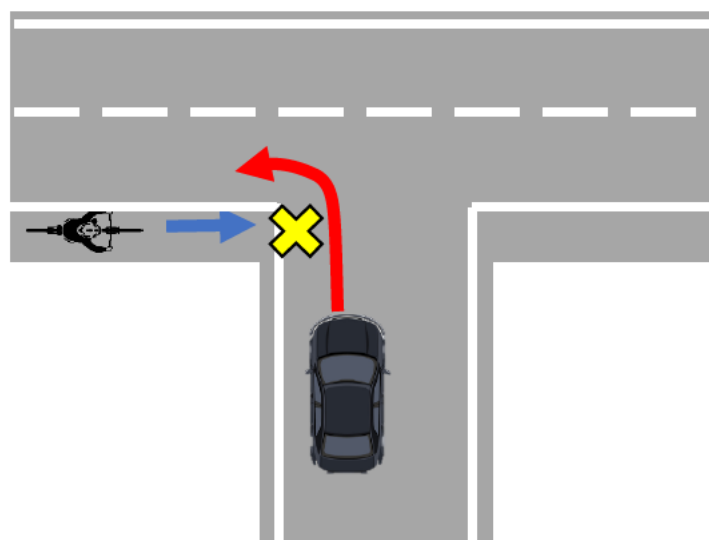


図 2-1： 交差点車両左折時の対自転車出会い頭事故イメージ

表 2-1： 平成 27 年に発生した事業用トラックが第 1 当事者となる 交差点での対歩行者・自転車の死亡事故データ

	左折	右折
歩行者	5 件	21 件
自転車	24 件	2 件

また海外での交通事故統計としてドイツの交通事故統計を調査したところ、交差点で車両右左折時に発生する車両対自転車の交通事故は、右折時（日本の左折時に相当）が 63%に対し左折時が 37%という結果が示されている【37】。

上記に示す通り、特にトラック等の左折時に発生する交通事故は重大事故となるケースが多い。これまでの対策として任意ではあるがトラックに左折することを音声で伝える警報装置を取り付けがされている。また今後車両総重量 8t 超の貨物自動車並びに牽引自動車に対し、左側（左側通行国）方向の自転車を検知し衝突の可能性がある場合、ドライバーに対し視覚・聴覚により通知・警報するシステムである Blind Spot Information System (BSIS: 和名・側方衝突警報装置) に関する法規が 2019 年 11 月 15 日付で発効（UN 法規 Reg.151【38】）、日本国内では 2022 年 5 月以降の新型車には搭載の義務付けがされる。このように法規面からも交通事故低減に向けた取り組みが進んでいる。しかし交通事故ゼロの実現に向けて、これら安全装置に加えて更なる安全機能の装備による安全性向上が望まれる。特に周囲の交通参加者が聴覚障害者の場合、音声での警告伝達は難しい。このような場合に光を用いた周囲の交通参加者への伝達する手段として路面描画ランプが有望と考える。

そこで車両が交差点右左折時にターンシグナルランプと連動して点灯する路面描画が、周囲の交通参加者に対しどのような位置に照射するのか検討した。図 2-2 にイメージを示すが、右折は事故の当事者となり得る交通参加者にとって路面描画の点灯エリアからやや遠く、ターンシグナルランプの発光面が比較的容易に視認可能であるのに



対し，左折時は交通参加者の近くを照射することができ，壁等で遮蔽された場合発光面が視認しづらく車両の接近に気づかない可能性がある．

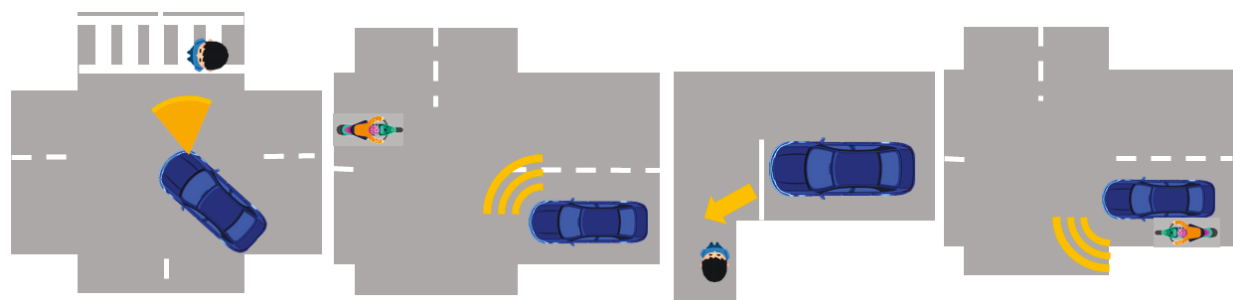


図 2-2： 交差点右左折時に想定される，路面描画照射位置

上記理由から車両が交差点左折時の巻き込み事故及び出会い頭事故を想定し，路面描画ランプの必要性能を求める実験を行った．

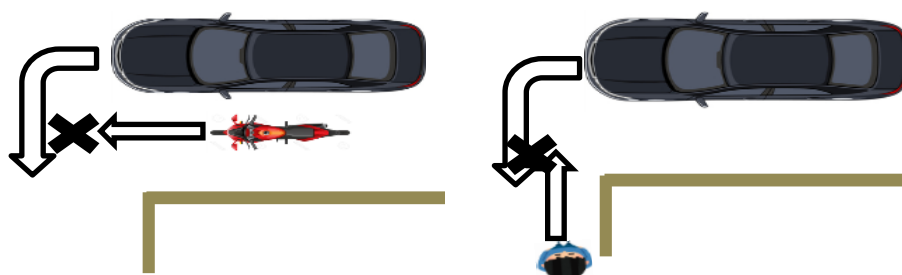
## 2-2. 現状把握実験方法

### 2-2-1 想定シーン

現状を把握するため，交通参加者が交差点右左折時に使用しているターンシグナルランプの点灯に気付くことができるか確認する実験を行なった．想定したシーンはターンシグナルランプが死角となっていて見えにくい，図 2-3 に示した 2 種類（図 2-3）

シーン A：車両左折時の二輪車の巻き込み事故

シーン B：車両左折時，歩行者・二輪車との出会い頭衝突事故とした．



シーン A：左折巻き込み

シーン B：交差点出会い頭

図 2-3： 車両左折時の想定事故シーン

### 2-2-2. 既存ターンシグナルランプ検出実験方法

#### a. レイアウト

本実験は（株）小糸製作所静岡工場内で実施した．

シーン A ではバイク運転者の目線（ドアミラー横，車両左端から 1m，8m 前方の赤色 LED 注視）で，シーン B では交差点左側の歩行者（脇見を想定し，手元の画面を注視させた状態，車両から 5m 左位置）が，停止状態の車両（Lexus GS）のターンシグナルランプを点灯させた時，各シーンの研究対象者がターンシグナルランプの点灯に気づくかどうかを調べた．

b. 研究対象者

研究対象者数はシーン A：15 名，シーン B：14 名であった．  
研究対象者の年齢は 25～59 歳のうち女性は 3 名であった．表 2-2 に  
年齢層人数をシーン別に示す．

表 2-2： 年齢層別研究対象者人数（カッコ内は女性人数）

	20 代	30 代	40 代	50 代
シーン A	7 (3)	4	2	2
シーン B	6 (3)	4	2	2

c. 環境照度と試行回数

環境照度は薄明視環境下から夜間を想定し，以下の 4 条件を設定し  
た．

- ① 800lx （日没 10 分前を想定）
- ② 100lx （日没 10 分後を想定）
- ③ 50lx （夜間・明るい道路照明下の交差点を想定）
- ④ 10lx （夜間・暗い道路照明下の交差点を想定）

また各条件での試行回数は研究対象者人当たり 1 回であった．  
各シーンでの実験条件一覧を表 2-3 にまとめた．

表 2-3： 既存ターンシグナルランプ検出実験条件

シーン	シーン A	シーン B
研究対象者	15 人	14 人
注視点	8m 前方の 赤色 LED	手元の画面 (スマートフォンを使用)
環境照度	800lx, 100lx, 50lx, 10lx	

## 2-3. 現状把握実験結果

表 2-4 に環境照度別での既存ターンシグナルランプの検出率結果を示す．シーン A（左折巻き込み事故）では環境照度 800lx で，シーン B（左折出会い頭事故）では環境照度 100lx 以上で，研究対象者がターンシグナルランプの点灯に気づかないことが分かる．ターンシグナルランプのみで気づきにくい環境では，所望の路面描画を照射することで，車両の接近を気づかせることができる可能性がある．

表 2-4： 既存ターンシグナルランプ検出率結果

環境照度 シーン	800lx	100lx	50lx	10lx
シーン A 左折巻き込み	0%	80%	100%	100%
シーン B 出会い頭	0%	21%	100%	100%

## 2-4. 路面描画検出実験方法

### 2-4-1. レイアウトと使用機材

#### a. レイアウト

路面描画検出実験も予備実験と同様に（株）小糸製作所静岡工場内で行った．

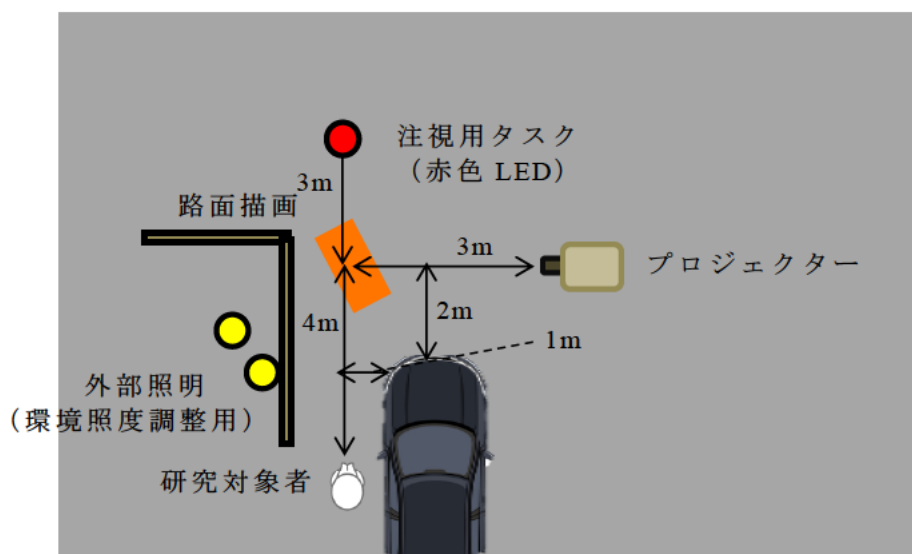
今回想定した事故発生シーンは 2-2 節，図 2-3 と同じ 2 種類

シーン A：車両左折時の二輪車の巻き込み事故

シーン B：車両左折時，スマートフォンを注視する等，脇見をした歩行者・二輪車との出会い頭衝突事故

とした．

これらの事故を想定し，左折巻き込み事故は図 2-4，交差点出会い頭事故では図 2-5 に示す実験レイアウトで，複数の環境照度および路面描画の輝度コントラストを変えて検出実験を行った．研究対象者から既存のターンシグナルランプが視認できないよう，シーン A ではドアミラー横，シーン B では壁により遮蔽をした．図 2-6 にシーン A，図 2-7 にシーン B の研究対象者位置から見た路面描画の呈示状況を示す．



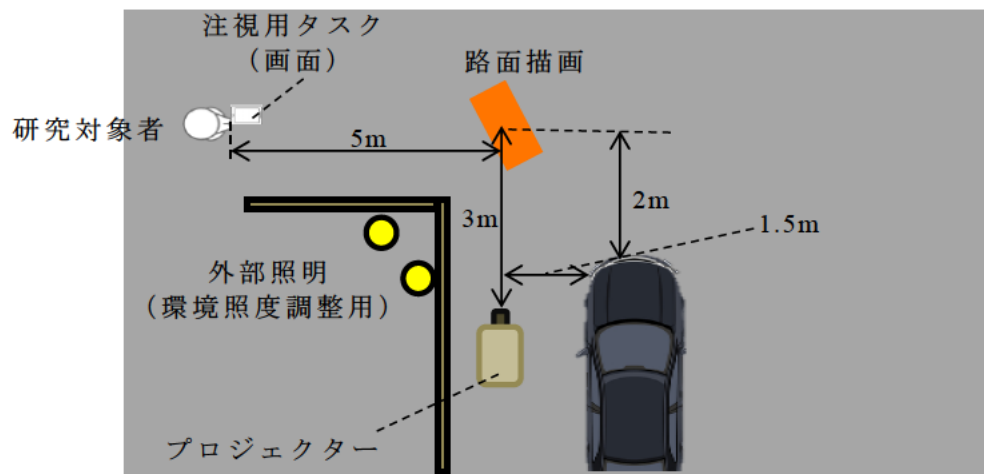


図 2-5：シーン B 実験レイアウト



図 2-6：シーン A，研究対象者視点からの路面描画・タスクの見え方



図 2-7：シーン B，研究対象者視点からの路面描画・タスクの見え方

#### b. 使用機材

本実験では路面に描画パターンを投影するためにプロジェクター (CANON WUX6501, アンバー色での最大光度：10,330cd, 色度は, CIE 1931xy 色度座標で(Cx, Cy) = (0.558, 0.419))を用いた. 停止状態の車両 (Lexus GS) の前照灯を点灯した状態で路面描画を呈示した. また研究対象者に想定したシーンに基づいて, 視線を固定するタスクを設けた. シーン A では, バイク運転者を想定した研究対象者の前方 8m に置いてあるタスク光源 (赤色 LED) の点滅回数を数えるように指示し, これに注視させた状態で路面描画を呈示した. シーン B では, 脇見の歩行者, 二輪運転者を想定し, 研究対象者の手元に画面 (今回はスマートフォンを使用) を設置し注視させた状態で, シーン A と同様に路面描画を呈示した. 画面の平均輝度は  $10.9\text{cd/m}^2$  で, この時の眼前照度の平均値は  $0.9\text{lx}$  であった.

また, シーン A, B 各々の実験で外部照明 (ハヤタ電気工業製, 光源白色 LED) を設置し日没前～夜間の環境照度を再現した.

さらに路面描画呈示時に研究対象者の気づきを計測するため, 反応計測装置 (BIOPAC systems 社製 TSD116A) を用いた.

## 2-4-2. 実験条件

日没前から夜間の環境照度で，路面描画の輝度コントラスト及び形状を変化させた時の，路面描画の検出実験を行った．実験条件は以下の通りである．

### a. 路面描画パターン

本実験では路面描画パターンとして下記を用意した．

- ・形状：長方形と山型の２種類（図 2-8 参照，形状決定の過程については次頁で後述する）
- ・描画サイズ：長手方向 1.25m×短手方向 0.55m，  
車両に対し 30deg 左に傾けている．
- ・照射色：アンバー，CIE 1931xy 色度座標は， $(C_x, C_y) = (0.558, 0.419)$ ，UN 法規で規定されたアンバー色範囲よりやや白色側に外れている，図 2-9 参照）

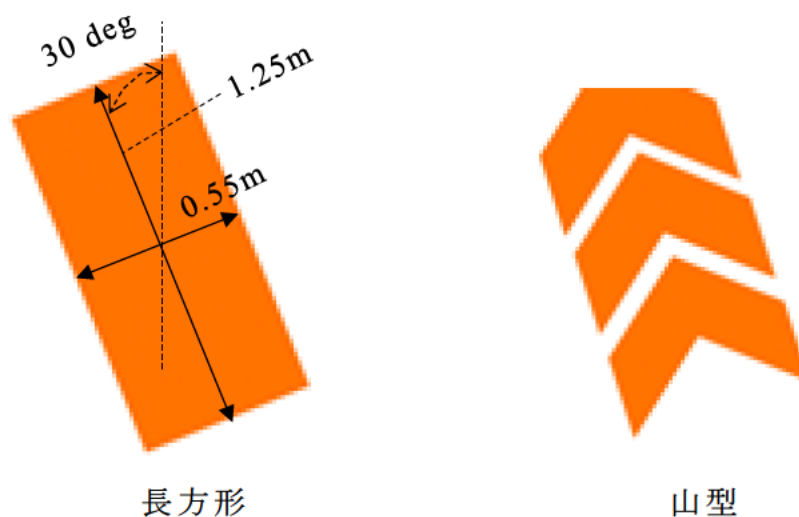


図 2-8：実験で用いた路面描画形状



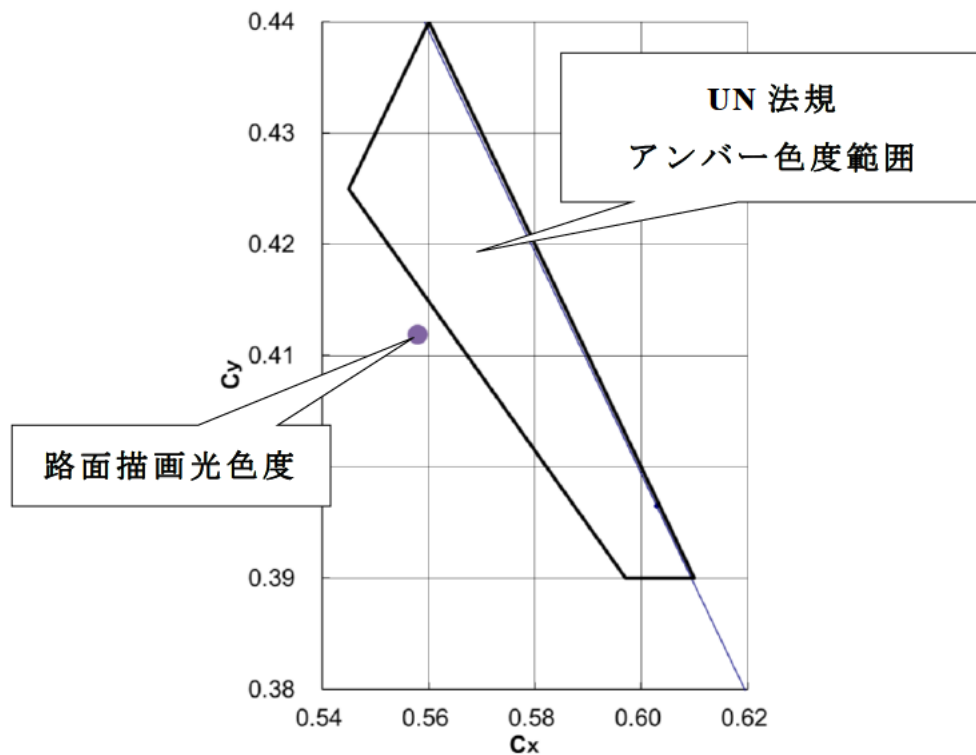


図 2-9： 路面描画光 xy 色度データ

※形状決定のための予備実験について

図 2-10 に示す 6 種類の形状から、図 2-11 に示す左折巻き込みを想定したレイアウトで研究対象者 27 人に対し、一対比較法（浦の変法）による官能評価を実施した。結果を図 2-12 に示す。E の評価が最も高く、次いで C、D（図 2-8 山型に相当）であった。この結果の一元配置分散分析を実施した結果は  $F(5, 804) = 628.5, p < 0.001$  であった。サンプル間の有意差を調べるために有意水準 5% のヤードスティック値でサンプル間の有意差検定を行った結果、最も評価が高い E と 2 番の評価 C の間は 5% の有意差が認められた。

しかし車両に対し交差点の左から接近する歩行者から見た場合、C は矢印の笠の部分がつぶれて矢印と認識し難い、壁等に遮蔽されて矢印に見えない場合がある（図 2-13）、E も交差点の形状等では車両の進行方向と矢印の向きが一致しない可能性があるこ

とから，本実験では D を選択した．また官能評価結果は低いものの，基本の描画形状として A（長方形）を選択した．







名称	A	B	C
形状			
名称	D	E	F
形状			

図 2-10： 予備実験で使⽤した 6 種類の路面描画形状

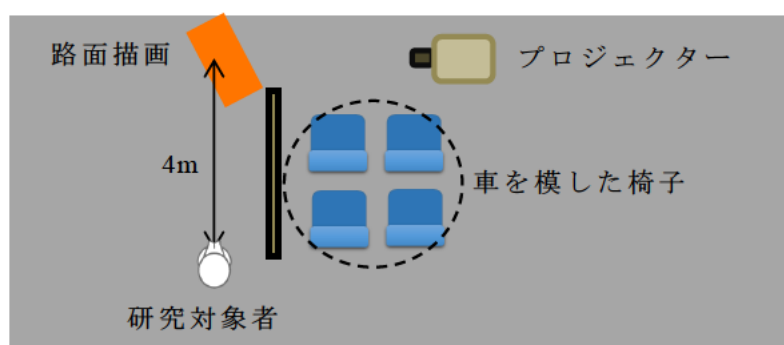


図 2-11： 予備実験レイアウト



図 2-12： 各描画形状の嗜好度及びサンプル間有意差検定結果



図 2-13： 壁で遮蔽され，矢印と認識し難い路面描画

*b. 環境照度，路面描画設定条件*

以下，環境照度及び路面描画の設定条件を示す．

- ・ 環境照度：800lx，100lx，50lx，10lx の 4 種類（2-2 節予備実験と同条件）
- ・ 描画点滅周波数：1Hz<sup>※</sup>，Duty 比 50%

※ ターンシグナルランプの点灯周波数は，UN 法規 Reg.48，6.5.9 節に，1 分間に  $90 \pm 30$  回点滅する点滅灯と規定されている【39】．また Masuda らが行った点滅周波数の違いによる路面描画気づき易さ評価によると，1~4Hz の間で気づき易さに違いはないという報告があり【40】，本実験では点滅周波数を 1Hz の 1 種類のみ採用した．

- ・ 路面輝度：描画輝度  $L_o$  と背景輝度  $L_b$  は図 2-14 に示す領域の平均輝度とした．

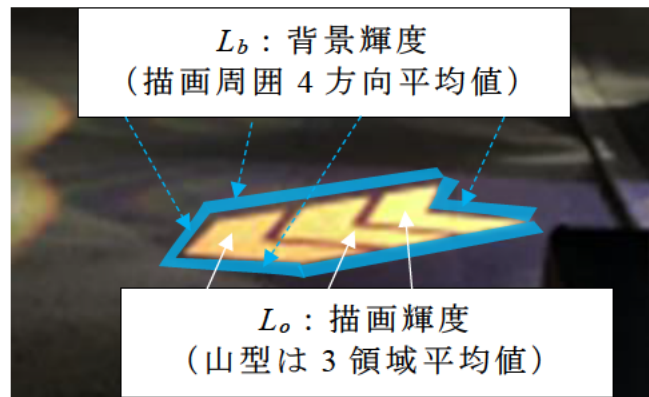


図 2-14 : 描画輝度領域と背景輝度領域の定義

各環境照度での描画輝度 ( $L_o$ ) と背景輝度 ( $L_b$ ) の値を表 2-5 に示す.

