

区画線の剥離率と車線維持支援システムの 作動状況の関係分析

中川 敏正¹・井坪 慎二²・石原 雅晃³・花守 輝明⁴・湯浅 克彦⁵

¹ 非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: nakagawa-t92wz@mlit.go.jp

² 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
E-mail: itsubo-s92ta@mlit.go.jp

³ 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
E-mail: ishihara-m92ta@mlit.go.jp

⁴ 非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
E-mail: hanamori-t9256@mlit.go.jp

⁵ 非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
E-mail: yuasa-k924a@mlit.go.jp

自動運転車は、車線維持支援システム (LKAS) を使用して高速道路を走行するが、区画線がかすれている箇所では車載カメラが区画線を検知できず、車両が自車位置を正確に特定できないため、LKAS が正常に作動しない場合がある。本研究では、LKAS が作動可能な区画線の剥離率に関する基礎的知見を得るため、試験走路に剥離した区画線を整備し、区画線の剥離率を事前に特定後、複数の車両を繰り返し走行させて LKAS の作動状況を計測する実験を行った。その結果、本実験の条件下では、LKAS の作動・非作動の境目となる区画線の剥離率は、晴天・昼間の場合で 75%程度となった。また、車両の走行方向、時間、天候により、LKAS の作動状況が大きく異なることも明らかとなった。

Key Words: *automated driving, lane keeping assist system (LKAS), field operational test*

1. 研究の背景と目的

交通事故はヒューマンエラーがその原因の大半と言われており、疲労も無くエラーが少ない自動運転は、交通事故の削減に大きく寄与すると言われている。また、車間の反応時間も低減することから、渋滞緩和、環境負荷低減等に資するものと考えられている。このため、官民を挙げて自動運転の実用化に向けた取組が進められており、特に高速道路の自動運転については、2025年目途にレベル4実現という政府目標を掲げ、活発な取組がなされている。国土技術政策総合研究所では、高速道路での自動運転を拡大するため2021年度に「自動運転の普及拡大に向けた道路との連携に関する共同研究」を開始している。

運転支援システムの一つである車線維持支援システム (LKAS: lane keeping assist system) は、区画線がかすれて

いる場合は作動しない可能性があることから、同共同研究でも区画線のかすれと LKAS の作動の関係について実験を通じて調査している。本稿では、同実験の概要を紹介する。

2. 車線維持支援システムの概要

LKAS は、車両が高速道路を走行する際、車線の中央付近を維持するようにステアリング (操舵) 操作を支援する機能である。LKAS は車載カメラで検知した映像から、道路上の区画線を画像処理によって抽出し、路面と区画線の輝度の差を利用し、輝度の高い色が連続している場合は車線があると検知する (図-1)。車線の区画線がかすれ輝度差が少ない箇所では、車載カメラが区画線を検知できず、車両が自車位置を正確に特定できないた

め、LKAS が正常に作動しない場合がある。このため、高速道路での自動運転の普及促進のためには、区画線を一定の水準で維持管理することが求められている。

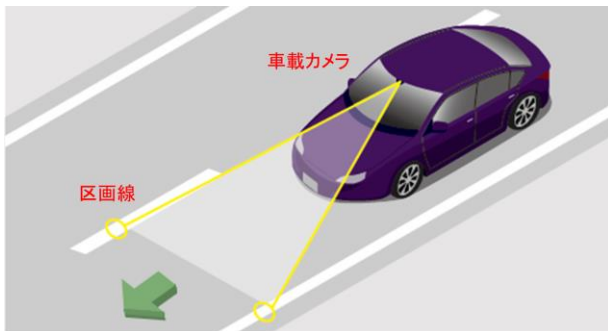


図-1 車線維持支援システム (イメージ)

3. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

(1) 既往研究の整理

a) ドライバーによる区画線の視認性に関する研究

一般社団法人全国道路標識・標示業協会²⁾は、剥離度評価、反射輝度評価、外観評価、これらを組み合わせた総合評価をもとに、区画線を再施工する判断基準を設定している。今田ら³⁾は、区画線の夜間雨天時における視認性低下の主要な要因を明らかにしている。

b) 車載カメラによる区画線の検知に関する研究

田中ら⁴⁾は、レーザ路面画像を用いた白線検知方式を提案し、コントラストが低い区画線やかすれた区画線などにも対応できる白線検出を実現している。浅田ら⁵⁾は、車両から撮影した画像をもとに計測した区画線の剥離率を用いて、区画線の塗り直しを診断する方法を開発している。木下ら⁶⁾は、車両から撮影した道路の内部景観画像から計測した剥離率と真上から撮影した区画線の画像から計測した剥離率、反射輝度の関係を分析し、車両から撮影した剥離率から反射輝度を推定する方法を開発している。

c) 運転支援システムと区画線の劣化状況に関する研究

花守ら⁷⁾は、区画線の剥離状況と LKAS の作動のベースとなる車載カメラによる区画線の検知状況の関係を分析し、車載カメラが検知可能な区画線の剥離率の上限値を算定している。宗弘ら⁸⁾は、実道及び試験走路において、LKAS を搭載した車両を走行させ、目視判定した区画線の劣化度合いと LKAS の作動状況との関係を整理している。飯田ら⁹⁾は、区画線の状態や全日射量が車線逸脱警報システムの検知性能に及ぼす影響を分析し、区画線の剥離、路面の輝度差、全日射量が車線逸脱警報システムの検知性能に及ぼす影響を示唆している。

(2) 本研究の位置づけ

ドライバーによる区画線の視認性に関する研究については、夜間雨天時における区画線の視認性に関する研究が確認された。車載カメラによる区画線の検知に関する研究については、車載カメラ等を用いて区画線自体を検知する研究、区画線の剥離率や反射輝度を推定する研究が確認された。運転支援システムと区画線の劣化状況の関係に関する研究については、目視判定した区画線の劣化度合いと LKAS の作動状況との関係を整理した研究、車線逸脱警報システムの検知性能に及ぼす影響要因を分析した研究が確認された。一方で、区画線の剥離率を予め目標値に設置・管理したうえで、LKAS の作動状況を把握する研究は確認されなかった。

本研究では、自動運転のための区画線の維持管理に関する基礎的知見を取得することを目的として、LKAS の作動・非作動の境目となる区画線の剥離率や剥離率以外に LKAS の作動に影響を与える要因とその影響度合いを把握するものである。

4. 区画線の剥離率に関する基礎実験

(1) 実験の目的

本実験は、LKAS の作動・非作動の境目となる剥離率を把握するとともに、区画線の剥離率以外に LKAS の作動に影響を与える要因とその影響度合いを把握することを目的とする。そこで、様々な実験条件下で LKAS が搭載された車両を複数台走行させて、区画線の剥離率と LKAS の作動状況の関係を調査することとした。

(2) 実験の方法

4.(1)の目的を達するため、以下のような方法で実験を実施した。

a) 実験条件

試験走路の道路環境は、表-1 の通りである。LKAS は、主として高速道路での使用が想定される機能であるため、本実験は都市間高速道路の道路環境に極力近い環境で実施した。なお、舗装については、他実験との関係から打ち替えすることが困難であったため、試験走路の既存の舗装 (改質密粒度アスファルト) とした。また、実験条件は、表-2 の通りである。実験条件は、「区画線の剥離率」、「時間」、「天候」、「走行方向」を組合せ、合計 32 パターンを設定した。「区画線の剥離率」とは、剥離がない状態の区画線の面積に対する剥離した部分の面積の割合である。また、「走行方向」のうち、「昇順走行」とは区画線の剥離率が高くなる方向 (かすれる方向) に走行、「降順走行」とは区画線の剥離率が低くなる方向 (明瞭になる方向) に走行することである。なお、

車両の走行速度は 80km/h（都市間高速道路の規制速度）とした。また、「時間」については照度計で明るさを計測、「天候」についてはカメラで上空（太陽の位置、雲の状況）を撮影することで、調査時の外部環境を記録した。