表 2-5 : 本実験で用いた描画輝度及び背景輝度一覧

シーン	照度	位置	輝度値 ( $\text{cd/m}^2$ )				
シーン A	800lx	$L_b$	18.3	18.5	19.0	19.4	20.6
		$L_o$	17.0	17.0	17.1	17.0	17.0
	100lx	$L_b$	2.67	2.73	3.01	3.16	3.66
		$L_o$	2.41	2.39	2.43	2.49	2.57
	50lx	$L_b$	1.37	1.38	1.42	1.46	1.78
		$L_o$	1.29	1.28	1.29	1.28	1.32
	10lx	$L_b$	0.33	0.34	0.35	0.36	0.55
		$L_o$	0.30	0.31	0.31	0.31	0.32
シーン B	800lx	$L_b$	19.8	20.4	21.5	22.1	25.0
		$L_o$	18.3	18.2	18.1	18.3	18.5
	100lx	$L_b$	2.77	3.06	3.60	4.18	5.38
		$L_o$	2.46	2.48	2.48	2.47	2.50
	50lx	$L_b$	1.35	1.45	1.75	2.28	2.90
		$L_o$	1.16	1.17	1.19	1.18	1.20
	10lx	$L_b$	0.31	0.52	0.78	1.34	1.97
		$L_o$	0.27	0.27	0.28	0.29	0.29

表 2-5 から得られる輝度コントラスト  $C$  を表 2-6 に示す．輝度コントラスト  $C$  は描画輝度  $L_o$  及び背景輝  $L_b$  を用い，1-1-4 節で示した式(1-1) から得られる．

$$C = \frac{L_o - L_b}{L_b} \quad (1-1)$$

表 2-6： 実験で用いた輝度コントラスト一覧

シーン	照度	輝度コントラスト				
シーン A	800lx	0.08	0.09	0.11	0.14	0.21
	100lx	0.11	0.14	0.24	0.27	0.43
	50lx	0.06	0.07	0.11	0.13	0.35
	10lx	0.08	0.11	0.14	0.16	0.72
シーン B	800lx	0.08	0.11	0.18	0.22	0.35
	100lx	0.13	0.23	0.45	0.69	1.15
	50lx	0.16	0.24	0.47	0.92	1.43
	10lx	0.20	0.98	1.91	3.79	5.71

### c. 研究対象者

研究対象者は視力 0.7 以上を有する 25 歳～59 歳の 16 名（男性 13 名，女性 3 名），年齢層別人数は，20 代 6 名（うち女性 3 名），30 代 4 名，40 代 2 名，50 代 4 名であった．

### 2-4-3. 実験手順

環境照度，タスク及び路面描画形状を変えて，研究対象者が路面描画の気づきに必要な輝度コントラストを求める．実験手順は以下の通りである．

- 1 所定の環境照度に調整後，研究対象者が所定の位置に立ちにスイッチを持つ．
- 2 研究対象者はタスク（シーン A：正面の赤色 LED，シーン B：手元の画面）を注視する．
- 3 描画を投影し，描画に気づいた場合にスイッチを押す
- 4 描画は点灯から 5 秒後に消える．
- 5 描画の輝度コントラスト，描画形状，環境照度を変えて，研究対象者 1 人当たり各シーン 20 条件の評価を行う．

## 2-5. 路面描画実験結果

各実験シーン別，路面描画形状別に路面描画の輝度コントラストと検出率結果を示す．図 2-15 に結果例を示す．横軸は路面描画の輝度コントラスト，縦軸は路面描画を検出できた研究対象者の割合でここでは検出率と称する．これら結果は全て Microsoft Excel による近似曲線で結んでいる．

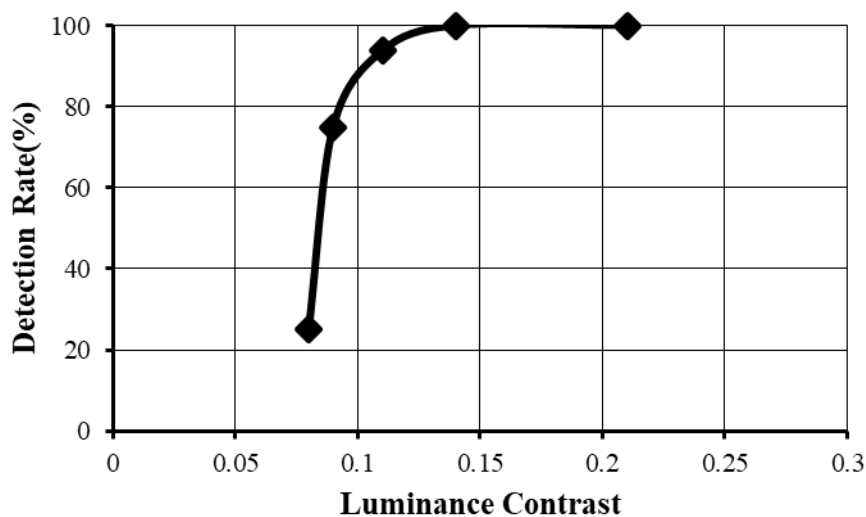


図 2-15 : 路面描画検出率結果例

### 2-5-1. シーン A（左折巻き込みレイアウト）結果

図 2-16 と図 2-17 に路面描画の輝度コントラストと検出率（全ての研究対象者に対する描画を検出できた人数の割合）に関する結果を示す．図 2-16 に形状が長方形，図 2-17 に形状：山型の結果をそれぞれ示す．

表 2-7 に検出した平均輝度コントラストと標準偏差を示す．両形状の結果から，いずれの環境照度でも，輝度コントラスト 0.15 以上で検出率が 100%に達していた．

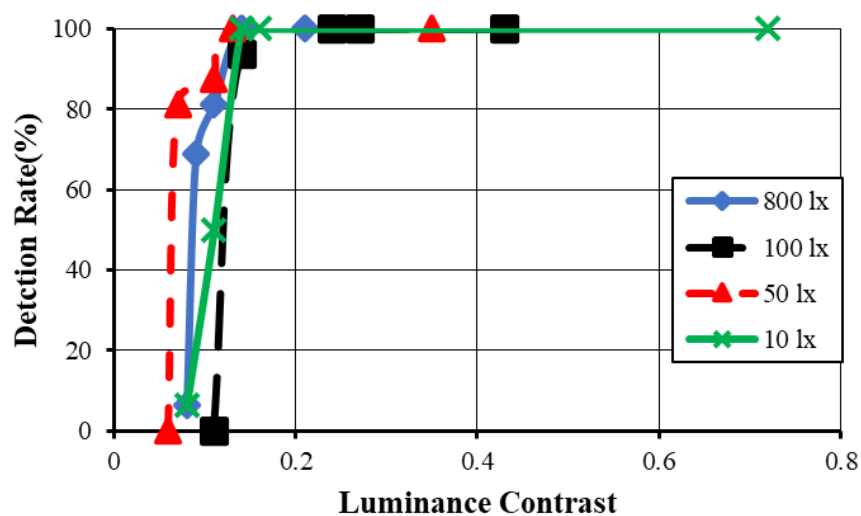


図 2-16： 形状：長方形での路面描画検出率結果

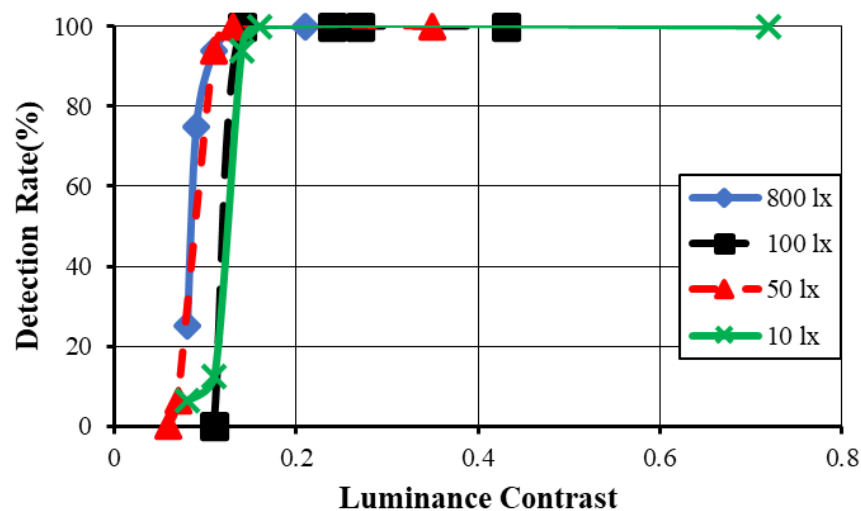


図 2-17： 形状：山型での路面描画検出率結果

表 2-7： シーン A での環境照度別，路面描画平均検出輝度コントラスト標準偏差

形状	項目	環境照度			
		800lx	100lx	50lx	10lx
長方形	平均輝度コントラスト	0.101	0.146	0.105	0.123
	標準偏差	0.021	0.025	0.019	0.019
山型	平均輝度コントラスト	0.094	0.140	0.109	0.136
	標準偏差	0.016	0.000	0.011	0.018



## 2-5-2. シーン B（出会い頭レイアウト）結果

図 2-18 と図 2-19 に輝度コントラストと検出率（全研究対象者に対する路面描画を検出できた人数の割合）に関する結果を示す．図 2-17 に形状が長方形，図 2-18 に形状が山型の結果をそれぞれ示す．

表 2-8 に検出した平均輝度コントラストと標準偏差を示す．2-5-1 節で示したシーン A（左折巻き込み，正面注視）での結果は環境照度の違いが路面描画の検出に必要な輝度コントラストに大きく影響をしていないのに対し，シーン B（出会い頭，脇見）では環境照度が低いほど路面描画の検出に必要な輝度コントラストが高くなった．

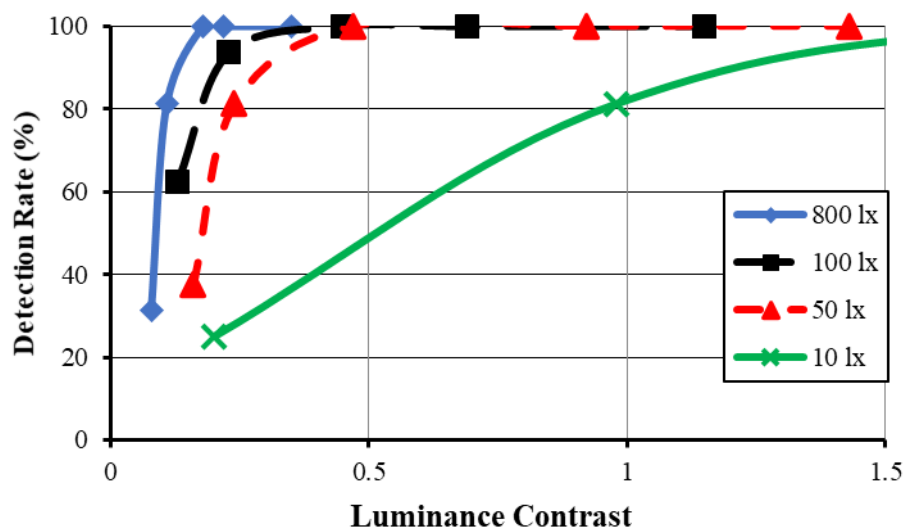


図 2-18： 形状：長方形での路面描画検出率結果

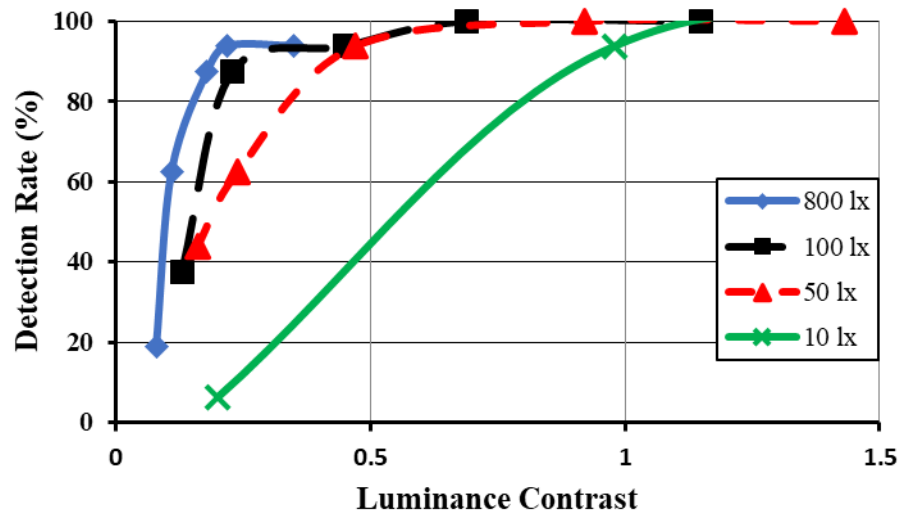


図 2-19： 形状：山型での路面描画検出率結果

表 2-8： シーン B での環境照度別，路面描画平均検出  
輝度コントラスト標準偏差

形状	項目	環境照度			
		800lx	100lx	50lx	10lx
長方形	平均輝度コントラスト	0.114	0.181	0.253	0.911
	標準偏差	0.036	0.086	0.110	0.609
山型	平均輝度コントラスト	0.135※	0.357	0.319	0.989
	標準偏差	0.05	0.143	0.211	0.313

※ 山型，800lx では 1 名の研究対象者が描画を検出できなかったため， $n = 15$  のデータ

## 2-6. 背反（グレア）実験方法

路面描画に必要な性能は，周囲の交通参加者が気づくために必要な明るさを与えるだけでなく，強い明るさによって発生する眩惑光（以下グレア光）を周囲の交通参加者に与えてはならない．グレア光は交通参加者に視認性の低下を与える要因となることから路面描画ランプのグレア光評価実験も同様に行った．グレア光は特定方向だけでなく様々な方向に影響を与えるが，本研究では路面描画の検出に必要な輝度コントラストが高くなるシーンBにおいて，同レベル以上の輝度を有する路面描画輝度を呈示することでグレアを与えないか実験を行った．

### 2-6-1. 実験レイアウト

図2-20に実験レイアウトを示す．図2-21に昼間時での研究対象者の視点からの実験風景を示す．当該実験は，路面描画検出実験と同じ場所で行った．一般的にまぶしく感じやすい環境は，順応輝度が低く視野内に高輝度部が存在する場合である．そのため当該実験は，外部照明を点灯せず，かつ研究対象者が画面の注視をしない条件とし，研究対象者は前方30m付近の生垣または壁（平均輝度 $0.1 \text{ cd/m}^2$ ）を注視させた状態で評価を行った．

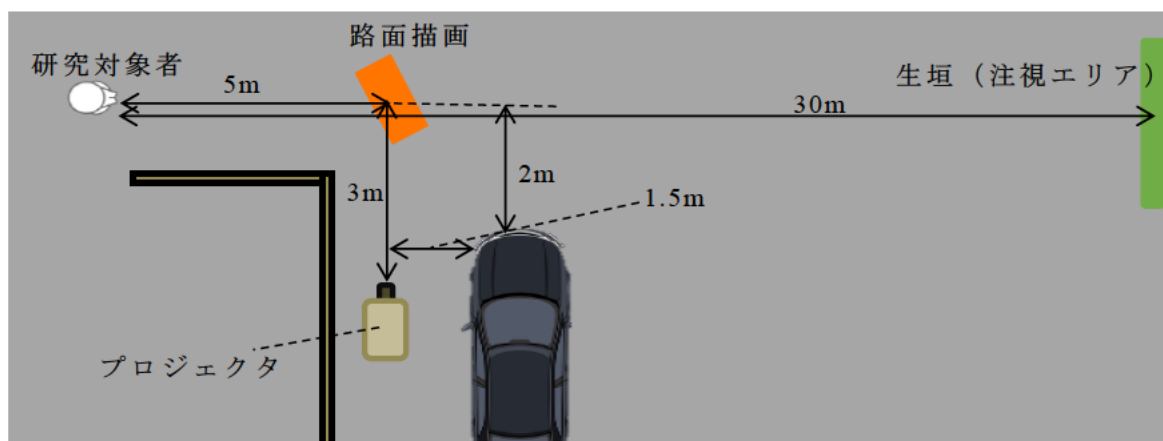


図2-20： 実験レイアウト



図2-21： 研究対象者位置からの実験風景（日没15分前撮影）

## 2-6-2. 路面描画・環境照度条件

### a. 描画，環境照度条件

環境照度 0.2 lx（曇天夜間，外部照明無し），路面描画用ランプ光度は 10,300 cd（プロジェクター最大光度）で，呈示による眼前照度は 0.05 lx であった．また描画の呈示方法は検出実験と同じく，5 秒間の点滅（周波数 1Hz）で行った．また呈示した描画形状は 2-4 節内，図 2-8 で示した長方形で行った．

b. 評価尺度

グレア評価に用いた評価尺度は、1-1-4 節で説明した de Boer 尺度を用いた（図 2-22）。

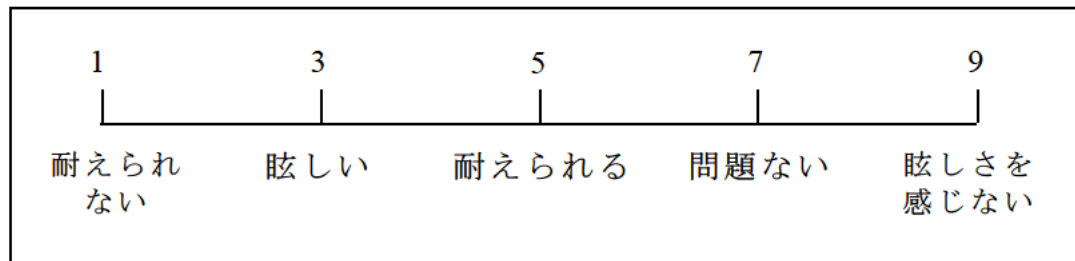


図 2-22 : de Boer 尺度

c. 研究対象者

研究対象者は視力0.7以上を保有する15名(年齢25～59歳，うち女性2名，年齢層は20代8名，30代5名，40代2名)で行った。

## 2-7. 背反（グレア）実験結果

図2-23に全研究対象者のグレア評価のヒストグラムを示す．横軸はグレア評価値，縦軸が選択した研究対象者の人数である．全研究対象者15人中，評価5（許容可能レベル）以上に相当するグレアを感じない研究対象者は13人で，平均評価値は6.23であった．評価4となった研究対象者は2人おり，いずれも年齢は30代で，評点が低い理由は明らかとなっていない．

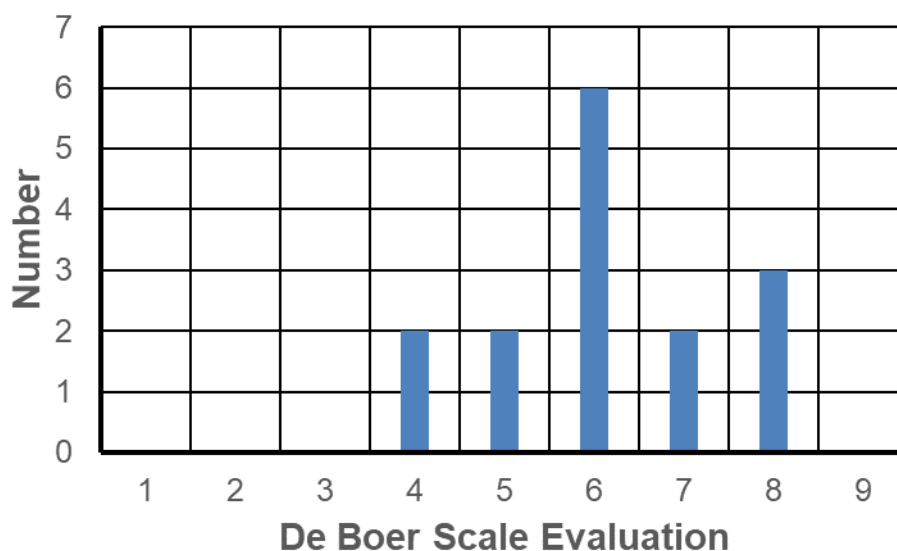


図2-23： 路面描画グレア評価結果

本実験で得られた結果を，1-1-4節で示したSchmidt-Clausen及びBindelが導いたグレア評価式 (1-2) に当てはめた結果と比較した．

$$W = 5 - 2 \cdot \log \sum_{i=1}^n \frac{E_{Bi}}{C_{poo} \left[ 1 + \sqrt{\frac{L_u}{C_{pL}}} \right] \theta^{0.46}} \quad (1-2)$$

今回の実験では  $E_{Bi}$ （眼前照度）= 0.05 lx,  $L_u$ （順応輝度）= 0.1 cd/m<sup>2</sup>,  $C_{poo}$  及び  $C_{pL}$  は各々定数で,  $3.0 \cdot 10^{-3}$ ,  $4.0 \cdot 10^{-2}$  である. これらの値を(2)式に代入したところ,  $W = 6.13$  となり, 実験結果から得られた平均評価値 6.23 とほぼ一致した.

今回得られた de Boer 尺度の値を対向車ヘッドランプグレア規制値（ロービーム）として設定されている距離 50m で予想されるグレアポイント B50R（右側通行では B50L, UN 法規 R.112：非対称すれ違いビームヘッドランプでは最大光度 350 cd と規定されている

【41】）での不快グレア評価値と比較をする. Völker は登録済み車両 18 車種を任意に抜き出し, B50L に相当する距離 50m で不快グレア評価を実施したところ, de Boer 尺度が 6 以上となった車両は 18 台中 3 台であった【42】.

このことから, 当該実験条件下でターンシグナルランプと連動した路面描画ランプを点灯しても, 車両左側から接近する歩行者に対するグレアは問題にならないと考えられる.

## 2-8. 考察

今回得られた実験結果に対して，結果を考察する．

### 2-8-1. 交通参加者が気づくために必要な， 路面描画ランプ光度

実験で得られた結果から統計的にどの程度の輝度コントラストがあればほぼすべての歩行者・二輪運転者が路面描画に気づくのかを検討した．路面描画に気づく人数と輝度コントラストの分布が正規分布になると仮定し，全体の 99.9%の人が路面描画に気づく値に相当する， $3\sigma$  ルールに基づいて値を計算した（ $\sigma$ ：標準偏差）．図 2-24 に例として平均 0 標準偏差 1 の正規分布を示すが，このグラフで横軸が 3 に相当する値である平均値 $+3\sigma$ を求める．この値より低い割合は全体の 99.9%に相当する．

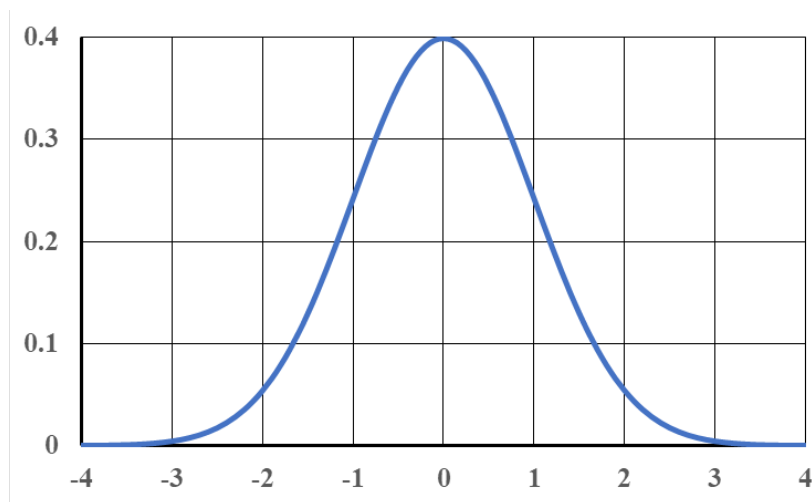


図 2-24： 正規分布グラフ（平均値 0，標準偏差 1）

各シーン共に 2 種類の形状で実験を行ったが，16 人全ての研究対象者が検出できた描画形状：長方形での結果から計算した．計算した結果を表 2-9 に示す．シーン B の方がシーン A よりも描画の検出に



必要な輝度コントラストは高い．2 シーン間での t 検定の結果を表 2-10 に示す．環境照度が 50lx 以下で有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められた．また環境照度 100lx は  $p < 0.1$  となり有意傾向が認められた．

表 2-9：各実験シーンで得られた平均+3 $\sigma$  の輝度コントラスト  
(形状：長方形)

環境照度	800lx	100lx	50lx	10lx
シーン A 輝度コントラスト	0.16	0.14	0.16	0.18
シーン B 輝度コントラスト	0.22	0.44	0.59	2.74

表 2-10：環境照度別シーン間の有意差検定 (t 検定) 結果  
(形状：長方形)

環境照度	800lx	100lx	50lx	10lx
t 値	-1.22	-1.64	-5.14	5.17
P 値	0.12	0.06	$7.91 \times 10^{-6}$	$7.18 \times 10^{-6}$

上記結果を実際のランプ性能に反映させるため，ランプの光度に変換する必要がある．今回，ランプ取り付け高さ 0.7m，前方距離 3 m (図 2-25 参照) という条件で，ランプ光度を求めた．

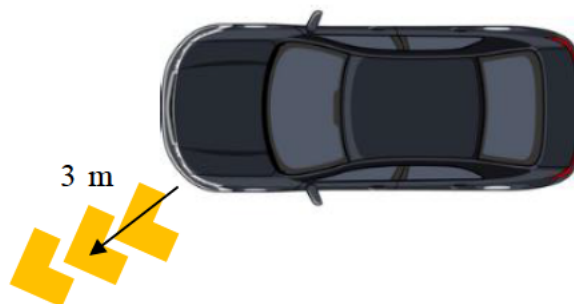


図 2-25：ターン連動路面描画の想定照射位置

光度の計算方法の前に路面描画ランプから路面上の照度を計算する必要がある．照度は輝度から得られる．2-4-2 節で示した輝度コン

トラスト計算式の描画輝度  $L_o$  から背景輝度  $L_b$  を引いた値（ここでは  $L_p$  とする）が，路面描画ランプを照射されることで得られる輝度  $L_p$  は路面描画ランプの照度  $E_p$  に比例する．具体的には路面の反射率を  $\eta$  とすると，照度と輝度の関係は以下の式(2-1)で表される．

$$E_p = \frac{L_p \pi}{\eta} \quad (2-1)$$

ランプ光度  $I$  は照度  $E$  に投影距離  $d$  の二乗を掛けた式(2-2)で表されることから，投影距離を求める必要がある．

$$I = E \cdot d^2 \quad (2-2)$$

前方照射距離  $d_f$  (m)，ランプ取り付け高さ  $h$  (m)，とすると投影距離  $d$  は  $\sqrt{d_f^2 + h^2}$  となる．しかし式(2-2)が成り立つのは受光器が照射方向に対し垂直となっている場合である．今回は図 2-26 に示すように，路面に対しランプ光軸が斜めとなっている．研究対象者が視覚的に視認するのは路面に対し垂直成分である．このなす角度を  $\theta$  (deg) として考えると，光度  $I$  は式(2-3)で計算される．

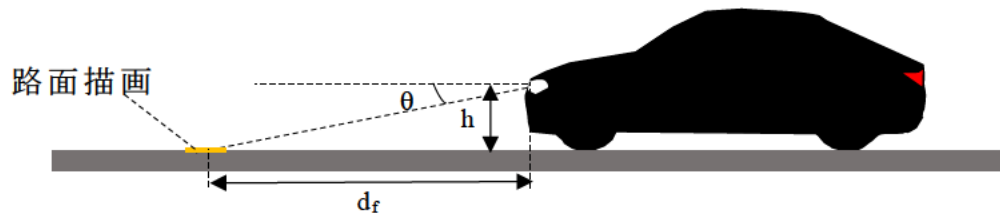


図 2-26： 路面描画ランプ想定照射距離と取り付け状態

$$I = E \cdot \frac{d_f^2 + h^2}{\sin \theta} = E \cdot (d_f^2 + h^2)^{\frac{3}{2}} / h \quad (2-3)$$

横軸をランプ光度にした時の路面描画検出率結果（描画形状：長方形）についてシーン A を図 2-27 に，シーン B を図 2-28 に示す．横軸を輝度コントラストとした場合，シーン A では検出率に違いがほとんど無いのに対し，ランプ光度にする場合，環境照度の違いで検出率に差があった．

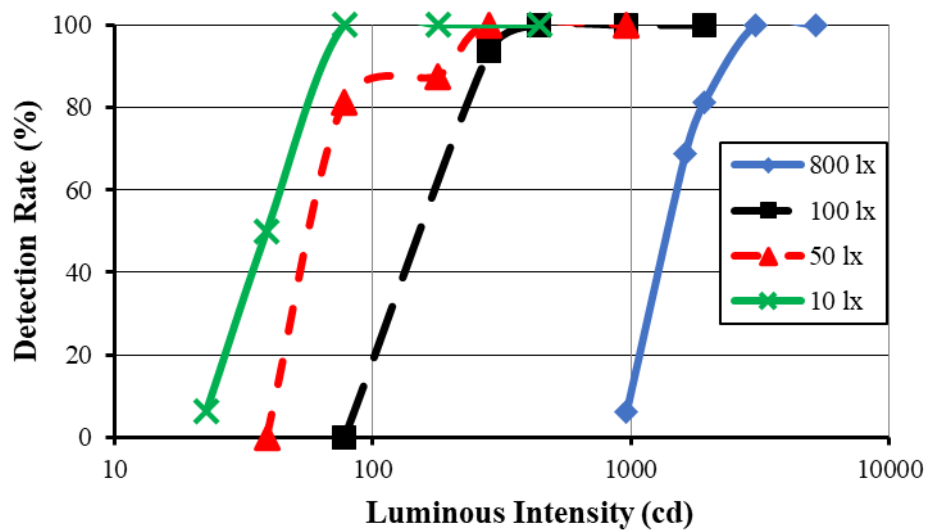


図 2-27： シーン A，横軸ランプ光度の検出率結果

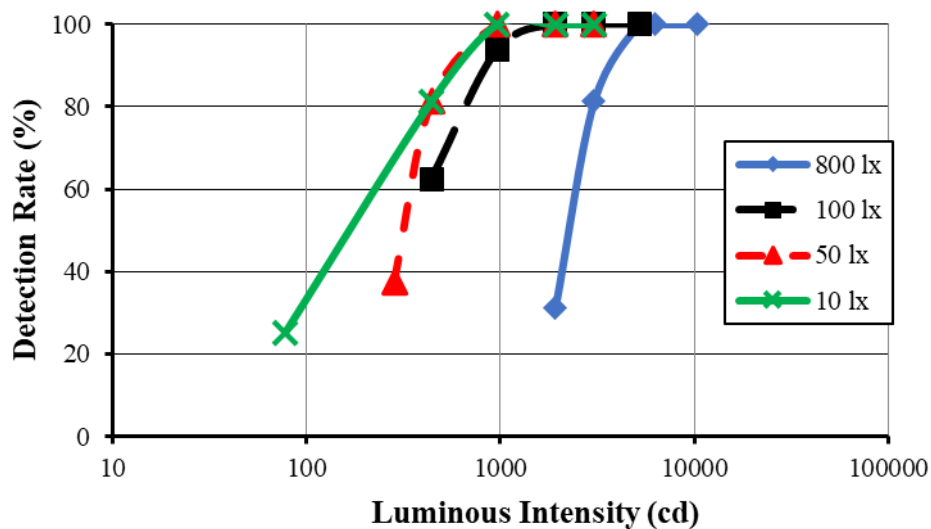


図 2-28： シーン B，横軸ランプ光度の検出率結果

表 2-9 の輝度コントラストを満たすランプ光度を計算した結果を表 2-11 に示す。路面描画用ランプの光度が 6,350 cd 以上，かつ環境照度 800 lx 以下であれば，全ての交通参加者が路面描画の点灯に気づくことができることが示された。

表 2-11 :        各実験シーンで得られた平均+3 $\sigma$  のランプ光度  
(形状：長方形)

環境照度	800 lx	100 lx	50 lx	10 lx
シーン A ランプ光度(cd)	3,650	425	350	122
シーン B ランプ光度(cd)	6,350	1,922	1,292	1,365

2-7節で示したグレア評価の結果からランプ光度10,330cdであれば、グレアを与えないことから路面描画ランプは車両左側から接近する歩行者交通参加者に対し「気づくことが可能」と「眩しさを与えない」の両立は可能であった。

ただし今回得られた必要光度は、想定した取り付け高さに対する今回実験を行ったアスファルト面の路面反射率で得られる値である。取り付け高さが低い場合、反射率が低い場合等では必要光度は上昇する。

## 2-8-2. 路面描画の形状違いによる検出率の差

実験結果として，路面描画の形状違いで検出率に差は無かった．この理由として，実験ではいずれのレイアウトでも研究対象者はタスクを注視しており，周辺視野に呈示された路面描画を検出しているためと考えられる．

図 2-29 に人間の視野機能を説明する概略図を示す．人間の視野は中心部（中心視）では色や形状を認識できる．一方，周辺視では主に視標の概形や動きを検出することができるが，詳細な形状を認知することができない【43】．

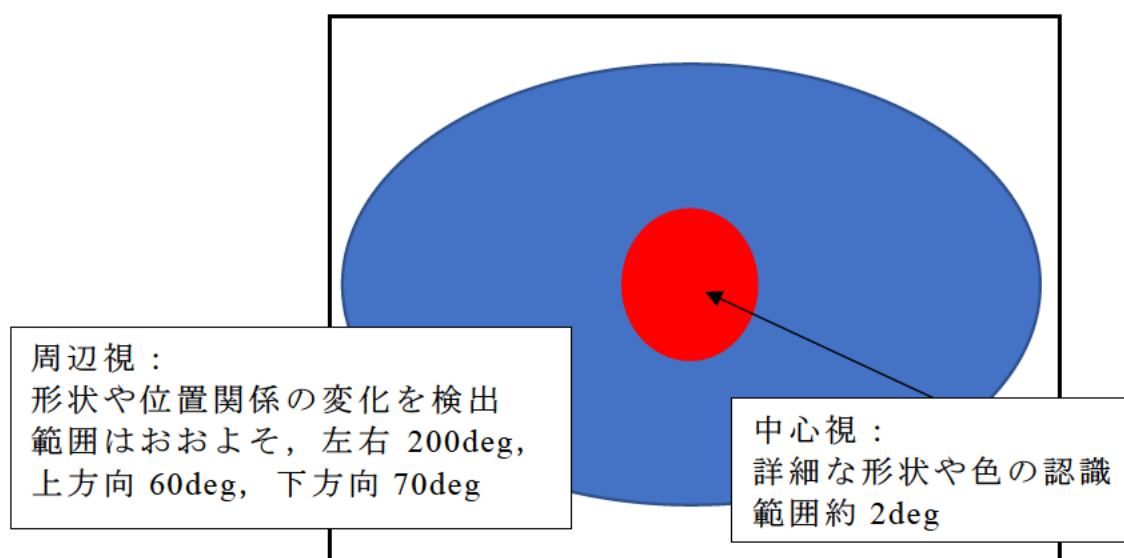


図 2-29： 中心視，及び周辺視の機能概要

### 2-8-3. シーン違いによる検出率の差

本研究では実験を行った2つのシーン別で，状況に応じた異なるタスクを与えた．

- ・ シーンA：左折巻き込みレイアウト

⇒正面の点滅する赤LEDを注視（二輪運転を想定）

- ・ シーンB：交差点出会い頭レイアウト

⇒手元の画面を注視（脇見の歩行者・自転車を想定）

路面描画を検出するために必要な輝度コントラストは，交差点出会い頭位置の方が左折巻き込み位置よりも高くなった．この理由は，タスク（視覚負荷）の違い及び路面描画（＝視覚刺激）呈示位置の違いに起因すると考える．

#### タスク違いの影響

シーン B（交差点出会い頭事故想定）のタスク（手元の画面注視）はシーン A（左折巻き込み事故想定）のタスク（正面注視）より集中してタスクを注視するため視野が狭くなること，及び注意配分が手元の画面に集中し認知精度が低下したためと考えられる．

#### 視覚刺激呈示位置の影響

図 2-30 に視線方向と路面描画の角度を示す．角度は歩行者の視線高を 1.5m，描画位置を歩行者の 5m 前方，画面位置が地上高 1.2m，歩行者の前方 0.2m と仮定した．通常の歩行では注視方向に対し路面描画が 16.7deg 下方に呈示されるのに対し，画面注視の場合注視方向に対し 65.7deg 上側に呈示される．

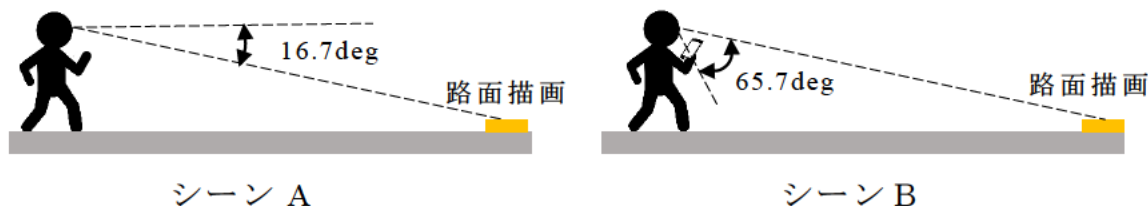


図 2-30 : シーン別路面描画呈示角度

これらの理由から，シーン B で路面描画検出に必要な輝度コントラストが高くなったと考えられる．

#### 2-8-4. タスクの違いによる目の順応状態

シーンB（交差点出会い頭事故想定）では研究対象者に脇見をさせるため，輝度 $10.9\text{cd/m}^2$ の画面を注視させている．そのため研究対象者の目が画面の明るさに順応しているため，環境照度が低い場合での路面描画の検出には高い輝度コントラストが必要になる．

猪野原らは背景輝度よりも順応輝度が高い場合の輝度コントラスト閾値を実験から求めている【44】．背景輝度 $L_b$ ，その時の輝度差弁別閾が $L_{min}(L_b)$ ，順応輝度での輝度差弁別閾を $L_{min}(L_f)$ とすると，その時の輝度コントラスト弁別閾 $C_{th}$ は以下の式(2-4)で表される．

$$C_{th} = \frac{\Delta L_{min}(L_f) + \Delta L_{min}(L_b)}{L_b} \quad (2-4)$$

即ち順応輝度が上昇することで，視対象（＝路面描画）の判別のために必要な輝度コントラスト弁別閾が上昇することが明らかになっており，本実験結果と一致している．環境照度が比較的高い $800\text{lx}$ では画面注視による順応輝度と路面輝度との差が小さいため，影響が小さいと言える．

## 2-8-5. 観測位置と不快グレアについて

本研究では日没前の環境照度下で，車両左側から接近する歩行者にとって検出に必要な輝度を有する路面描画光が，外部照明の無い環境でグレアを与えないか，という視点で評価を行った．しかし実際には路面の反射特性で値は変わる．また観測方向の違いでも反射率は変わる．増田らは正反射方向（対向車ドライバアイポイント）及び再帰反射方向（自車ドライバアイポイント）での反射輝度計数を測定し，正反射方向が再帰反射方向より反射係数が高い，正反射方向は研究対象者とランプ間の中間地点付近が最も係数が高くなることを示した【45】．このことから歩行者視線高 1.5m，ランプ取り付け高さ 0.7m とした場合，入射角と反射角が等しくなる図 2-31 に示す位置関係で最も不快グレアが高くなる可能性がある．また湿潤路面では正反射光が増加しこの傾向が強まることが予想されるため，今後は正反射方向でのグレア評価を実施し，問題となる場合は路面描画光を作動させない等の対策が必要と考える．



図 2-31： 路面描画ランプの不快グレアが最も懸念されるレイアウト（左：側面視，右：上面視）



## 2-9. まとめ

本研究で得られた結果をまとめる．

- ・ 路面描画形状の違いによる検出率の違いは確認されなかった．  
これは視野の周辺部で路面描画の検出をしているためで形状の違いが影響しなかったと考えられる．
- ・ レイアウト違いではシーン A よりもシーン B で，環境照度が低いほど路面描画の検出に必要な輝度コントラストが高くなる．  
この理由は，画面の注視が運転時を想定した正面注視よりも集中した視作業となること，路面描画がより視野の周辺部に呈示されていること，環境照度が低い場合路面より明るい画面に研究対象者の目が順応しており，描画の検出に高いコントラストが必要なためである．
- ・ 今回の行った実験条件で，すべての交通参加者が路面描画に気づくランプ光度は，照射距離 3m，取り付け高さ 0.7m の場合 6,350 cd である．
- ・ 夜間に照射距離 3m，取り付け高さ 0.7m でランプ光度 10,330 cd の路面描画を呈示しても，車両左側から接近する歩行者等にグレアを与えない（観測距離 5m の場合）．

## 第 3 章

# 点灯方法別に必要な 路面描画ランプの性能

バックランプと連動する路面描画ランプ

### 3-1. はじめに

本研究は、車両後退時に発生する対歩行者等との交通事故低減を目的に、車両後退時に作動するバックランプ（後退灯）と連動する路面描画ランプの必要性能（輝度コントラスト、ランプ光度）について、主に点灯方法の違いに着目し研究対象者による視認性評価実験により求めた。

#### 3-1-1. 交通事故統計

バックランプは夜間自動車後退時における事故防止、後方の視界確保、周囲に対する後退意思を示すために搭載されている。このバックランプが作動する状況である、車両後退時に発生した交通事故データを調査した。

ITARDA（Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis:公益財団法人交通事故総合分析センター）が発行した交通事故統計から、駐車場等で発生する車両後退時の交通事故は以下の特徴を有する【46,47】。

- ・ 車両後退時に発生した事故件数は減少しているものの、全体の割合は増加傾向である（図 3-1）。
- ・ 駐車場等で発生した 65 歳以上の死亡事故件数の割合が増加傾向である（表 3-1）。
- ・ 駐車場等で発生した 65 歳以上の死傷事故は、半数以上が車両後退時に発生している（図 3-2）。
- ・ 車両後退時に発生した死亡事故の半数以上が、歩行者が犠牲となっている（図 3-3）。

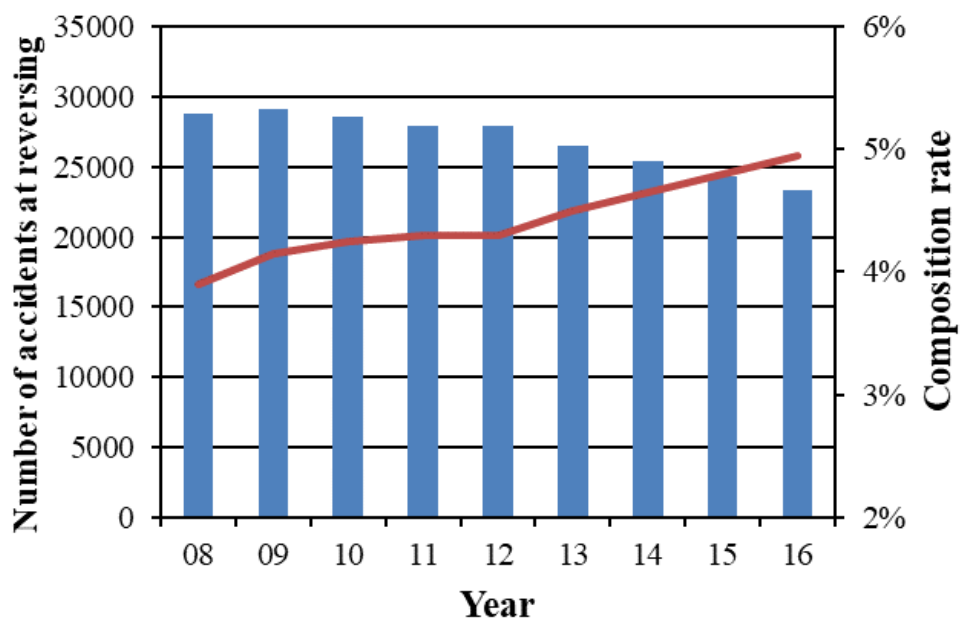


図 3-1：後退四輪車による事故発生状況（【46】より引用）

表 3-1：2010 年～2014 年に駐車場等で発生した，歩行者の年齢層別  
対四輪車死傷事故件数と割合（【47】）

年齢層	年					
	2010	2011	2012	2013	2014	2014 対 2010 比
6 歳以下	331	347	349	297	296	0.89
7～18 歳	255	281	274	265	214	0.84
19～64 歳	3,688	3,661	3,555	3,661	3,321	0.90
65 歳以上	2,095	2,075	2,162	2,177	2,191	1.08