表-1 試験走路の道路環境

| 項目 | 国総研試験走路 | 【参考】都市間高速道路 |
|-----------|-------------|-------------|
| 舗装 | 改質密粒度アスファルト | 高機能アスファルト |
| 区画線の長さ・間隔 | 長さ6m・間隔9m | 長さ8m・間隔12m |
| 区画線の施工方法 | 溶融式 | 溶融式 |
| 区画線の素材 | 塗料及びガラスビーズ | 塗料及びガラスビーズ |
| 強雨時の路面状態 | 水膜発生あり | 水膜発生なし |

表-2 実験条件

| 区画線の剥離率 (4パターン) | 時間 (2パターン) | 天候 (2パターン) | 走行方向 (2パターン) | 計 |
|--------------------|---------------|---------------|------------------|--------|
| 60% | ・ 昼間 ・ 夜間 | ・ 晴 ・ 雨 | ・ 昇順走行 ・ 降順走行 | 8パターン |
| 70% | ・ 昼間 ・ 夜間 | ・ 晴 ・ 雨 | ・ 昇順走行 ・ 降順走行 | 8パターン |
| 80% | ・ 昼間 ・ 夜間 | ・ 晴 ・ 雨 | ・ 昇順走行 ・ 降順走行 | 8パターン |
| 90% | ・ 昼間 ・ 夜間 | ・ 晴 ・ 雨 | ・ 昇順走行 ・ 降順走行 | 8パターン |
| 計 | - | - | - | 32パターン |

b) 実験車両

実験車両は、共同研究者である自動車メーカーからの提案をもとに、LKAS が搭載された乗用車（計 4 車種）を選定した。

c) 区画線の設置レイアウト

本実験に際しては、試験走路に剥離率が異なる区画線を整備した（図-2）。区画線の剥離率は 4 種類（60%、70%、80%、90%）とし、150m おきに剥離率が同一となるよう区画線群を設置した。なお、いったん区画線を設置後、超高压水表面処理工法で剥離させることで、区画線の剥離を再現しているため、目標値通りの剥離率にはならず、設置後に剥離率を計測している（後述）。その後、実験車両を 4.(2)a) で記載した実験条件下で走行させ、LKAS の作動状況を計測した。走行回数は、1 車種当たり往復 25 走行とした（図-3）。なお、走行車線は、評価を簡素化する観点から第 2 車線（車両の両側が車線区分線となる走行車線）とした。



図-3 実験の様子

d) 区画線の剥離率の計測結果

区画線の剥離率は、国土交通省の NETIS（新技術情報提供システム）に登録されている「区画線診断システム（RoadViewer）」¹⁰を用いて計測した。区画線（長さ 6m）を 1m 毎に両方向（北向きと南向き）から計測し、その平均値を当該区画線の剥離率とした。区画線の剥離率の実測値（実測剥離率）は、図-4の通りである。「昇順走