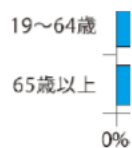


図 3-2 : 駐車場等で発生した死傷事故の年齢別相手車両の行動分類（【47】より引用）

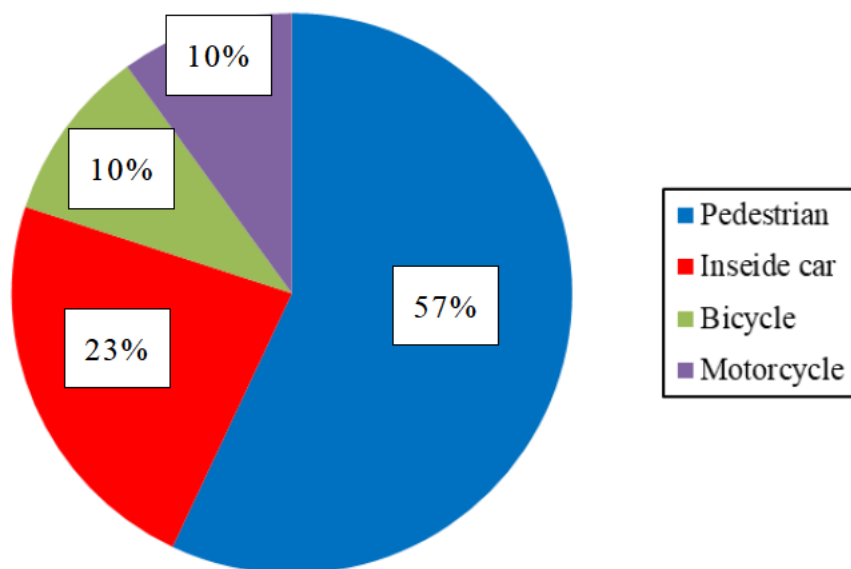


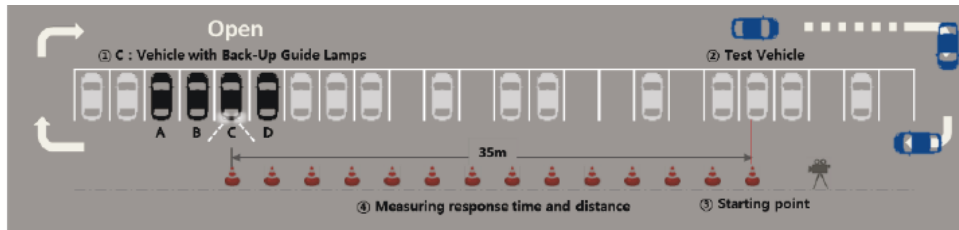
図 3-3 : 2008 年～2017 年に発生した車両後退事故の当事者別死亡重傷者数（【46】より引用）

### 3-1-2. 車両後退用路面描画に関する既往研究

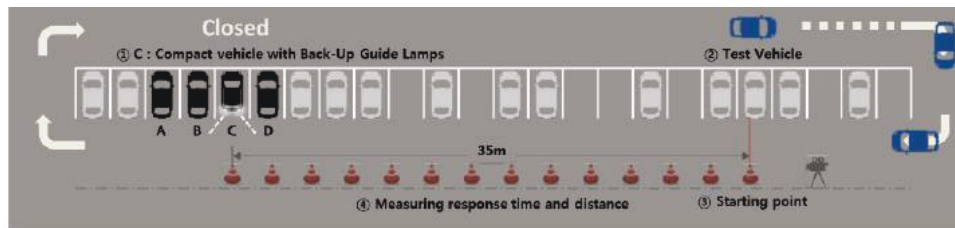
Pak らは図 3-4 に示す後退用路面描画ランプ配光を用い，後退車両の気づきやすさを確認するための検証実験を行った．図 3-5 に実験を行った 4 種類の実験条件を示す．結果は路面描画の点灯により後退車両の存在に気づきやすくなることが報告されている【48】．しかし当該論文では後退用路面描画ランプに必要な明るさ（輝度コントラスト，ランプ光度，等）については検証されていない．



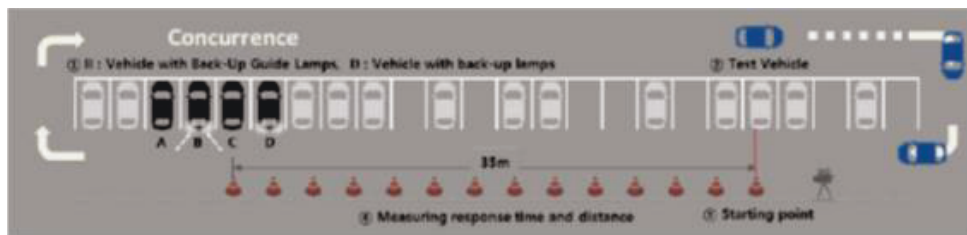
図 3-4：実験で使⽤した後退⽤路面描画（【48】より引⽤）



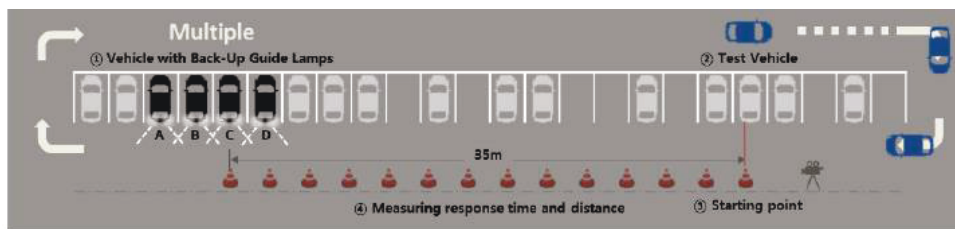
シナリオ A：1 台が後退用路面描画を点灯



シナリオ B：シナリオ A より全長が短い車両の路面描画が点灯



シナリオ C：1 台が路面描画を点灯し，他の 1 台が既存のバックランプ点灯



シナリオ D：4 台の車両が同時に後退用路面描画を点灯

図 3-5： Pak らが行った後退用路面描画実験条件  
（【48】より引用）

### 3-1-3. 本研究の目的

本論文では駐車場等での車両後退時に発生する車両対歩行者の交通事故防止を目的とした車両後退用路面描画ランプについて、研究対象者を用いた実験を通じ以下の項目について明らかにすることを目的とした。

- ・ 実際のシーンから車両後退用路面描画ランプの有効性を明らかにする。
- ・ 必要な明るさ（輝度コントラスト，ランプ光度）を実験的に求める。
- ・ 被験者による印象評価から適した点灯方法を決定する。

また安全性向上の観点から，夜間だけでなく交通事故が多発する日没前後の時間帯でも効果があることが望ましいため，上記確認を夜間だけでなく日没前の明るさでも行った。

本実験もターンシグナルランプ用路面描画ランプ実験と同じく，（株）小糸製作所静岡工場内で実験を行った。



## 3-2. 現状把握実験

### 3-2-1 想定シーン

既存のバックランプ性能を把握するため、図 3-6 に示す想定レイアウトで研究対象者が車両後退時に点灯するバックランプに気付くかを確認する実験を行った。

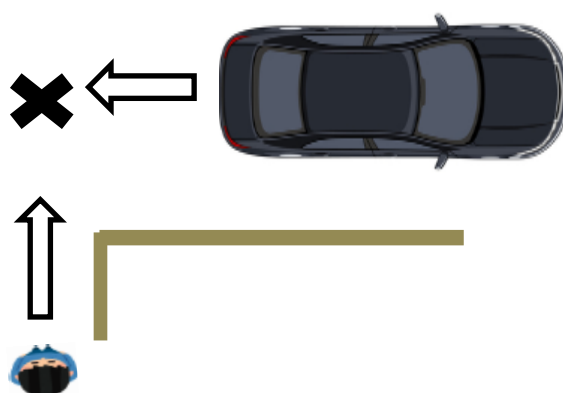


図 3-6： 車両後退時の車両対歩行者等との交通事故想定シーン

### 3-2-2. 既存ターンシグナルランプ検出実験条件

#### a. レイアウト

以下 2 種類のシーンを想定したレイアウトとした。

シーン A：正面を注視した歩行者と後退車両との衝突事故

シーン B：脇見をした歩行者と後退車両との衝突事故

シーン A のレイアウトを図 3-7，シーン B のレイアウトを図 3-8 に示す。

車両停止状態を模擬するために配置したリアコンビネーションランプ（RCL）は、高さ 0.9m，研究対象者から見て 5m 前方（想定した車両中央位置）かつ 3m 右側にランプ間隔 1.4m の距離で車両中央から等間隔とした。リアコンビネーションランプは量産品を使用し、テ

ールランプの最大光度は図 3-7, 3-8 共に左側 5.4cd, 右側 5.2cd, バックランプの最大光度は左側 174cd, 右側 142cd でいずれも UN 法規を満足している。

タスクは 2 種類採用した。図 3-7 に示すシーン A では、研究対象者から前方 8m, 高さ 1.5m の位置に置いた光源（赤色 LED）を注視させている。もう一方の脇見の歩行者・自転車等を想定したシーン B では、研究対象者の手元高さ 1.2m 位置に置いた画面（今回はスマートフォンを使用）を注視させた。画面の輝度は  $10.9\text{cd/m}^2$ , 眼前照度は  $0.9\text{lx}$  であった。

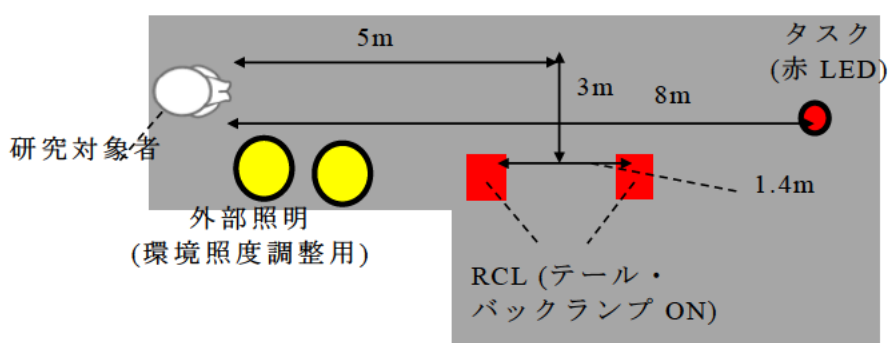


図 3-7 : シーン A (正面注視タスク) 実験レイアウト

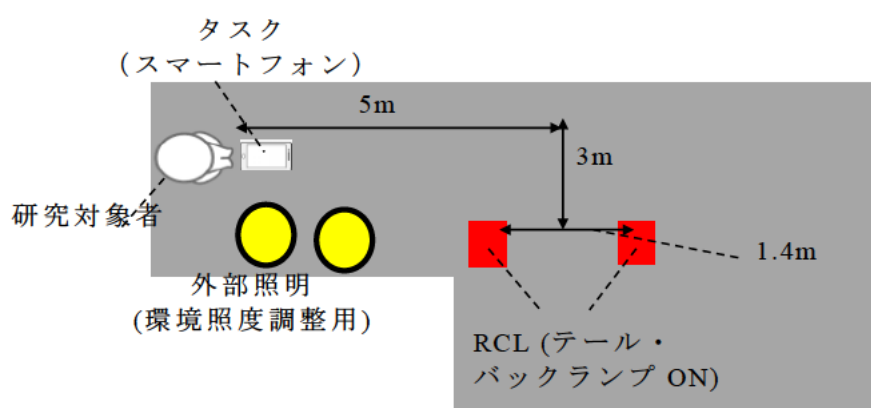


図 3-8 : シーン B (手元注視タスク) 実験レイアウト

b. 研究対象者

研究対象者は年齢 26～60 歳の 16 名（男性 13 名，女性 3 名），年齢層別人数は 20 代 7 名，30 代 3 名，40 代 3 名，50 代 2 名で行った．

c. 環境照度と試行回数

環境照度は薄明視から夜間を想定し，以下の 4 条件を設定した．

- ・ 1,000lx （ヘッドランプ自動点灯時の照度を想定:UN 法規  
Reg.48 Annex 13 に記載【39】）
- ・ 200lx （屋内駐車場照度を想定：JIS Z9110:1979 記載，屋内，  
地下駐車場,交通量大の車路照度基準内【49】）
- ・ 50lx （夜間・明るい道路照明下の交差点を想定）
- ・ 10lx （夜間・暗い道路照明下の交差点を想定）

各条件での試行回数は研究対象者人当たり 1 回である．

各シーンでの実験条件をまとめたものを表 3-2 に示す．

表 3-2： 既存ターンシグナルランプ検出実験条件

	シーン A	シーン B
研究対象者	16 人	
タスク	8m 前方の 赤色 LED	手元の画面 (スマートフォンを使用)
環境照度	1,000lx, 200lx, 50lx, 10lx	

3-2-3. 既存バックランプ検出実験方法

実験は最初にシーン A：正面注視タスク（環境照度を明るい→暗い順）で行い，その後シーン B：手元注視タスク（環境照度を暗い→明るい順）で実験を行った．この際，環境照度が 200lx → 50lx, 50lx → 10lx 時は 5 分間の順応時間を設けた．この理由は，明るい環境から暗い環境への変化時，人間の眼が周囲の明るさに順応（暗順応）するのに時間を要する【50】．逆に暗い環境から明るい環境への変化時，順応（明順応）は短時間で順応が完了すること，及びシーン B では手元の画面（輝度 10.9cd/m<sup>2</sup>）を注視させているため研究対象者の目が画面輝度に順応するため，順応時間は設けずに実験を行った．

研究対象者の回答方法は，「バックランプ発光面と路面の両方に気づく」，「バックランプ発光面のみ気づく」，「気づかない」のいずれかを選択させた．各状態のイメージを図 3-9 に示す．

発光面＋路面の変化	発光面のみ変化	気づかない
		

図 3-9: 現状把握実験回答と点灯イメージ比較

### 3-3. 現状把握実験結果

表 3-3 に環境照度別での既存バックランプの検出率結果を示す．検出率は「ランプ発光面+路面の発光に気づいた人数」または「ランプ発光面の発光に気づいた人数」から全研究対象者の人数で除した値である．タスク別で着目すると，シーン B（手元注視タスク）はシーン A（正面注視タスク）よりもバックランプの点灯に気づきにくいことが明らかになった．

表 3-3： 既存ターンシグナルランプ検出率結果

シーン	検出エリア	環境照度			
		1,000lx	200lx	50lx	10lx
シーン A	発光面＋路面	0.0%	80.0%	100.0%	100.0 %
	発光面のみ	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%
シーン B	発光面＋路面	0.0%	6.3%	50.0%	87.5 %
	発光面のみ	0.0%	0.0%	0.0%	56.3%

この理由は，シーン B：手元注視タスク（脇見歩行）はシーン A：正面注視タスク（通常の歩行）よりも，視野の外側に刺激が呈示されているためと考えられる．また正面注視ではバックランプ発光面が見える場合，ほぼ全員点灯に気づくことができるが，図 3-10 のように壁等でバックランプ発光面が遮蔽され見えない状況かつ環境照度が 200lx 以上の場合，バックランプの点灯に気づくことができなかった．

以上から歩行者が正面注視の状態では環境照度が 200lx 以上かつ車両後端が遮蔽された場合，手元注視時はほとんどの条件で既存バックランプの点灯に気づきにくく，路面描画の点灯により車両後退に気づきやすくなることが期待される．

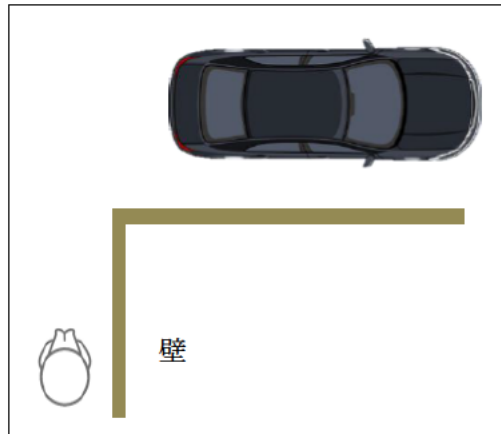


図 3-10 : 発光面が遮蔽されバックランプに気づきにくい状況

## 3-4. 路面描画検出実験方法

### 3-4-1. レイアウトと使用機材

#### a. レイアウト

今回想定したシーンは 3-2 節で説明した現状把握実験と同じ 2 種類のシーンを採用した.

シーン A : 正面を注視した歩行者と後退車両との衝突事故

シーン B : 脇見をした歩行者と後退車両との衝突事故

これらの事故を想定し, シーン A は図 3-11, シーン B は図 3-12 に示す実験レイアウトで行った. また研究対象者位置から見た路面描画呈示状態を図 3-13 (シーン A), 図 3-14 (シーン B) に示す.

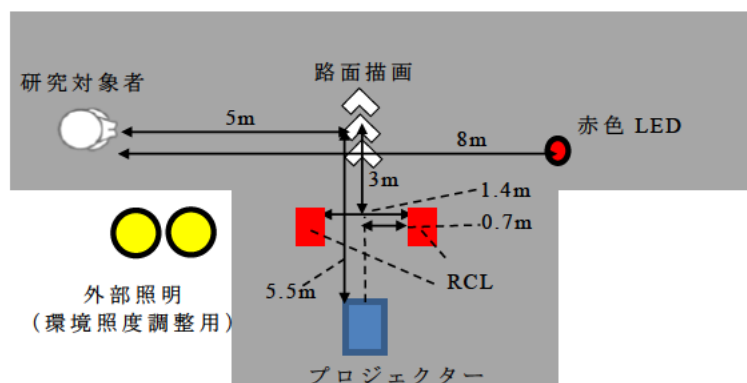


図 3-11 : シーン A 実験レイアウト

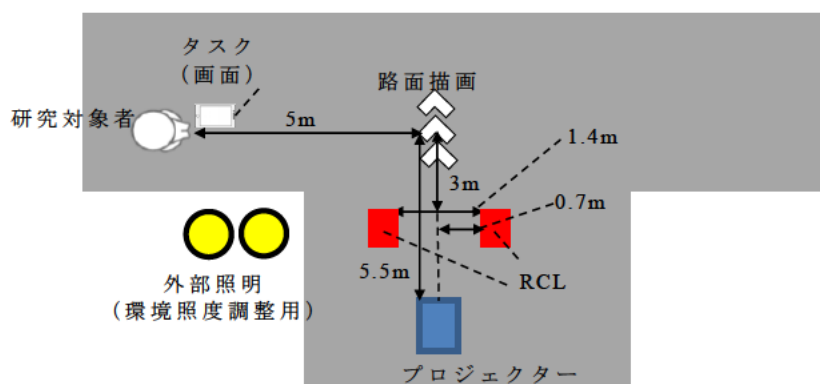


図 3-12 : シーン B 実験レイアウト



図 3-13：シーン A，研究対象者視点からの路面描画・タスクの見え方



図 3-14：シーン B，研究対象者視点からの路面描画・タスクの見え方



b. 使用機材と取り付け条件

本実験では以下の機材を使用した.

- ・路面描画表示用プロジェクター (シーン A, B 共通)

CANON WUX6501, 最大光度 41,500cd.

明るさは ND フィルタで調整.

- ・反応測定装置 (シーン A, B 共通)

BIOPAC systems 社製 TSD116A を使用.

また以下実験設備は 3-2 節及び 3-3 節で述べた事前実験と同条件である.

- ・リアコンビネーションランプ (シーン A, B 共通)

トヨタ・アリオンを使用.

ランプ高さ 0.9m, 研究対象者から見て 5m 前方 (想定した車両中央位置) かつ 3m 右側にランプ間隔 1.4m の距離で車両中央から等間隔に設置.

テールランプ最大光度は研究対象者から見て手前側 5.4cd, 奥側 5.2cd.

バックランプ最大光度は研究対象者から見て手前側 174cd, 奥側 142cd

- ・タスク用光源 (シーン A)

点滅回数を可変できる赤色 LED 使用. 研究対象者から前方 8m, 高さ 1.5m の位置に設置.

- ・タスク用画面 (シーン B)

研究対象者の手元, 高さ 1.2m 位置にスマートフォンを設置.

画面輝度 10.9cd/m<sup>2</sup>, 眼前照度 0.9lx

- ・環境照度調整用外部照明 (シーン A, B 共通)

ハヤタ電気工業製, 光源白色 LED を使用

### 3-4-2. 実験条件

日没前から夜間の環境照度を再現し，路面描画の輝度コントラスト及び点灯方法を変化させた時の，路面描画の検出実験を行った．実験条件は以下の通りである．

#### a. 描画形状

本実験では以下の路面描画パターンを用意した．

- ・ 図 3-15 に示す 1 種類を使用
- ・ 描画サイズ：長手方向 1.25m × 短手方向 0.55m,
- ・ 照射色：白色，CIE 1931xy 色度座標は， $(C_x, C_y) = (0.321, 0.373)$ ，UN 法規で定められた白色からやや上側に外れている，図 3-16 参照)



図 3-15：実験で用いた路面描画形状

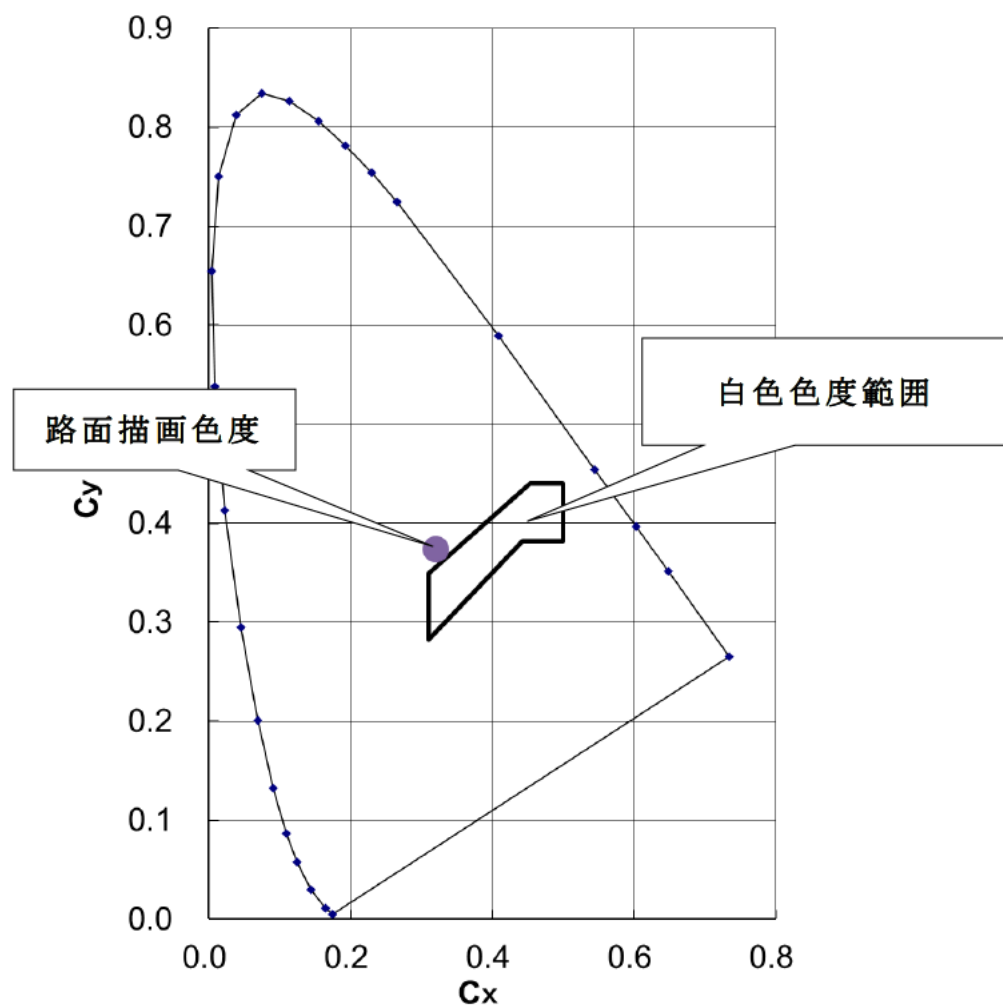



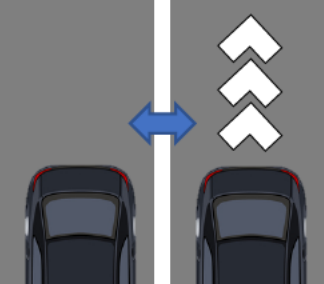
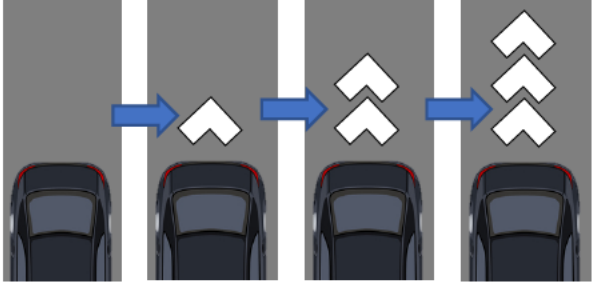
図 3-16： 路面描画光 xy 色度データ

*b. 環境照度，路面描画条件*

以下，環境照度及び路面描画の設定条件を示す．

- ・ 環境照度：1,000lx，200lx，50lx，10lx の 4 種類（3-2 節現状把握実験と同条件）
- ・ 点灯方法：表 3-4 に示す通常点灯，点滅，シーケンシャルの 3 種類を使用

表 3-4 : 実験で使った点灯方法一覧

通常点灯	点滅	シーケンシャル
		
5 秒間点灯	5 秒間, 5 回点滅: 点滅周期 1Hz	5 秒間, 5 回シーケンシャル: 点灯周期 1Hz, 順次点灯時間※200msec

※：点滅は 2 章実験と同様に，1~4Hz の路面描画で気づきやすさに違いが無いという結果【40】から 1Hz を採用した．

※：シーケンシャル点灯は，UN 法規 Reg.6（ターンシグナルランプ），5.7 項に，順次点灯時間は上限 200msec と規定されている【51】．順次点灯時間が短いほど点滅と似た点灯方式になるため，本実験では点滅との違いを明らかにする目的から上限の 200msec を採用した．

・路面描画部及び背景の輝度

：各環境照度で 5~6 種類の路面描画で実験を行った．描画輝度 ( $L_o$ ) と背景輝度 ( $L_b$ ) の値を表 3-5 に示す．背景輝度は路面描画の周囲 4 方向の平均輝度を用いた．

表 3-5 : 本実験で用いた描画輝度及び背景輝度一覧

シーン	照度	位置	輝度 (cd/m <sup>2</sup> )					
シーン A	1,000lx	L <sub>b</sub>	36.62	36.52	36.28	36.38	37.00	36.30
		L <sub>o</sub>	39.94	38.35	37.81	37.47	37.85	36.75
	200lx	L <sub>b</sub>	7.15	7.33	7.15	7.13	7.18	7.15
		L <sub>o</sub>	8.37	7.92	7.45	7.35	7.33	7.22
	50lx	L <sub>b</sub>	1.83	1.83	1.86	1.84	1.82	
		L <sub>o</sub>	2.05	1.98	1.94	1.90	1.86	
	10lx	L <sub>b</sub>	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
		L <sub>o</sub>	0.55	0.49	0.47	0.46	0.45	0.44
シーン B	1,000lx	L <sub>b</sub>	36.64	36.62	36.62	36.52	36.28	36.38
		L <sub>o</sub>	47.64	43.31	39.94	38.35	37.81	37.47
	200lx	L <sub>b</sub>	7.23	7.15	7.15	7.33	7.15	
		L <sub>o</sub>	10.58	9.09	8.37	7.92	7.45	
	50lx	L <sub>b</sub>	1.87	1.85	1.83	1.83	1.86	
		L <sub>o</sub>	2.55	2.15	2.05	1.98	1.94	
	10lx	L <sub>b</sub>	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	
		L <sub>o</sub>	0.72	0.62	0.55	0.49	0.47	

表 3-6 から得られる輝度コントラスト  $C$  を表 3-7 に示す．輝度コントラスト  $C$  は描画輝度  $L_o$  及び背景輝  $L_b$  を使い，1-1-4 節で示した式(1-1) から得られる．

表 3-6： 実験で用いた路面描画輝度コントラスト一覧

シーン	環境照度	輝度コントラスト					
シーン A	1,000lx	0.091	0.050	0.042	0.030	0.023	0.012
	200lx	0.171	0.080	0.042	0.030	0.020	0.010
	50lx	0.115	0.082	0.042	0.029	0.021	
	10lx	0.268	0.153	0.090	0.057	0.037	0.019
シーン B	1,000lx	0.300	0.183	0.091	0.050	0.042	0.030
	200lx	0.464	0.271	0.171	0.080	0.042	
	50lx	0.359	0.162	0.115	0.082	0.042	
	10lx	0.639	0.443	0.268	0.153	0.090	

#### c. 研究対象者

研究対象者は視力 0.7 以上を有する 26 歳～60 歳の 24 名（男性 19 名，女性 5 名），年齢層別は 20 代 8 名，30 代 8 名，40 代 3 名，50 代以上 5 名で行った．

### 3-4-3. 実験手順

実験手順は各シーン別に以下のように行った．

- 1 所定の環境照度に調整後，研究対象者が所定の位置に立ちに，スイッチを持つ．
- 2 研究対象者はタスク（シーン A：正面の赤色 LED，シーン B：手元の画面）を注視する．
- 3 描画を投影し，描画に気づいた場合にスイッチを押す
- 4 描画は点灯から 5 秒後に消える．
- 5 描画の輝度コントラスト，描画形状，環境照度を変えて，研究対象者 1 人当たりシーン A では最大 69 条件，シーン B では最大 63 条件の評価を行う．

### 3-5. 路面描画検出実験結果

各実験シーン別に結果を示す．本結果は環境照度の違い，点灯方法の違いに着目した．

#### 3-5-1. シーン A（正面注視歩行者）結果

##### a. 環境照度別結果

図 3-17 に点灯方法：通常点灯，図 3-18 に点灯方法：点滅，図 3-19 に点灯方法：シーケンシャルの路面描画検出率（全研究対象者に対する描画を検出できた人数の割合）結果を環境照度別に示す．3つの結果から，環境照度が低いほど検出に必要な輝度コントラストが高くなる傾向がある．

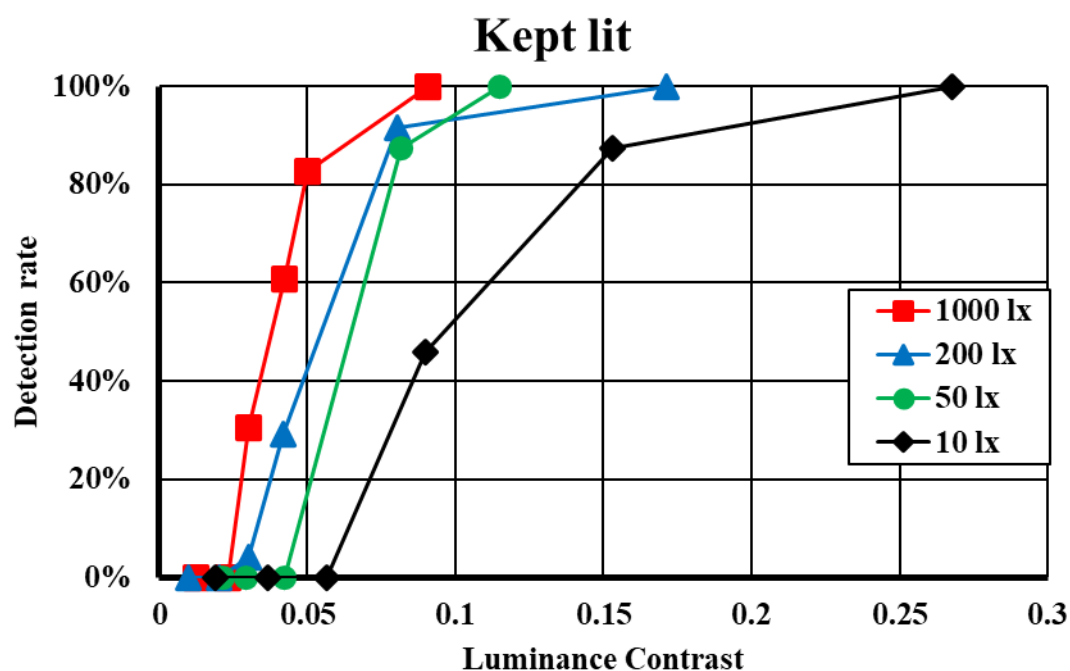


図 3-17： 点灯方法：通常での路面描画検出率結果（シーン A）

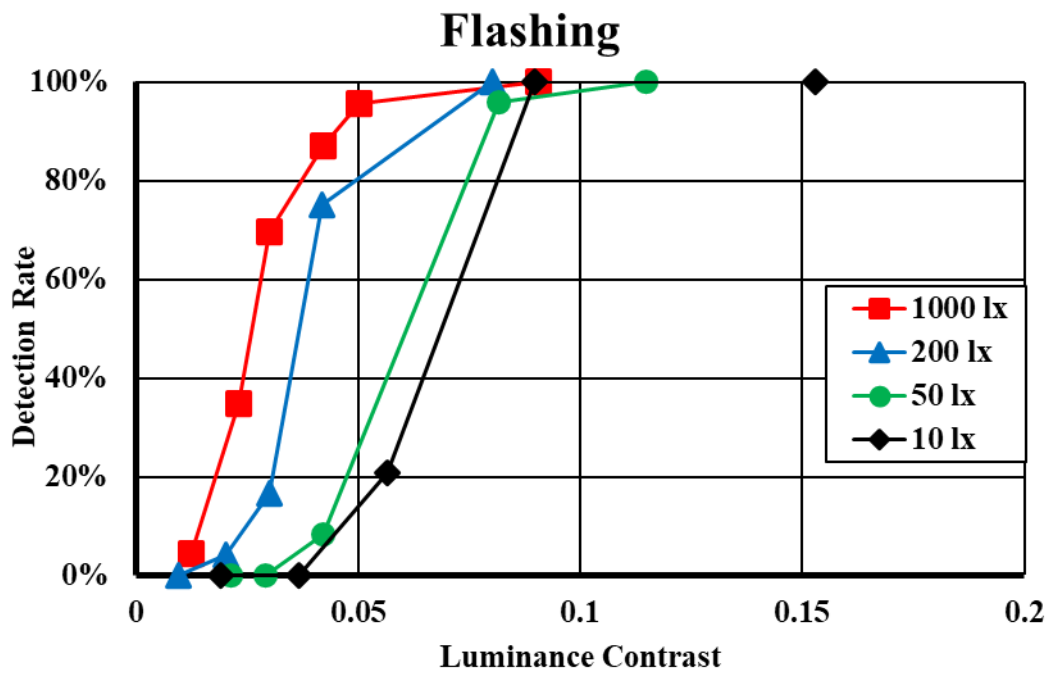


図 3-18： 点灯方法：点滅での路面描画検出率結果（シーン A）

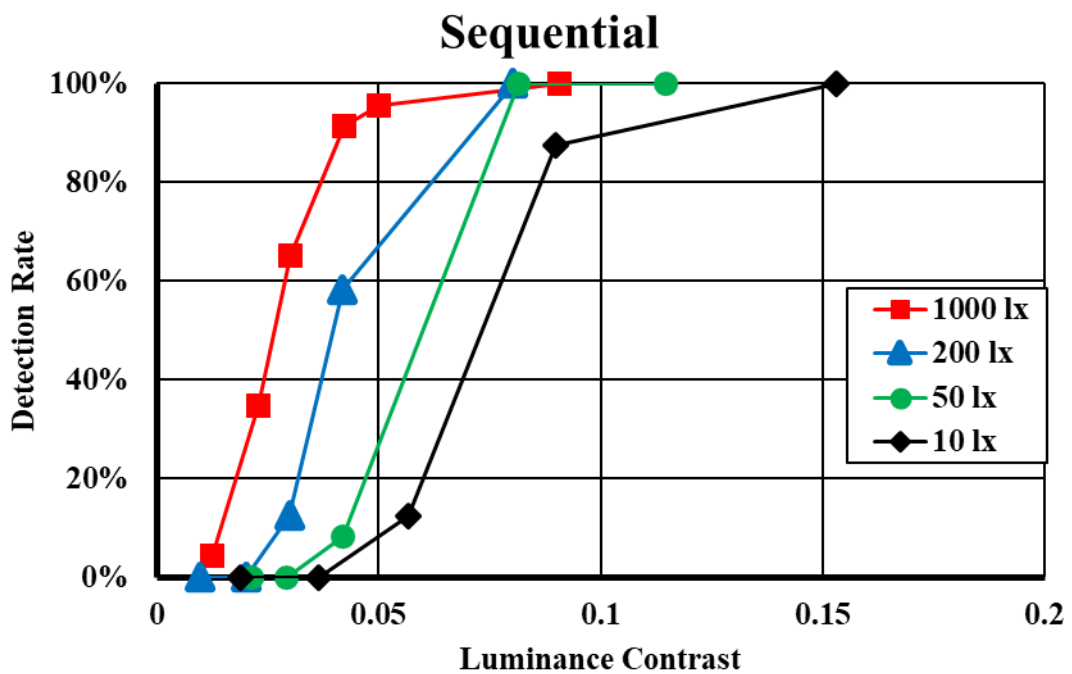


図 3-19： 点灯方法：シーケンシャルでの路面描画検出率結果（シーン A）



b. 点灯方法別結果

3種類の点灯方法の違いによる、路面描画検出率結果を環境照度別に示す（図 3-20：環境照度 1,000lx，図 3-21：環境照度 200lx，図 3-22：環境照度 50lx，図 3-23：環境照度 10lx）。点滅とシーケンシャルはほぼ同レベルの検出率で、通常点灯はこれらより低い検出率となった。

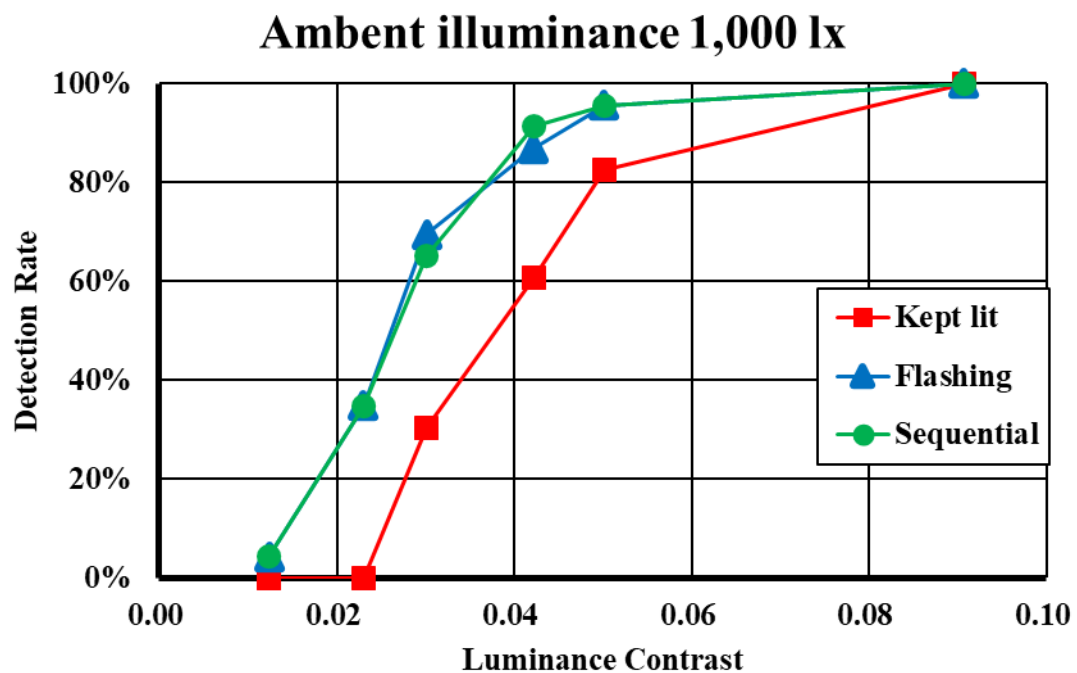


図 3-20：点灯方法別路面描画検出率結果  
(シーン A 環境照度 1,000lx)

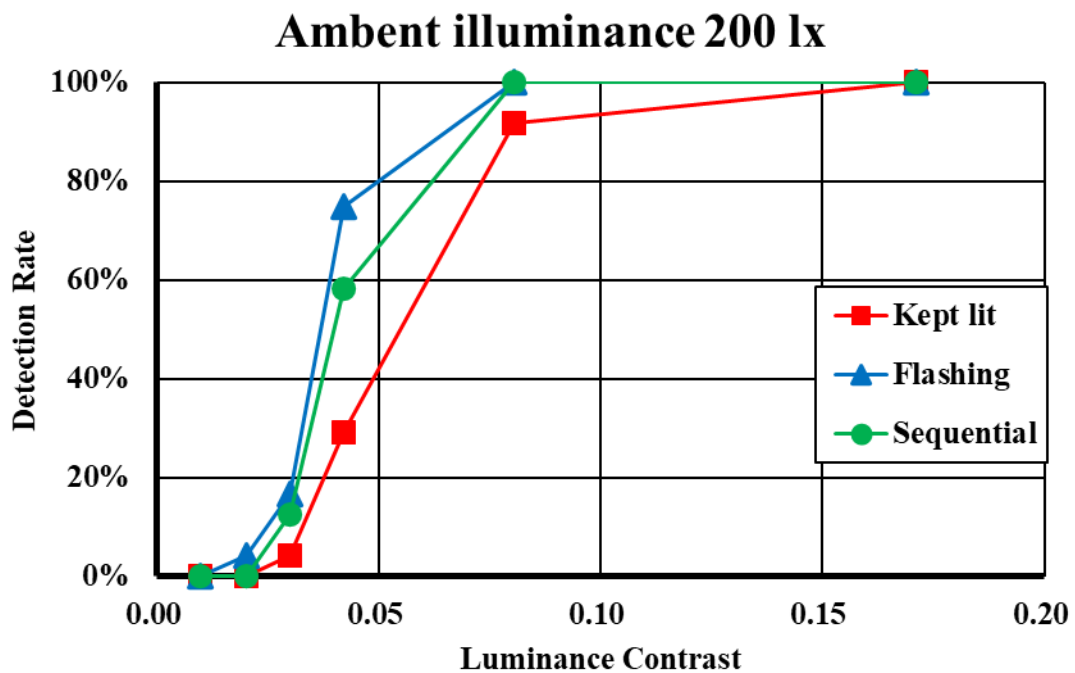


図 3-21：点灯方法別路面描画検出率結果  
(シーン A 環境照度 200lx)

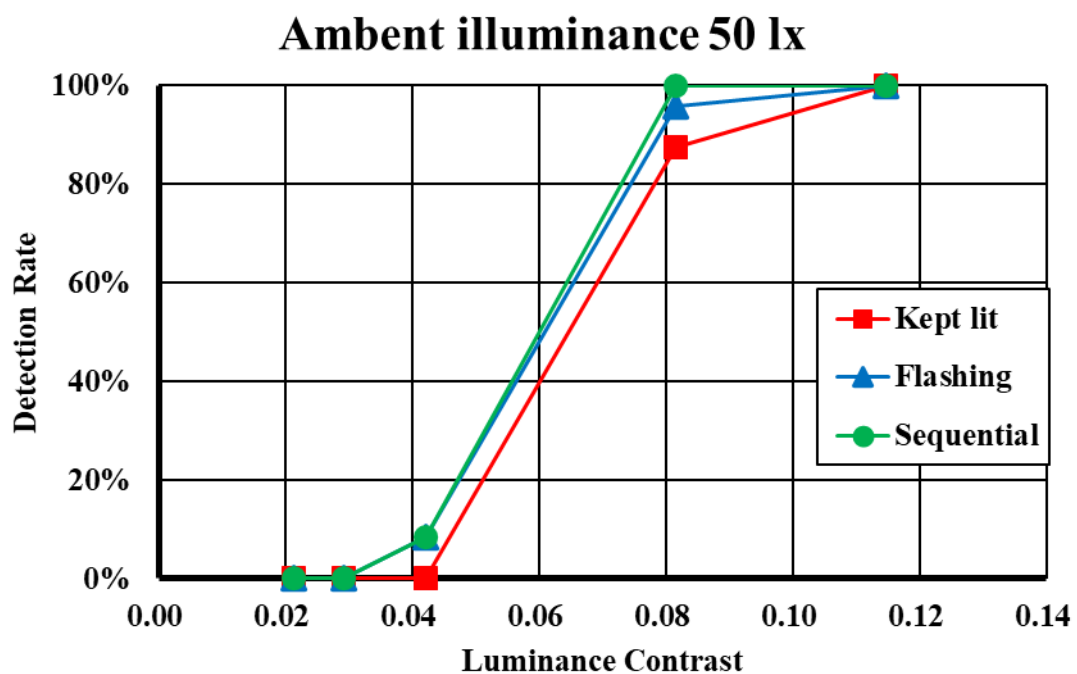


図 3-22：点灯方法別路面描画検出率結果  
(シーン A 環境照度 50lx)