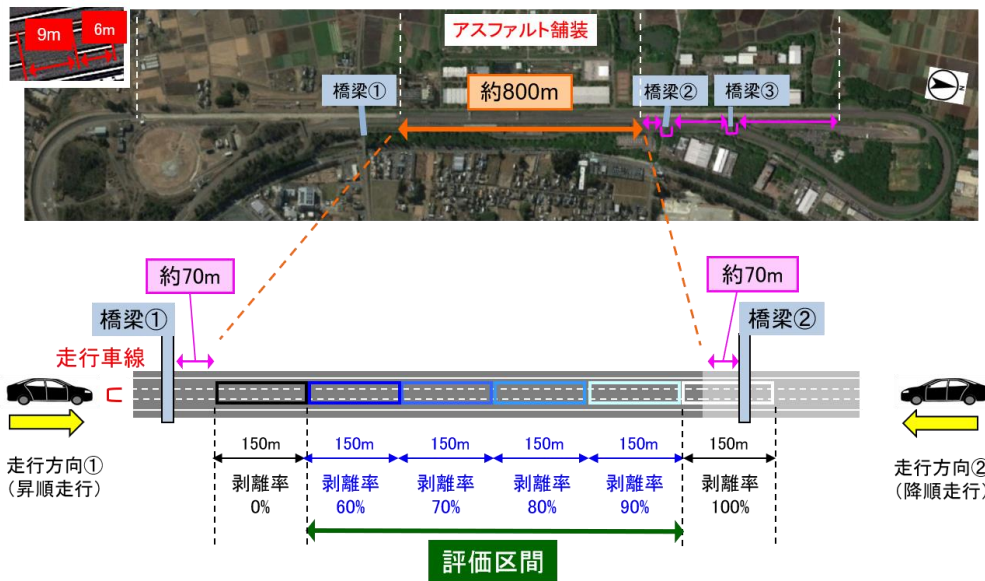
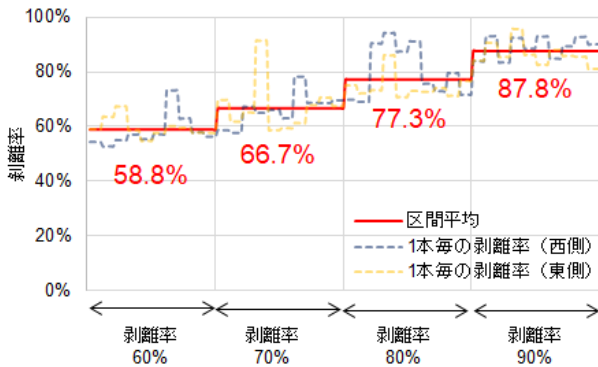


図-2 実験時の区画線の設置レイアウト

行」の場合、剥離率の区間平均値は南側から 58.8%、66.7%、77.3%、87.8%となった。「降順走行」の場合、剥離率の区間平均値は南側から 75.0%、85.2%、89.6%、96.8%となった。「昇順走行」では、実験条件の目標剥離率（60%～90%）に近い値となったが、「降順走行」では最大で 15%程度高い値となった。これは、試験走路が南北方向に敷設されており、南向きへの走行となる「降順走行」では、剥離率の計測時に日射の影響を受けたことが要因と推察される。

・ 昇順走行の場合



・ 降順走行の場合

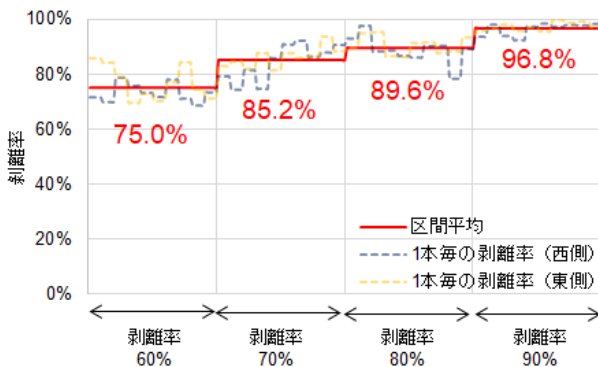


図-4 区画線の剥離率の実測値



図-5 剥離した区画線

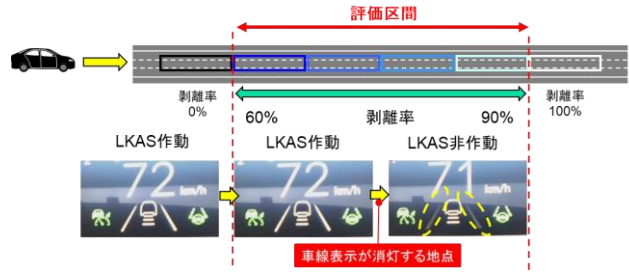
(左：剥離率 60%区間、右：剥離率 90%区間)

e) LKAS の作動状況の記録方法

本実験では、LKAS の作動は「インストルメントパネルの表示画面上で車線表示が表示されている状態」とし

た。「昇順走行」の場合は、LKAS が作動の状態の評価区間に入り、車線表示が消灯する地点が LKAS の作動・非作動の境目の位置となる(図-6)。「降順走行」の場合は、LKAS が非作動の状態の評価区間に入り、車線表示が点灯する地点が LKAS の作動・非作動の境目の位置となる(図-6)。LKAS の作動状況については、インストルメントパネルの表示画面を撮影するカメラを車内に設置し、走行中は常時録画し、車線表示(点灯・消灯)が切り替わる地点を記録することで確認した。