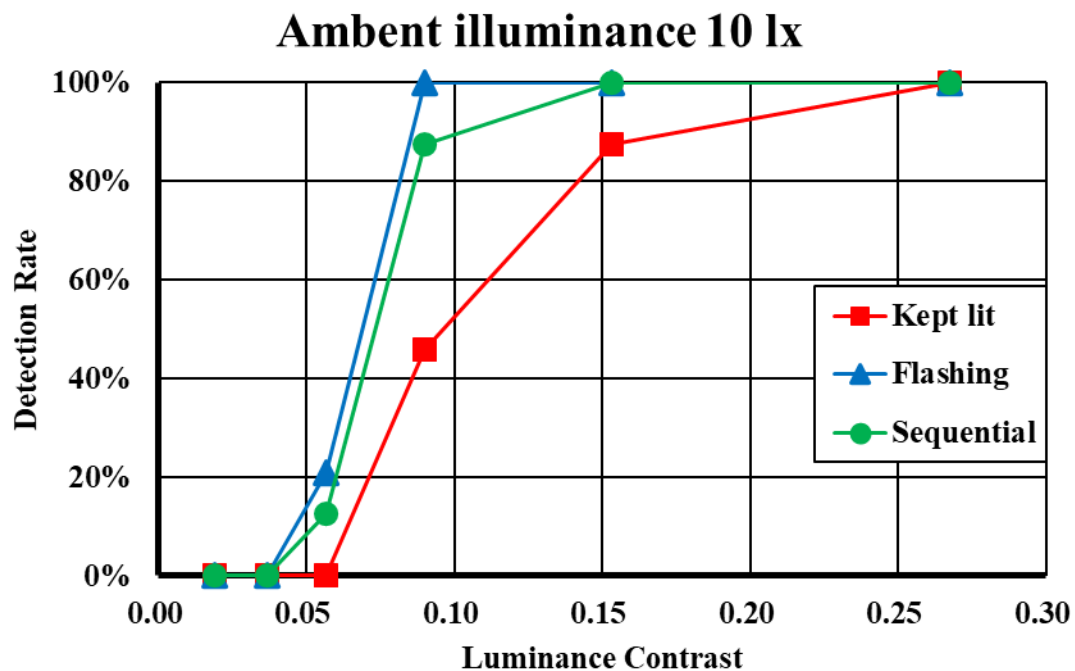


図 3-23：点灯方法別路面描画検出率結果  
(シーン A 環境照度 10lx)

表 3-7 に路面描画を検出した平均輝度コントラストと標準偏差を示す。

表 3-7： シーン A での環境照度別，路面描画平均検出  
輝度コントラストと標準偏差

点灯方法	項目	環境照度			
		1,000lx	200lx	50lx	10lx
通常	平均輝度コントラスト	0.049	0.081	0.086	0.138
	標準偏差	0.021	0.049	0.011	0.057
点滅	平均輝度コントラスト	0.034	0.049	0.079	0.083
	標準偏差	0.015	0.019	0.011	0.013
シーケンシャル	平均輝度コントラスト	0.034	0.056	0.078	0.094
	標準偏差	0.015	0.021	0.011	0.025

各環境照度別に一元配置分散分析をした結果は、環境照度 1,000lx で  $F(2, 69) = 8.483$ ,  $p < 0.001$ , 環境照度 200lx で  $F(2,69) = 10.782$ ,  $p < 0.001$ , 環境照度 50lx で  $F(2,69) = 3.116$ ,  $p = 0.051$ , 環境照度 10lx で  $F(2,69) = 10.376$ ,  $p < 0.001$  であった.

点灯方式別に Sidak の方法で多重比較をした結果を表 3-8 に示す. 環境照度 50lx を除き, 通常一点滅, 通常一シーケンシャルは有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められた.

表 3-8 : シーン A 点灯方式別多重比較結果

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

環境照度	通常一点滅	通常一 シーケンシャル	点滅一 シーケンシャル
1,000lx	**	**	ns
200lx	**	**	ns
50lx	ns	*	ns
10lx	**	**	ns

### 3-5-2. シーン B（脇見歩行者）結果

#### a. 環境照度別結果

図 3-24 に点灯方法：通常点灯，図 3-25 に点滅，図 3-26 にシーケンシャルの路面描画検出率（全研究対象者に対する描画を検出できた人数の割合）結果を環境照度別に示す．シーン B では多少の前後はあるものの，環境照度が低いほど路面描画の検出に必要な輝度コントラストが高くなる傾向が見られた．

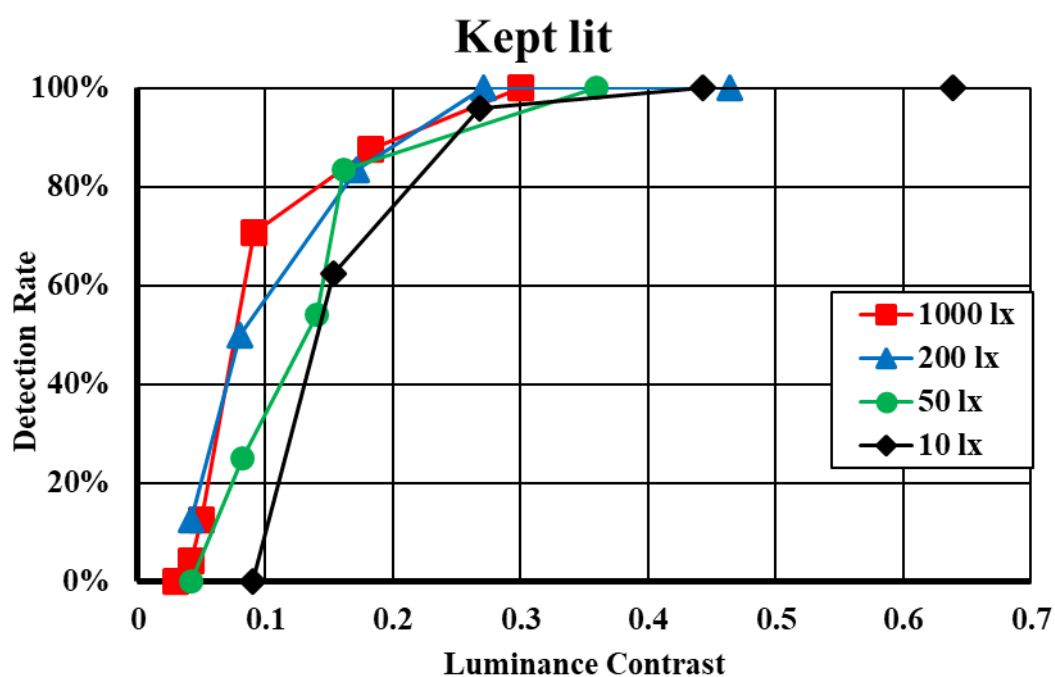


図 3-24： 点灯方法：通常での路面描画検出率結果（シーン B）

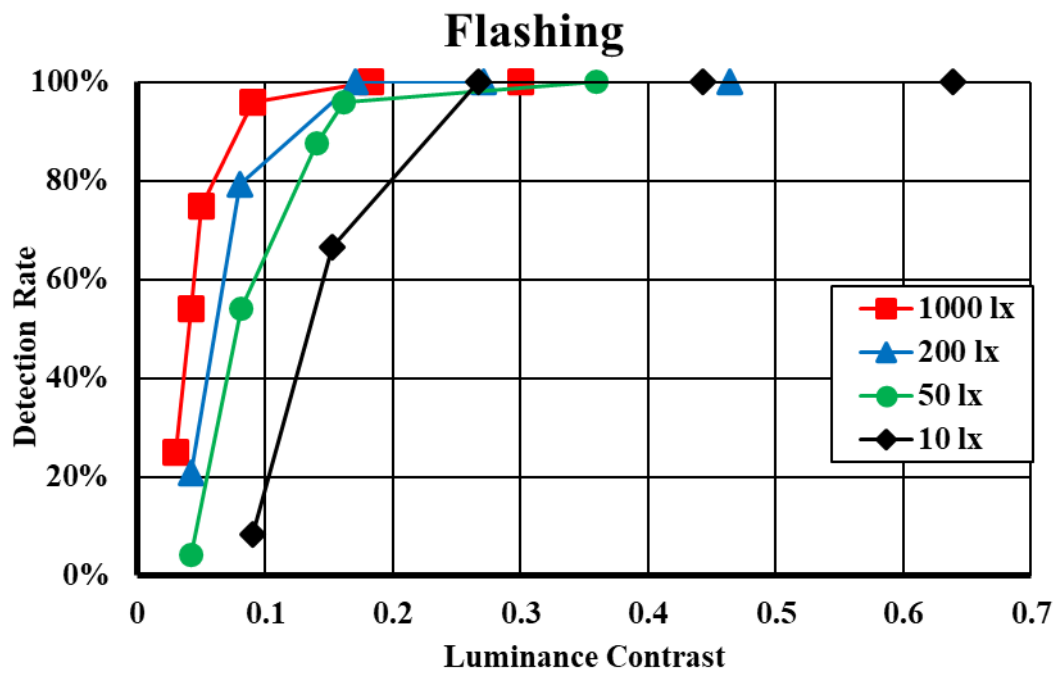


図 3-25： 点灯方法：通常での路面描画検出率結果（シーン B）

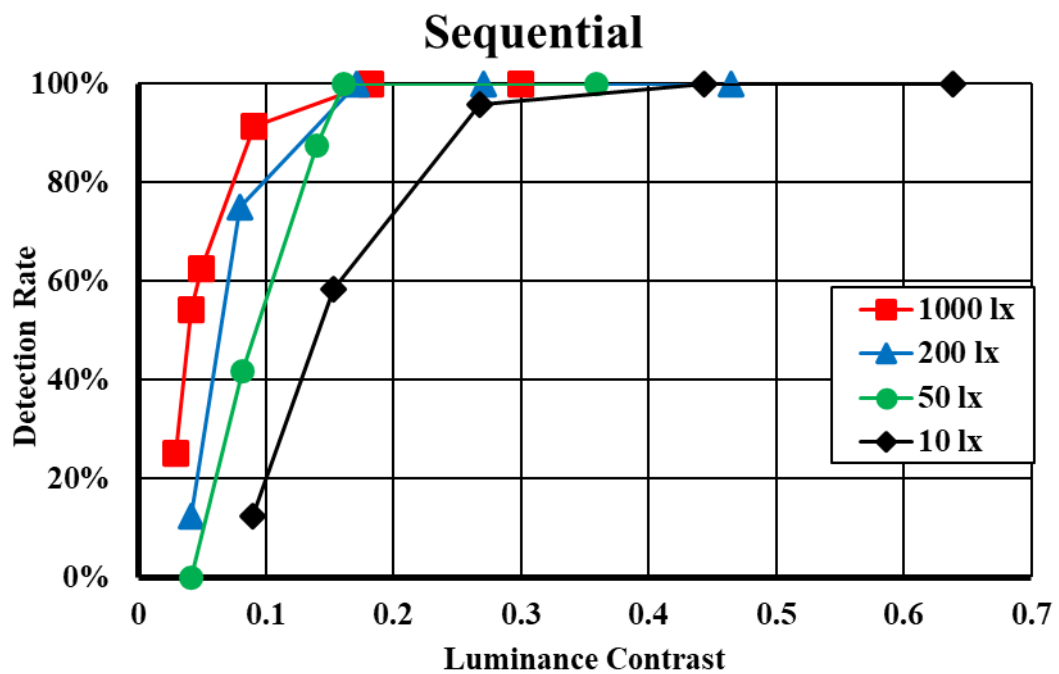


図 3-26： 点灯方法：シーケンシャルでの路面描画検出率結果  
（シーン B）

b. 点灯方法別結果

3種類の点灯方法の違いによる、路面描画検出率結果を環境照度別に示す（図 3-27：環境照度 1,000lx，図 3-28：環境照度 200lx，図 3-29：環境照度 50lx，図 3-30：環境照度 10lx）。シーン A と同様に、点滅とシーケンシャルが輝度コントラストに対しほぼ同レベルの検出率で有るのに対し、通常点灯はこれらより低い検出率となった。

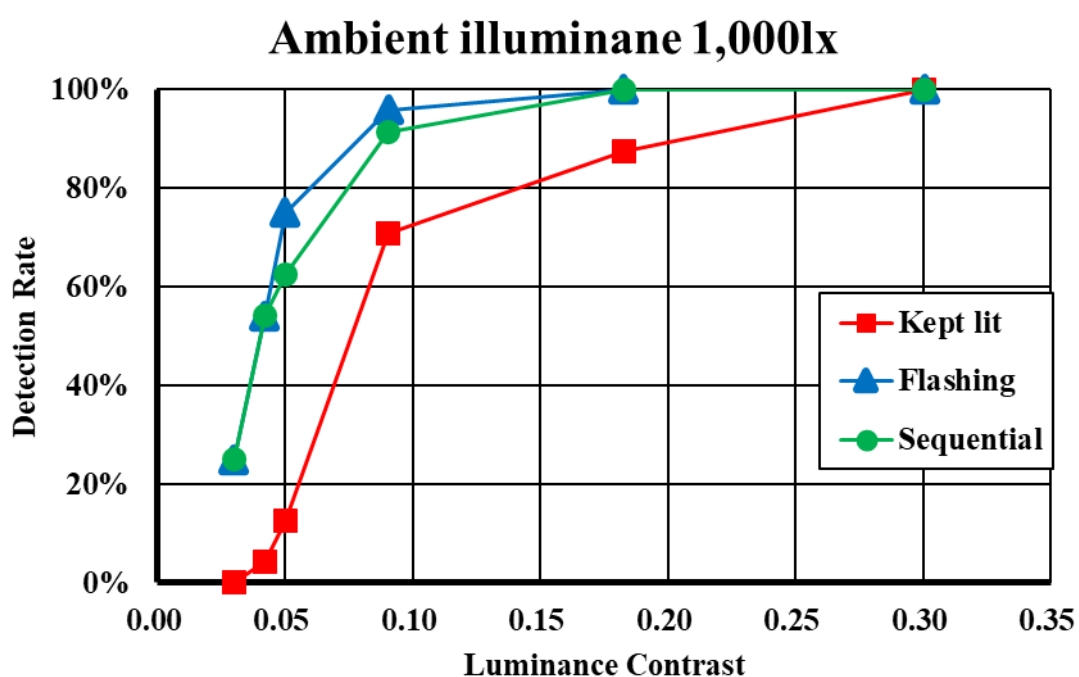


図 3-27：点灯方法別路面描画検出率結果  
(シーン B 環境照度 1,000lx)

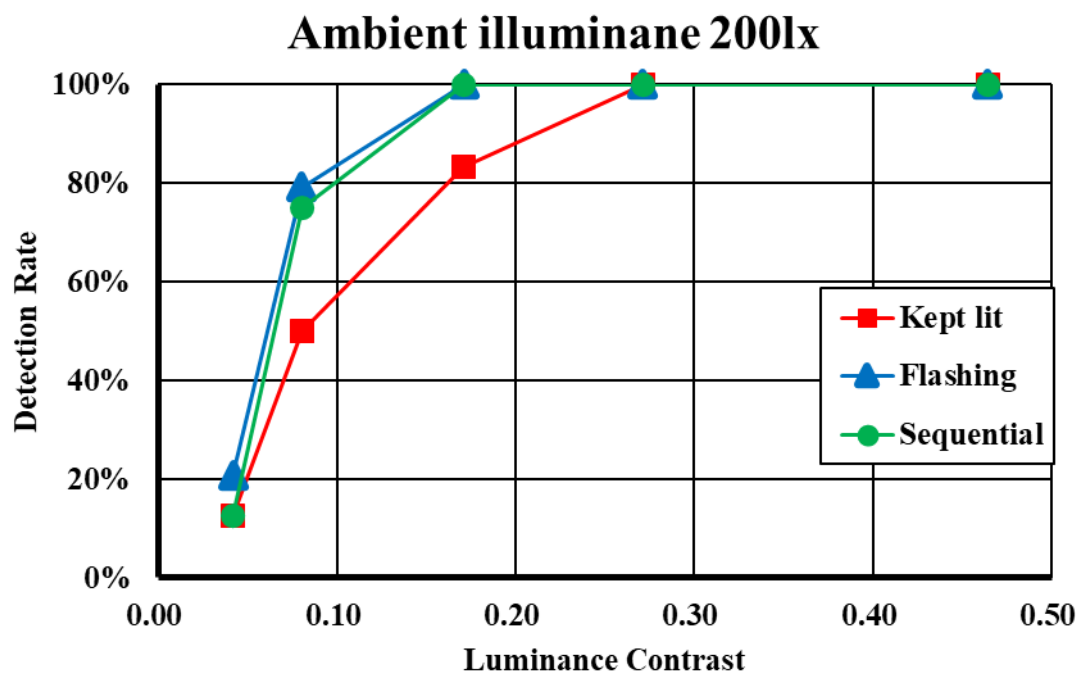


図 3-28 : 点灯方法別路面描画検出率結果  
(シーン B 環境照度 200lx)

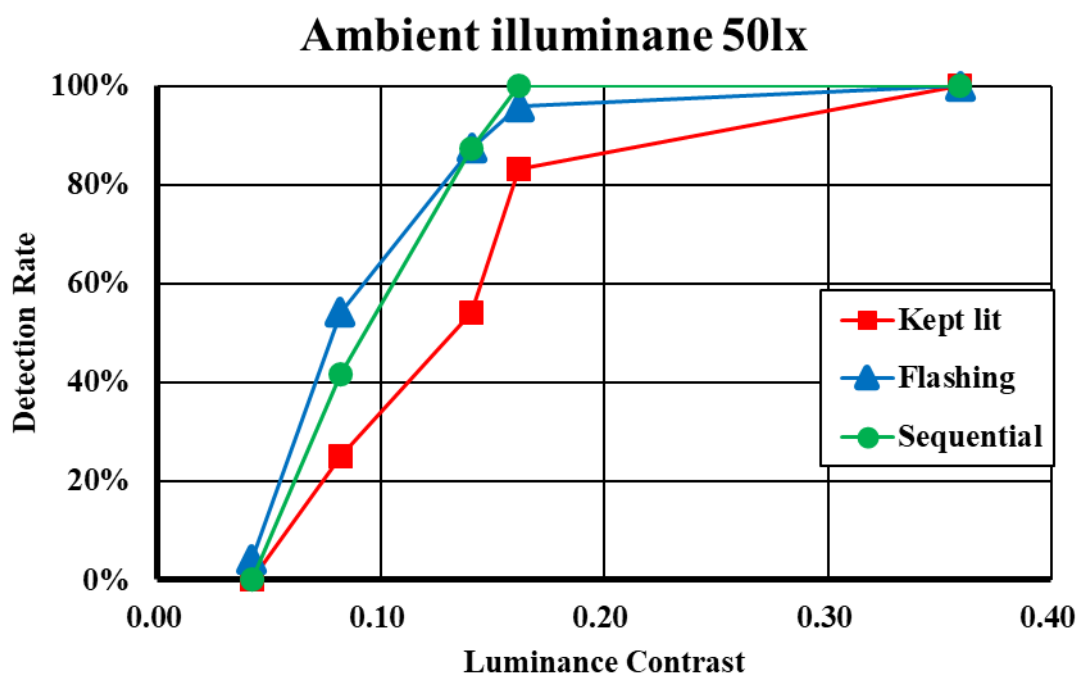


図 3-29 : 点灯方法別路面描画検出率結果  
(シーン B 環境照度 50lx)



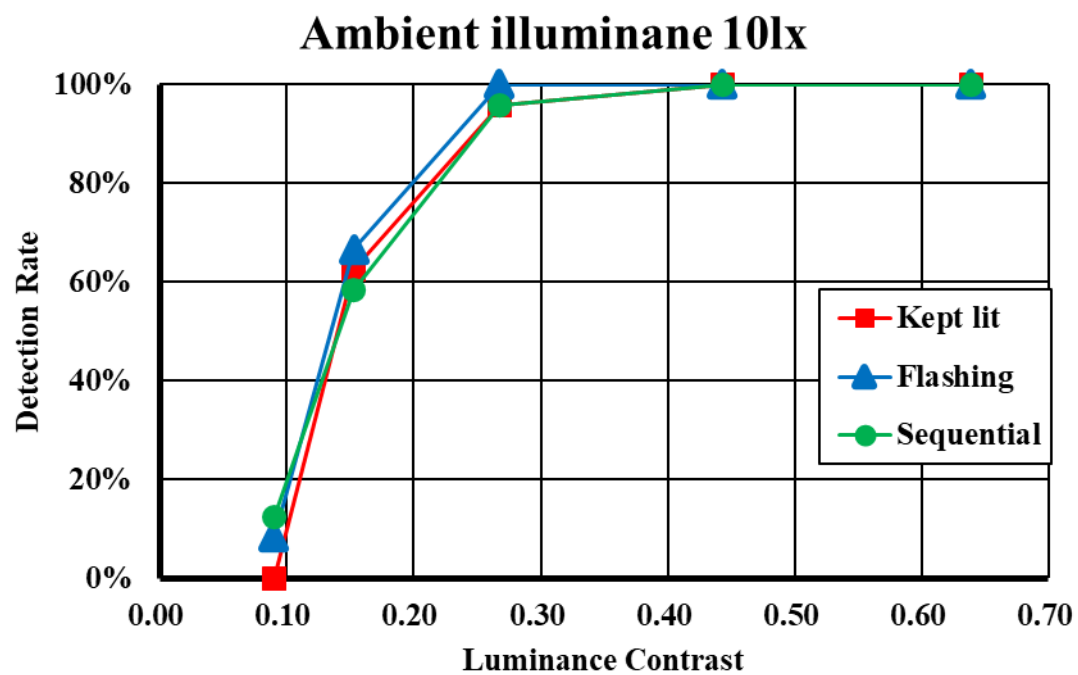


図 3-30：点灯方法別路面描画検出率結果  
(シーン B 環境照度 10lx)

表 3-9 に路面描画を検出した平均輝度コントラストと標準偏差を示す.