・ 昇順走行の場合



・ 降順走行の場合

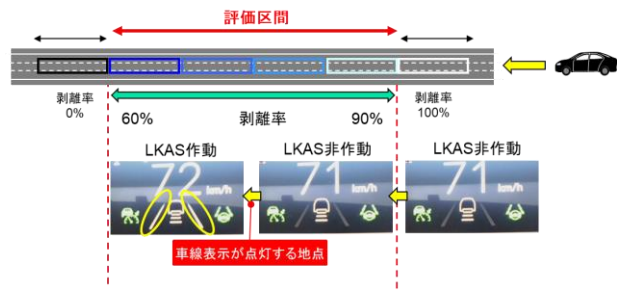


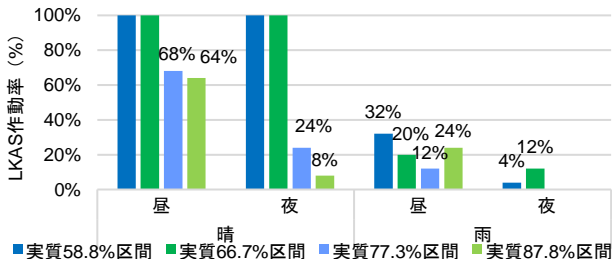
図-6 LKAS の作動の定義

5. 調査結果

(1) LKAS の作動率

ここでは、同一剥離率区間単位(150m)でのLKASの作動・非作動を整理する。本実験では、同一剥離率の区間内にある区画線(10組)のうち、8組でLKASが作動していれば、当該区間全体でLKASが作動したと定義した。この考え方を踏まえて、区間単位でのLKASの作動・非作動の状況を整理した例が、図-7である。「昇順走行」の場合、剥離率によらず晴天の方がLKASの作動率が高い傾向にある。「降順走行」の場合、晴天と雨天の間でLKASの作動率に大きな差異は見られない。また、晴天では夜間の方が昼間よりもLKASの作動率が高い傾向にある。これは、夜間では車両のヘッドライトにより車両前方の明るさが安定しており、車載カメラが区画線を認識しやすく、結果としてLKASの作動率が相対的に高くなったと考えられる。

・ 昇順走行の場合



・ 降順走行の場合

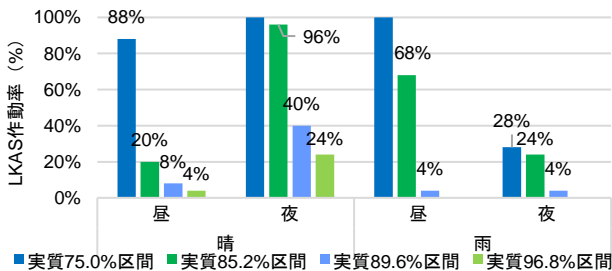


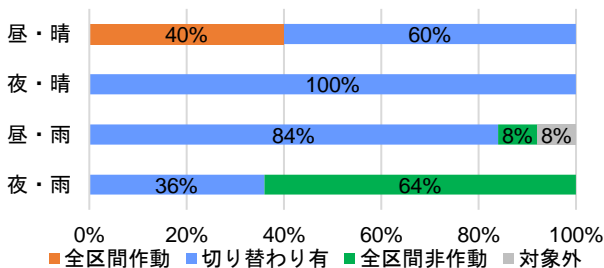
図-7 区間単位でのLKASの作動状況の例

(2) LKASの切り替わり状況

ここでは、評価区間 (600m) 内でのLKASの作動・非作動の切り替わり状況を分析する。LKASの作動・非作動の切り替わりとは、「LKASが作動から非作動となる状況 (昇順走行の場合)」、 「非作動から作動となる状況 (降順走行の場合)」である。なお、これ以外には「評価区間の全区间でLKASが作動となる状況」、 「評価区間の全区间でLKASが非作動となる状況」がある。