表 3-9 : シーン B での環境照度別, 路面描画平均検出  
輝度コントラスト標準偏差

点灯方法	項目	環境照度			
		1,000lx	200lx	50lx	10lx
通常	平均輝度 コントラスト	0.127	0.138	0.168	0.203
	標準偏差	0.076	0.371	0.091	0.073
点滅	平均輝度 コントラスト	0.057	0.091	0.118	0.186
	標準偏差	0.034	0.302	0.060	0.060
シーケンシャル	平均輝度 コントラスト	0.068	0.098	0.119	0.200
	標準偏差	0.048	0.313	0.032	0.082

各環境照度別に一元配置分散分析をした結果は, 環境照度 1,000lx で  $F(2, 69) = 12.106$ ,  $p < 0.001$ , 環境照度 200lx で  $F(2,69) = 4.426$ ,  $p = 0.016$ , 環境照度 50lx で  $F(2,69) = 4.454$ ,  $p = 0.015$  環境照度 10lx で  $F(2,69) = 0.377$ ,  $p = 0.688$  であった.

点灯方式別に Sidak の方法で多重比較をした結果を表 3-10 に示す. 通常一点滅は全環境照度で, 通常ーシーケンシャルは 1,000lx, 50lx で有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められた.

表 3-10 : シーン B 点灯方式別多重比較結果

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

環境照度	通常一点滅	通常ー シーケンシャル	点滅ー シーケンシャル
1,000lx	**	**	ns
200lx	**	ns	ns
50lx	**	**	ns
10lx	**	ns	*

### 3-5-3. タスク違いの影響

シーン A と B の比較をするため同じ環境照度及び点灯方法での結果を比較した．図 3-31 に結果例（環境照度 1,000lx，点灯方法点滅）を示す．シーン B はシーン A よりも路面描画の検出に必要な輝度コントラストが高くなる．

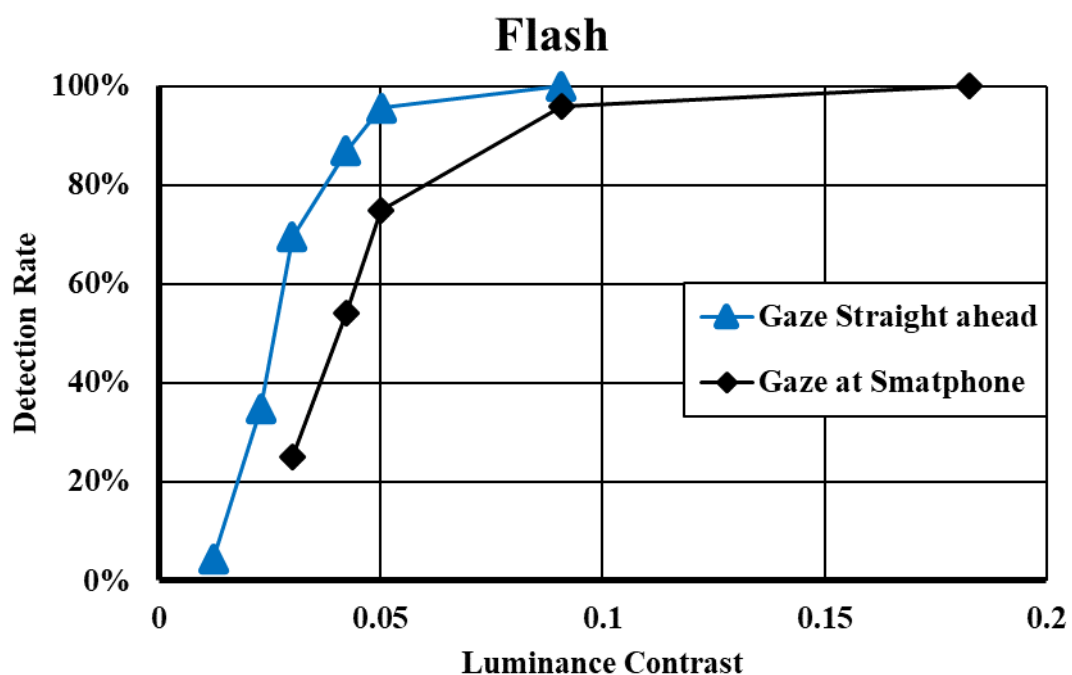


図 3-31：タスク別路面描画検出率結果（点滅，環境照度 1,000lx）

## 3-6. 官能評価実験方法

標識灯路面描画には，路面描画により周囲の交通参加者に気づかせることと，描画により自車の動きを伝えるという2つの目的がある．前章までは主に気づかせるという観点での実験であったが，本節では路面描画の点灯方式の違いで，交通参加者に対し車両の動き（今回は車両の後退）の伝わりやすさを知るという観点で官能評価を行った．

### 3-6-1. 実験レイアウト

図3-32に実験レイアウトを示す．路面描画検出実験と同じ場所で行った．ただし検出実験は研究対象者にタスクを与えて視野の周辺部に路面描画を呈示していたのに対し，本実験は研究対象者に前方5mの路面描画を注視させた状態で実験を行った．また研究対象者が容易に描画形状を視認できる輝度コントラストとするため，外部照明は点灯していない．

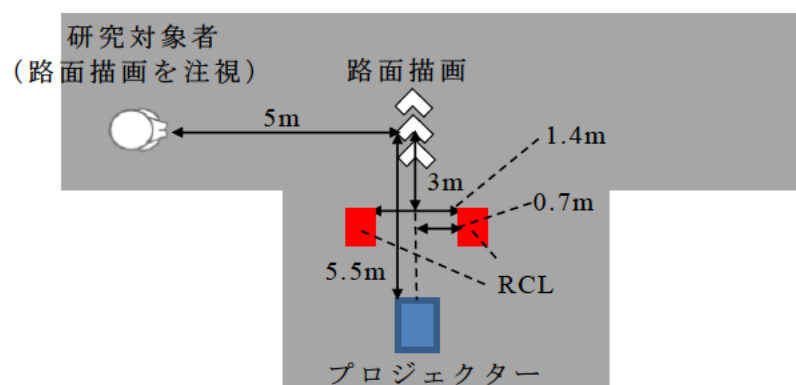


図3-32： 実験レイアウト

### 3-6-2. 実験条件

#### a. 描画，環境照度条件

評価時の環境照度は 0.2～1.0 lx で行った．路面描画用ランプ光度は ND フィルタで減光しない 41,500 cd（プロジェクター最大光度）で路面描画を照射した．

#### b. 評価尺度

図 3-33 に示す 5 段階の評定を用い，研究対象者に車両の後退行動の伝わりやすさを評価してもらった．評価結果に 1～5 の評点を当てはめて集計した．



図 3-33： 車両後退の伝わりやすさ評価尺度

#### c. 研究対象者

研究対象者は3-4節路面描画検出実験と同じ，視力0.7以上を有する 26歳～60歳の24名（男性19名，女性5名），年齢層別は20代8名，30代8名，40代3名，50代以上5名で行った．

### 3-7. 官能評価実験結果

図3-34点灯方式別に点灯方式別の官能評価結果を示す．評価はシーケンシャル，点滅，通常の順に高い値となっている．

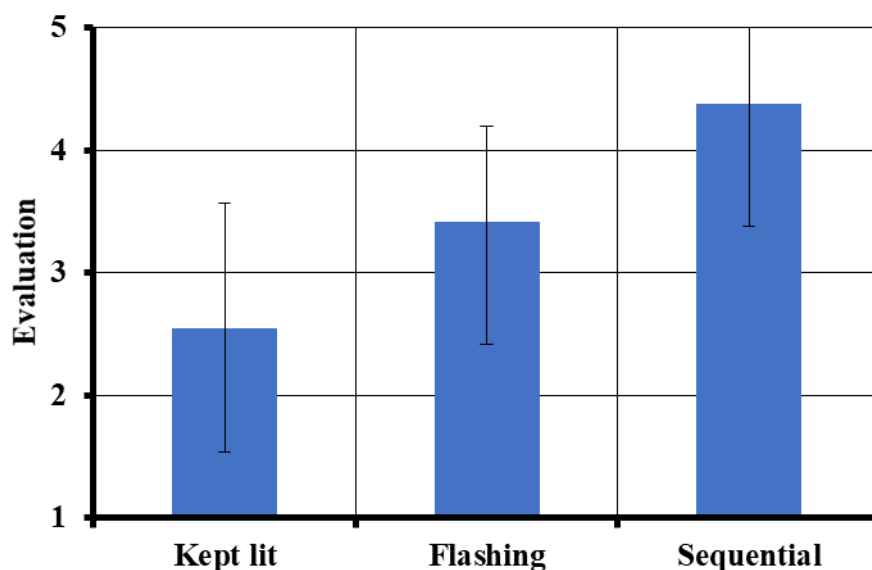


図3-34： 路面描画官能評価結果

この結果を一元配置分散分析したところ， $F(2, 69) = 27.082$ ,  $p < 0.001$  で，Sidakの方法で多重比較を行ったところ，通常，点滅，シーケンシャルの各点灯方式間で有意差（ $p < 0.001$ ）が認められた．

Hammらはターンシグナルランプ用路面描画を用い，シーケンシャル点灯と通常点灯の官能評価を実施したところ，シーケンシャル点灯が好ましいという結果を得た【52】．

また車両に搭載したターンシグナルランプの印象評価実験，及び点灯反応実験を3種類の点灯方式（LED点滅，白熱バルブ点滅，LEDシーケンシャル点灯）で行ったところ，研究対象者の77.2%が点滅よりシーケンシャル点灯が望ましいと回答した，シーケンシャル点灯は点滅より車両進行方向の正答率が4割上昇する，シーケンシャル点灯は点滅より早く気づく，という結果が報告された【53】．

以上から，車両の動きを示す路面描画はシーケンシャル点灯が適していると言える．

### 3-8. 考察

今回得られた実験結果に対して，結果を考察する．

#### 3-8-1. 交通参加者が気づくために必要な， 路面描画ランプ性能

2章と同様に実験で得られた結果から統計的にどの程度の輝度コントラストがあればほぼすべての交通参加者が路面描画に気づくのかを検討した．路面描画に気づく人数と輝度コントラストの分布が正規分布になると仮定し，全体の 99.9%の人が路面描画に気づく値に相当する， $3\sigma$  ルールに基づいて値を計算した．

計算した結果を表 3-11 に示す．いずれのシーンでも点滅とシーケンシャルは通常より必要な輝度コントラストは低かった．

表 3-11 : 各実験シーンで得られた点灯方式別  
平均値+ $3\sigma$  の輝度コントラスト

環境照度 シーン点灯条件		1,000lx	200lx	50lx	10lx
シーン A	通常	0.11	0.23	0.12	0.31
	点滅	0.08	0.11	0.11	0.12
	シーケンシャル	0.08	0.12	0.11	0.16
シーン B	通常	0.36	0.36	0.44	0.42
	点滅	0.16	0.22	0.30	0.37
	シーケンシャル	0.21	0.23	0.21	0.44

表 3-11 に示した結果を実際のランプ性能に反映させるため、ランプの光度に変換する必要がある。今回、ランプ取り付け高さ 0.9m, 照射距離 3m（図 3-35 参照）という条件で、ランプ光度を求めた。ランプ光度の計算方法は 2-8-1 節で説明した方法と同様である。

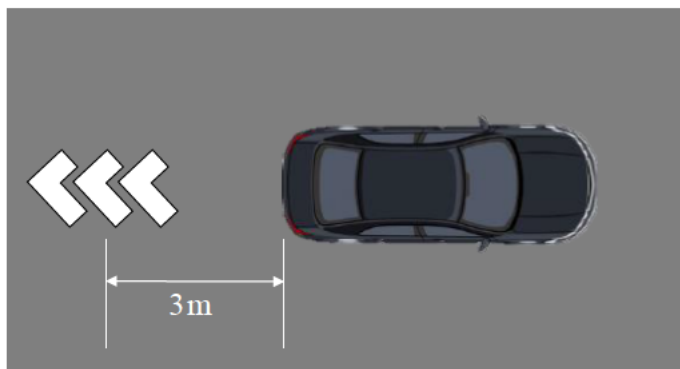


図 3-35： 後退用路面描画の想定照射位置

表 3-11 の輝度コントラストを満たすランプ光度を計算した結果を表 3-12 に示す。路面描画用ランプの光度が 11,561cd 以上、かつ環境照度 1,000lx 以下であれば、全ての交通参加者が路面描画の点灯に気づくことができる。

表 3-12： 各実験シーンで得られた平均+3 $\sigma$  のランプ光度（単位 cd）

シーン点灯条件 \ 環境照度		1,000lx	200lx	50lx	10lx
シーン A	通常	4,258	1,534	223	112
	点滅	3,263	913	200	38
	シーケンシャル	2,474	1,036	210	51
シーン B	通常	11,561	3,230	880	229
	点滅	6,600	1,872	559	188
	シーケンシャル	7,812	1,914	356	213



### 3-8-2. 路面描画の色違いによる影響

2章で述べたターンシグナルランプ連動路面描画検出実験は照射色をアンバー、点滅周波数1Hzで実験を行った。この実験でも同様に、環境照度を変えて正面注視時と手元注視時における路面描画検出実験を行った。この実験結果と比較するため、各タスク（シーンA：正面注視，シーンB：手元注視）で路面描画検出に必要な輝度コントラストを表3-13に示す。

表3-13：照射色違いで路面描画の検出に必要な輝度コントラスト

タスク・照射色		環境照度			
		1000lx	800lx	50lx	10lx
シーンA 正面注視	アンバー	—	0.16	0.16	0.18
	白	0.08	—	0.11	0.12
シーンB 画面注視	アンバー	—	0.22	0.59	2.74
	白	0.16	—	0.30	0.37

1章で述べたように一般的に有彩色光は誘目性が高いと言われている【16, 17】。しかし今回の実験結果では、アンバーより白色光の方が必要な輝度コントラストが低い結果となり、既往研究とは異なる傾向であった。理由として以下の事項が考えられる。

シーンAについて

- ・ 色を識別する錐体細胞は中～長波長域に感度を有するL錐体及びM錐体と短波長側に感度を有するS錐体で構成される。錐体細胞は網膜の中心である中心窩から周辺になるほど数が減少し、特にL錐体及びM錐体はS錐体より減少率が高い。今回の実験では描画の呈示位置はおよそ17deg下側であり、アンバーの感度が高いL錐体及びM錐体の数が少なかったと推測される。

- ・ 仮に錐体細胞が寄与していたとしてもアンバーのB/L比はさほど高くなく気づきやすさへの寄与が少ないと推測される（1-1-4節，図1-14参照）。

#### シーンBについて

- ・ 色を識別する錐体細胞は網膜の中心から周囲20～30deg付近までしか存在せず，この付近の刺激は色の判別が難しいと言われる【54】。本実験では手元の画面を注視させたため，路面描画呈示位置が注視方向に対し65.7deg上側となり，この領域では色の影響が出ないと考えられる。

ただし研究対象者の数が異なる，環境照度が異なる，等の条件の差異が存在するため，色の違いのみで条件が比較できるような実験が必要である。

### 3-8-3. 路面描画ランプの点灯と交通参加者の視認行動

図 3-36 に歩行者が路面描画検出から認識するまでの流れを示す．本実験のレイアウトでは歩行者が路面描画を検出する際，視野の周辺（周辺視）で検出をする．周辺視は点滅や動きの検出に優れるという特徴があり，本実験結果で通常点灯よりも点滅・シーケンシャルが路面描画に気づきやすかったという結果と一致する．

一方歩行者は描画に気づいた後確認をする場合，視線を移動し視野の中心（中心視）で認識をする．中心視は詳細な形状を認識でき，適した形状や点灯方法であれば歩行者は容易に車両の動きが理解できる．点滅は描画形状の変化が無いのに対し，シーケンシャルは時間経過により描画形状が順次変化する．シーケンシャルは描画形状の変化方向と進行方向が一致しているため車両の動きを理解しやすく，官能評価実験の結果が高くなっていると考えられる．

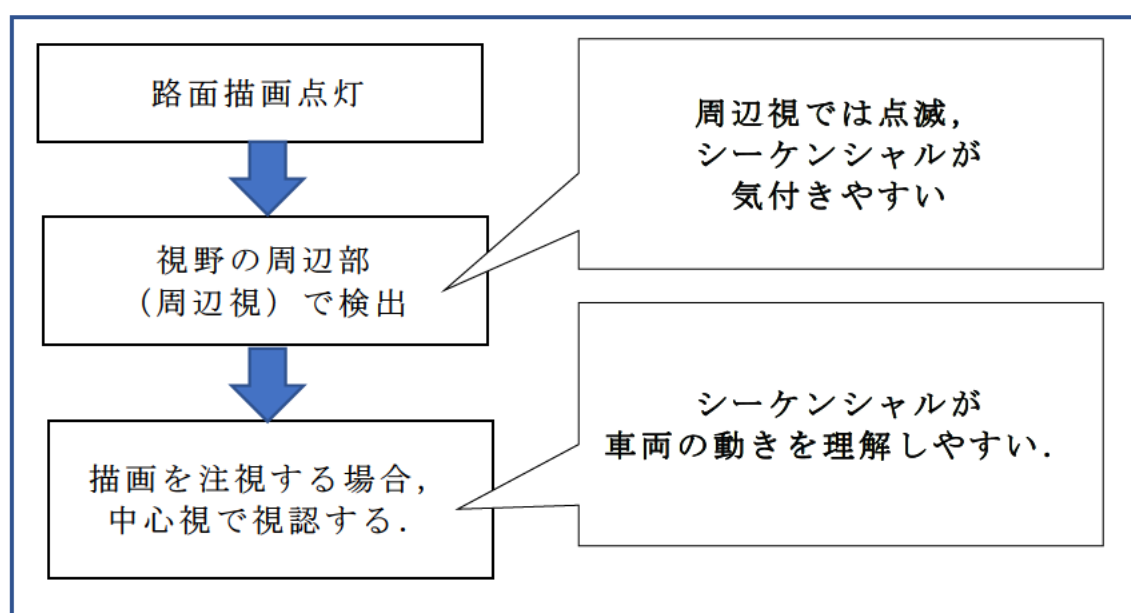


図 3-36： 路面描画照射による交通参加者の行動変化予測

以上から，気づきやすくかつ車両の動きを正しく理解しやすい点灯方法はシーケンシャルと言える．

### 3-9. まとめ

本研究で得られた結果は以下の通りである．

- ・ 環境照度が高くバックランプ発光面が見えない場合，歩行者がバックランプの点灯に気づかないケースが存在し，路面描画により気づかせることができる．
- ・ 正面を注視する歩行者よりも脇見の歩行者（手元の画面を注視）の方が，路面描画に気づくのに高い輝度コントラストが必要である．
- ・ 路面描画ランプが気付きやすい点灯方法は点滅またはシーケンシャルであり，脇見状態（シーン B）ほど顕著となる．
- ・ 車両後退の動きが最も伝わりやすい点灯方法はシーケンシャルである．

# 第 4 章

## 結 言

本章では本研究で得られた結果のまとめ及び、今後の展望について述べる．

## 4-1. 本研究のまとめ

周囲の交通参加者に対し車両の動きを伝える路面描画ランプについて、「路面描画形状」、「必要な輝度コントラスト，ランプ光度」，「点灯方法」に関し，必要な性能を環境照度及び研究対象者のタスク別で明らかにした．表 4-1 に本研究を通し得られた結果を示す．

表 4-1： 路面描画検出実験項目と得られた結果

章	実験項目	結果
2 章 形状別に 必要な 路面描画 ランプの性能 とグレア検証	形状別 検出率	路面描画を周辺視領域で検出する場合，描画形状の違いで，検出のしやすさに差はない．
	タスク別 検出率	脇見状態では描画の検出に必要な輝度コントラスト，ランプ光度が上昇する． 低い環境照度で明るい画面を注視した場合，検出に必要な輝度コントラストが上昇する
3 章 点灯方法別に 必要な 路面描画 ランプの性能	照射色別検出率 (2 章結果比較)	白色とアンバーで検出率の違いは少ない．
	点灯方法別 検出率	点滅・シーケンシャルが通常点灯より低い輝度コントラスト，ランプ光度で描画を検出できる．
	点灯方法別 印象評価	印象評価実験ではシーケンシャルが，最も車両の動きを理解しやすい．

夜間の交通事故，特に車両に対し交通弱者と言われる歩行者，二輪車に対する重大事故低減は重要な課題である．この課題に対し，路面描画ランプは有効な手段の 1 つであると考える．

1 章では自動車用照明機能の進化と交通事故統計から，自動車用照明が夜間交通事故低減に果たす役割は大きいことを示した．またこれまでは照明機能の進化によるドライバの視認性向上に主眼が置かれていたのに対し，今後は光を用いた自車ドライバや周囲の交通参加者への意思伝達が重要な役割となることを示した．

2 章では交差点での左折巻き込み事故及び出会い頭事故を想定したターンシグナルランプと連動した路面描画検出に必要な輝度コントラストを，タスク別・環境照度別に求め，この結果からランプに必要な光度（下限値）を 6,350cd と算出した（環境照度 800lx 以下，照射距離 3m，ランプ取り付け高さ 0.7m での値）．また得られた下限値以上の光度である 10,330cd を有する路面描画呈示時のグレア（眩惑光）評価も実施し，周囲の交通参加者にまぶしさを与えないことを確認した．これら二つの結果から周囲の交通参加者に気づかせることができかつ眩しくない路面描画ランプの両立が可能であることを示した．

3 章では駐車場等での車両後退時に発生する事故を想定した，バックランプと連動した路面描画検出に必要な輝度コントラスト及びランプ光度を通常・点滅・シーケンシャルの 3 種類の点灯方式別に算出し，通常は 11,561cd 以上必要であるのに対し，点滅は 6,600cd 以上，シーケンシャルは 7,812cd 以上と通常点灯より低い光度で周囲の交通参加者に気づかせることが可能であることを示した（環境照度 1,000lx 以下，照射距離 3m，ランプ取り付け高さ 0.9m での値）．また研究対象者に対し官能評価を実施し，シーケンシャルが最も車両の動きと点灯イメージが一致することを示した．2 つの結果を併せて，気づきやすくかつ車両の動きが伝わりやすい点灯方法はシーケンシャルであることを示した．

## 4-2. 今後の展望

今回得られた路面描画に望まれる必要性能と現行 UN 法規（ターンシグナルランプ UN Reg. 6 【51】，バックランプ UN Reg. 23

【55】）との比較を表 4-2 に示す．必要光度に着目した場合，ターンシグナルランプ・バックランプ共に現行法規で認められた光度上限値は本研究で得られた必要光度より低い．また点灯方法に着目した場合，点滅またはシーケンシャルの路面描画が気づき易いことを示したが，現行法規ではバックランプの点滅・シーケンシャルが認められていない．

車両後退用路面描画に関しては Genesis 社から”Rear guide lamp”という名称で販売されているが（図 4-1 参照）【56】，現行法規である上限 8,000cd を満足し点灯はリバースギアと連動した常時点灯のみと推察される．路面描画ランプが周囲の交通参加者に自車の存在を容易に気づかせ，事故低減につなげるためには現行の UN 法規改定が必要不可欠である．

表 4-2. 路面描画ランプ必要性能と現行法規比較表

ランプ 機能	光度		点灯方法	
	必要 性能	現行 法規	必要 性能	現行 法規
ターン シグナル ランプ	6,350 cd <sup>※1</sup>	1,200cd MAX	点滅・ シーケンシャル	点滅・ シーケンシャル 可
バック ランプ	11,561 cd <sup>※2</sup>	8,000cd MAX <sup>※3</sup>		点滅・ シーケンシャル 不可

※1：環境照度 800lx 以下，照射距離 3m，取り付け高さ 0.7m での値

※2：環境照度 1,000lx 以下，照射距離 3m，取り付け高さ 0.7m での値

※3：5 deg より下側領域





図 4-1 : Genesis “Rear guide lamp”配光イメージ  
(【56】より引用)

本研究を通じ路面描画ランプの必要な仕様について得たが、限定的なシーンでの値であるため、以下のような課題が存在する。これら課題の解決に取り組む必要がある。

#### A. シーン内における車両の台数

今回は必要な性能を求めるため静止で路面描画を呈示する車両 1 台のみの単純なシーンでの実験を行った。しかし実際には路面描画機能を有する車両とそれ以外の車両の混在、複数台の路面描画機能を有する車両が同時に路面描画を照射する等が考えられる。

このようなシーンでの有効性及び背反事項の有無を確認する必要がある。これらを確認する手段として VR (Virtual Reality) が有効と考える。既往研究例として VR を使用した車体ディスプレイランプ表示種類による歩行者行動の変化を調査している【57】。

## B. 交通参加者に対する事前説明

本実験は、研究対象者に対し事前に路面描画が出ることを知らせて実験を行っている。しかし実際の交通環境では点灯する場所、タイミング等は交通参加者に対し伝わっていない。また実際に車両が動いた時の気づき易さなどの評価は行われていない。

例として、視対象の存在を予期している場合と予期していない場合に必要な所要値の比をフィールドファクターと呼ぶ。Roper らは夜間前照灯を点灯した状態で、対象物（本実験では歩行者を模したマネキン）の存在を事前に知らせない場合と存在を知らせた場合の視認距離を測定した【58】。図 4-2 に結果を示すが、予期した場合に対し、予期していない場合は 50%の研究対象者の視認距離が予期していた場合の 50%未満になることを示している。この結果から、ヘッドランプ環境では自動車運転時に路面上の障害物検出に必要な値は予期していない場合に必要な数値は 4 倍となり（照度、輝度などの測光値は距離の二乗に反比例するため）、この値がフィールドファクターとなる【59】。



図 4-2 : 前照灯による事前予期有無別の視認距離の比較  
（【60】より引用）

また道路照明分野の例では，ドライバが路上に存在する視対象を視認できるか否かを判断する評価尺度として可視度 (visibility level :  $VL$ と表記)が用いられている．可視度  $VL$ は視対象と背景の輝度差  $\Delta L$ と輝度差弁別閾  $\Delta L_{threshold}$ を用い，式 (4-1) で定義され【61】，視対象物の輝度が同じであっても，背景との輝度の差が大きいほど可視度が大きくなり視認しやすいことを示す．

$$VL = \frac{\Delta L}{\Delta L_{threshold}} \quad (4-1)$$

CIE-115 では，道路のクラス別で推奨される可視度を示している(表 4-3)．この中で最もクラスの低い M5 (田舎道などの交通量が比較的少ない道路) では道路照明により可視度が 5 以上になることが望ましいという報告がされている【62】．

表 4-3 : 道路クラス別推奨可視度

クラス	M1	M2	M3	M4	M5
必要な可視度	7.5	7.0	6.0	5.5	5.0

可視度の視対象を路面描画に置き換えて考えると，路面描画の気づきやすさに相当すると考え，可視度が表 4-3 に示す値よりも高ければ，路面描画の気づきやすさに影響しないと推察される．

今回得られた実験結果で値を比較する．3 章で示した後退用路面描画実験結果 (環境照度 1,000lx) から，シーン A (正面注視) での路面描画の検出実験結果 (平均輝度コントラスト) とシーン B (脇見) での路面描画検出実験結果から得られた平均+3 $\sigma$ 値を表 4-4 にまとめた．脇見を想定した平均+3 $\sigma$ 値の輝度コントラストを有する路面描画を呈示した場合，通常歩行想定時の路面描画検出輝度コントラスト平均値の 4 倍以上となり，前照灯でのフィールドファクターより高く気づく可能性が高くなる．また可視度も通常点灯及びシーケンシャル点灯では 5 以上となる．

表 4-4 : シーン別輝度コントラスト一覧と比率  
(環境照度 : 1,000lx)

シーン \ 点灯方法	通常	点滅	シーケンシャル
シーン A 検出輝度コントラスト平均	0.049	0.034	0.034
シーン B 検出輝度コントラスト平均値+3s 値	0.36	0.16	0.21
シーン B / シーン A 値 (フィールドファクター, 可視度 $VL$ に相当)	7.35	4.71	6.18

また自動車用の路面描画実験ではないが、先行研究で駅構内の床面に天井からプロジェクターでシンボルを照射し、誘導方向を示すダイナミックサインの検証実験を駅構内で行った。結果はアニメーション化したシンボルは静止シンボルより気づき易かったが、研究対象者に対し事前にダイナミックサインの存在は事前に知らせていないこと、移動時の注視方向は視線高より上方の割合が高いため、必ずしも全ての研究対象者がダイナミックサインに気付くことはできないという結果が示された【63】。

以上から、上記環境で本当に路面描画に気づくことができるのか、実車ベースでの評価を積み重ねる必要がある。

### C. 路面状態による特性の変化と路面描画の限界

本研究は日没前から夜間で必要な路面描画の仕様を得た。当然であるが、本実験環境より明るい環境照度では背景輝度が高くなるため路面描画による交通参加者への情報伝達は難しくなる。

今回の実験は乾燥アスファルト路面で行った。今回求めたランプ光度は今回行った実験場所でのアスファルト路面に必要な仕様となるため、アスファルトの特性の違いで値が変化する。同様に立体駐車場等のコンクリート舗装及び欧州で多くみられる石畳路等でも必要な値が変化する。また同じ路面でも雨天等路面湿潤時は反射特性が異なり、ランプ照射方向への反射光が増加するため、評価位置での路面輝度低下及び車両から照射する方向に存在する他の交通参加者へのグレアが増大する可能性がある。

今後はVR機器を活用した関連研究及び様々な環境で実車ベース評価をすすめ、路面描画ランプの早期法制化、市場への普及により交通事故低減に寄与したい。

## 参考文献

- 【1】 警察庁交通局「平成 30 年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について」(2021.3.14 閲覧)  
[https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r01kou\\_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1\\_2.html](https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r01kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_2.html)
- 【2】 警察庁「薄暮時間帯における交通事故防止」(2021.3.14 閲覧)  
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/anken/hakubo.html>
- 【3】 植木雅哉「自動車用ランプについて」, 照明学会誌, vol.86, No.12, pp.886-891 (2002)
- 【4】 Shinya Watanabe, Shigeyuki Watanabe: Development of LED Headlamp, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting (ISAL) 2007, pp88-96 (2007)
- 【5】 Mario Werkstetter, Stefan Weber, Florian Hirth, Christian Amann: Laserlicht im BMW i8 Ansteuerung und E/E-integration, ATZ-electronik, vol.4, pp.26-30 (2014)
- 【6】 石田裕之, 小松元弘「LED 化にともなうヘッドランプにおける光学系の進化」, 照明学会誌, Vol.99, No.6, pp.305-309 (2015)
- 【7】 佐々木勝「白色 LED を使用した自動車用ヘッドランプ」, レーザー研究, Vol. 38, No.8, pp.589-593 (2010)
- 【8】 Jörg Wallaschek, Jürgen Locher, Steffan Strauß: Lichttechnische Fahrassistentz, ATZ, vol.108, No.3, pp.204-211 (2006)
- 【9】 Franz-Josef Kalze, Ulrich-Christian Knaack, Björn Böke: Mehrzeiliges Scheinwerfersystem in der Mercedes-Benz E-Klasse, ATZ, Vol.118, No.2, pp.16-22 (2016)
- 【10】 Satoshi Yamamura, Hidetada Tanaka, Noriko Sato, Takao Muramatsu: Glare-free High Beam with Beam-scanning, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting (ISAL) 2013, pp.340-347 (2013)

- 【11】 H.R. Blackwell: Contrast Threshold of the Human eye, Journal of the Optical society of America, Vol. 36, No. 11, pp.624- 643 (1946)
- 【12】 小林正自「ドライバにやさしい自動車照明」,自動車技術,Vol.64, No.12, pp.79-86
- 【13】 H.J. Schmidt-Clausen: The Visibility Distance of a Car Driver in Driving Situation, SAE Technical Paper 820416 (1982)
- 【14】 大川正夫, 小林正自, 岡嶋克典: ヘッドライトの分光分布が路面の明るさ感に与える影響に関する研究, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集, 129-09, pp.21-26 (2009)
- 【15】 Y. Kita, T. Minoda, M. Uchida, S. Kawanobe, T. Sato: Color appearance of road signs under LED headlamps for drivers with different eye colors, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting (ISAL) 2013, pp.672-680 (2013)
- 【16】 Gunter Wyszecki: Photometry and its relevance to modern technology, Journal of Light and Visual Environment, vol.6, No.1, pp.1\_1-1\_6 (1982)
- 【17】 神作博: 色光の誘目性について, 照明学会誌, vol.51, No.11, pp.684-690 (1967)
- 【18】 小山浩平, 入倉隆: 光色と視野位置が誘目性に及ぼす影響, 第18回日本感性工学会大会(2016)
- 【19】 H. -J. Schmidt-Clausen, J. Th. H. Bindels: Assessment of discomfort glare in motor vehicle lighting, Lighting Research and Technology, Vol.6, No.2, pp.79-88 (1974)
- 【20】 W. S. Stiles, B. H. Crawford: The Effect of a Glaring Light Source on Extrafoveal Vision, Proceedings of the Royal Society, Vol. 122B, pp.255-280 (1937)
- 【21】 Commission Internationale de l'Eclairage: CIE Equations for Disability Glare, CIE 146 (2002)

- 【22】 N. Terai, K. Iwamoto, Y. Akashi: Veiling Luminance Caused by a Peripheral Glare Source on Extra-Foveal Vision, *Journal of Science and Technology in Lighting*, Vol. 41, pp.129-139 (2017)
- 【23】 Yuichi Shibata, Masanori Kito, Hiroyuki Ishida, Yugo Goto, Masayoshi Kamijo: Required Luminous Intensity of Road Projection Lamp in Conjunction with Turn Signal Lamp, *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting (ISAL) 2019*, pp.362-373 (2019)
- 【24】 E. -O. Rosenhahn: New Systems for Safety and Comfort Improvement by High Resolution Flexibility, *Proceedings of the SIA VISION*, pp.113-119 (2018)
- 【25】 M. Hamm, W. Huhn, J. Reschke: Ideas for Next Lighting Generations in Digitalization and Autonomous Driving, *SAE Technical Paper*, 2018-01-1038, doi: 10. 4271/2018-01-1038 (2018)
- 【26】 神邊篤史, 佐光悠, 高橋俊衡, 鈴木桂輔, 石田裕之: 先進的配光制御前照灯の情報提示によるドライバの衝突回避行動の分析, *日本機械学会第 27 回交通・物流部門大会* (2018)
- 【27】 D. Polin, T. Q. Khanh: Untersuchungen zu Scheinwerfern mit hochauflösenden Projektionsmodulen, *ATZ*, Vol.120, No.11, pp.102-105 (2018)
- 【28】 M. Hamm, W. Huhn: Glare Investigations and Safety Research on Digital Light Technologies, *SAE Technical Paper*, 2019-01-0849, doi: 10. 4271/2019-01-0849 (2019)
- 【29】 SAE J3134 Automated Driving System (ADS) Marker Lamp
- 【30】 Ann-Christin Hensch, Isabel Neumann, Matthias Beggiano, Josephine Halama, Josef F. Krems: Effects of a light-based communication approach as an external HMI for Automated Vehicles a Wizard-of-Oz Study, *Transactions on Transport Sciences*, Vol.10, No.2, pp.18-32 (2018)



- 【31】 J. Reschke, P. Rabenau, M. Hamm, C. Neumann: Symbolische Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion, VDI Berichte-2323, Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik, pp.95-106 (2018)
- 【32】 可視光半導体レーザー応用コンソーシアム HP (2021.3.14 閲覧)  
<https://vlda-cons.org/wp-content/uploads/2016/11/2b20d6bfa05c47a6d278687af9a72c01.pdf>
- 【33】 交通統計平成 30 年版：公益財団法人交通事故総合分析センター (ITARDA)
- 【34】 四輪車が右左折中に発生した死傷事故の分析：一般社団法人日本自動車工業会，公益財団法人交通事故総合分析センター (ITARDA) (2016)
- 【35】 交通安全教育に役立つ二輪車事故の分析－東京都内の特徴と対策－，公益財団法人交通事故総合分析センター (ITARDA) (2014)
- 【36】 公益社団法人全日本トラック協会 HP (2021.3.22 閲覧)  
[https://www.jta.or.jp/kotsuanzen/anzen/koutsu\\_anzen\\_undo\\_poster\\_spring2017.pdf](https://www.jta.or.jp/kotsuanzen/anzen/koutsu_anzen_undo_poster_spring2017.pdf)
- 【37】 Unfallforschung der Versicherer (ドイツ保険協会事故調査)HP (2021.3.22 閲覧)  
<https://udv.de/de/publikationen/unfallforschung-kompakt/unfaelle-zwischen-kfz-und-radfahrern-beim-abbiegen>
- 【38】 United nations vehicle regulation 151 (2021.6.14 閲覧)  
<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2020/R151e.pdf>
- 【39】 United nations vehicle regulation 48 (2021.3.23 閲覧)  
<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R048r12e.pdf>

- 【40】 T. Masuda, Y. Shibata, M. Hayakawa, S. Yamamura: Examination of the effectiveness of road surface drawing headlamps: Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting (ISAL) 2015, pp.503-512 (2015)
- 【41】 United nations vehicle regulation 112 (2021.3.24 閲覧)  
<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R112r3e.pdf>
- 【42】 Stefan Völker: Blendung durch Kfz-Scheinwerfer im nächtlichen Straßenverkehr. Ein Review bis 2006 - Beschreibung, Maßnahmen, Bewertungsmethoden (Schriftenreihe des Fachgebietes Lichttechnik, Bd. 10. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin), pp.133-134 (2017)
- 【43】 入倉隆：視覚と照明（株式会社裳華房），pp.77-78（2014）
- 【44】 猪野原誠，吉村義典，武内徹二：輝度対比弁別いきに及ぼす網膜順応輝度と対象物の背景輝度の影響，National Technical Report, Vol. 27, No.3, pp.435-441 (1981)
- 【45】 増田剛，小林正自，小松元弘，田中秀忠：路面の反射特性について（Ⅲ），平成 13 年度照明学会全国大会予稿集，p.160 (2001)
- 【46】 公益社団法人交通事故総合分析センター：ITARDA information No.128 四輪車後退時の事故，ITARDA (2019)
- 【47】 公益社団法人交通事故総合分析センター：ITARDA information No.115 駐車場等における歩行者対四輪車の事故，ITARDA (2016)
- 【48】 Pak J. –W. Hwang, K. –B. Lee: Safety Enhancement Effect of Backup Guide Lamps: Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting (ISAL) 2019, pp.123-132 (2019)
- 【49】 JIS Z 9110:1979 照明基準総則
- 【50】 入倉隆：視覚と照明（株式会社裳華房），pp.19-21（2014）

- 【51】 United nations vehicle regulation 6 (2021.3.24 閲覧)  
<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2020/R006r7e.pdf>
- 【52】 Michael Hamm, Christian Hinterwälder: Investigation on Safety Improvements by Lighting for Pedestrians and Cyclists, SAE Technical Paper, 2020-01-0633, doi: 10.4271/2020-01-0633 (2020)
- 【53】 Michael Hamm: Safety Improvement generated by Pioneering New Matrix and Direction Indicator Functions, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting (ISAL) 2013, pp.319-329 (2013)
- 【54】 入倉隆：視覚と照明（株式会社裳華房）, p57 (2014)
- 【55】 United nations vehicle regulation 23 (2021.4.28 閲覧)  
<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2020/R023r5e.pdf>
- 【56】 Genesis G70 HP (2021.4.28 閲覧)  
<https://www.genesis.com/worldwide/en/models/luxury-sedan-genesis/g70/safety.html>
- 【57】 T. Singer, D. Polin, B. Zandi, J. Kobbert, T. Q. Khanh: Investigation and comparison of pedestrian behavior in different encounter scenarios with automated vehicles, Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting (ISAL) 2019, pp.557-566 (2019)
- 【58】 Val. J. Roper, E. A. Howard: Seeing with Motorcar Headlamps, Transactions of Illuminating Engineering Society, vol.33, No.5, pp.417-438 (1938)
- 【59】 Kohei Narisada: Perception Under Road Lighting Conditions with Complex Surroundings, Journal of Light and Visual Environment, Vol.19, No.2, pp.5-14 (1995)
- 【60】 成定康平：道路照明の未来を語る－CIE ワルドラム賞受賞記念講演会，第 18 回日本照明委員会セミナー (2008)

- 【61】 一般社団法人照明学会：道路照明のジビリティレベルに関する研究調査委員会報告書 (2002)
- 【62】 Commission Internationale de l'Eclairage: Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, CIE115 (1995)
- 【63】 坂田礼子, 古畑直紀, 相川真実, 渡邊洋, 氏家弘裕, 伊藤納奈, 佐川賢: 快適・安全な社会の実現のためのダイナミックサイン, 光学, vol.49, No.7, pp.283-288 (2020)

## 発表論文

### 査読付き投稿論文

- 1) 柴田裕一，鬼頭壮宜，石田裕之，後藤優吾，上條正義:ターンシグナルランプ用路面描画の必要光度とグレア検証，自動車技術会論文集, vol.51, No. 6, pp.1068 - 1074 (2020)
- 2) 柴田裕一，鬼頭壮宜，石田裕之，後藤優吾，上條正義：車両後退用路面描画の必要性能，自動車技術会論文集, Vol.52, No.4, pp. 775 - 781 (2020)

### 海外発表論文

- 1) Yuichi Shibata, Masanori. Kito, Hiroyuki Ishida, Yugo Goto, Masayoshi Kamijo: Required Luminous Intensity of Road Projection Lamp in Conjunction with Turn Signal Lamp Proceedings of the 13<sup>th</sup> International symposium on Automotive Lighting (ISAL), pp362-374 (2019)
- 2) Yuichi Shibata, Masanori. Kito, Hiroyuki Ishida, Yugo Goto and Masayoshi Kamijo: Detection rate of projected light signals by lighting condition and activation modes, Proceedings of the SIA VISION Congress 2021, pp53-58 (2021)

国内学会発表

- 1) 柴田裕一，鬼頭壮宜，石田裕之，後藤優吾，上條正義：車両後退用路面描画の必要性能，自動車技術会 2020 年秋季大会学術講演会講演予稿集 文献番号 20206198 (2020)
- 2) 後藤優吾，上條正義，柴田裕一，鬼頭壮宜，石田裕之：路面描画ターンシグナルランプの視認性評価，自動車技術会 2019 年秋季大会学術講演会講演予稿集 文献番号 20196083 (2019)
- 3) 後藤優吾，上條正義，柴田裕一，鬼頭壮宜，石田裕之：自動車後退用路面描画に歩行者が気づく輝度コントラスト，照明学会全国大会講演論文集 講演番号 6-P-05 (2020)

## 謝辞

本研究をまとめるにあたり，熱心なご指導を賜りました信州大学上條正義教授には心から感謝いたします。業務と並行した研究及び論文執筆は大変でしたが，先生の激励により遂行することができました。

学位論文の審査委員を快諾していただき，多くの助言をいただいた信州大学吉田宏昭教授，同金井博幸准教授，同堀場洋輔准教授，横浜国立大学岡嶋克典教授に心から感謝いたします。

本研究を共に行った元信州大学大学院の後藤優吾様には実験の遂行，データの解析等で協力をいただき，質の高い研究成果を得ることができました。本当にありがとうございます。

本研究は筆者が所属する株式会社小糸製作所の上司，先輩，同僚の皆様の協力によって支えられてきました。博士課程への進学を後押ししていただいただけでなく，研究の進め方に対するアドバイスなど多くの指導，助言をいただきました。心から感謝いたします。

最後に業務と研究活動の両立を影で支えてくれた妻と二人の息子に感謝します。