上記の考え方を踏まえ、LKASの切り替わり状況を分析した例が、図-8である。「夜・雨」以外については、LKASの作動・非作動の切り替わりが発生していることが分かる。

・ 昇順走行の場合



・ 降順走行の場合

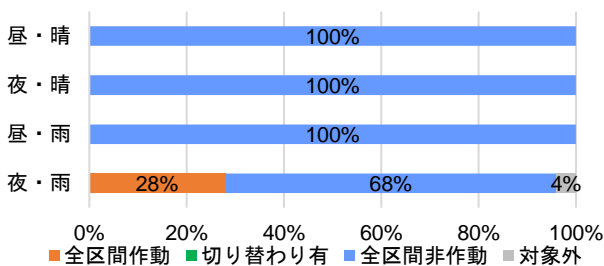


図-8 区間単位でのLKASの作動状況の例

(3) LKASの作動・非作動の境目となる剥離率

LKASが搭載された車両は、自車位置の前方にある一定区間の区画線のまとまりを検知し、LKASの作動・非作動を判断していると想定される。なお、LKASの作動メカニズムは各自動車メーカーの競争領域であり、詳細な確認は難しい。このため、LKASの作動・非作動の境目となる剥離率は、LKASの作動・非作動の最初の切り替わり地点の前方区間にある一定区間の区画線の剥離率をもとに算出した。ここでは、LKASの作動・非作動の最初の切り替わり地点から50m前方区間 (左右両側で区画線8本分)を設定し、当該区間にある区画線の剥離率の平均値をLKASの作動・非作動の境目となる剥離率とした (図-9)。

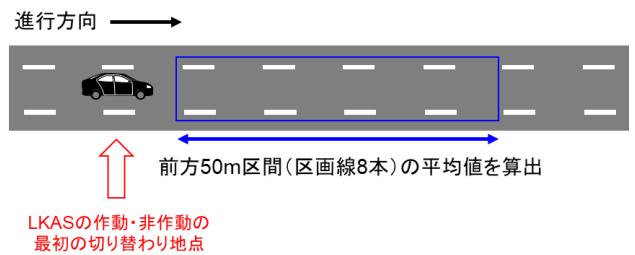
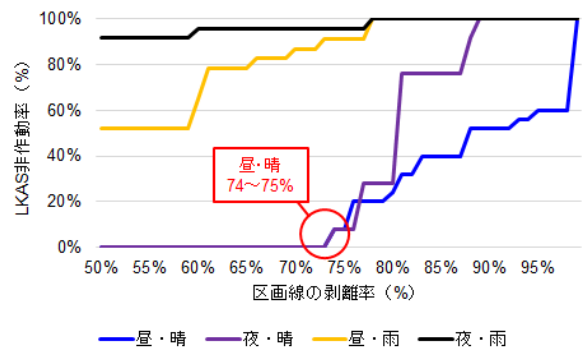


図-9 LKASの作動・非作動の境目となる剥離率の考え方

この考え方を踏まえて、区画線の剥離率とLKASの作動状況の関係を整理した例を図-10に示す。

・ 昇順走行の場合



・ 降順走行の場合

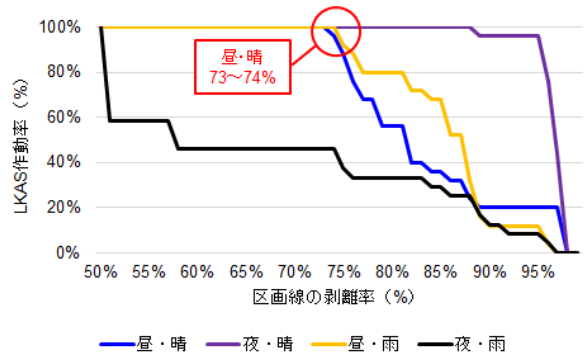


図-10 区画線の剥離率とLKASの作動状況の例

「昇順走行」では、LKAS はある地点から作動から非作動、「降順走行」では、LKAS はある地点から非作動から作動となる。その結果、昼間かつ晴天の条件下では、「昇順走行」の場合、LKAS の非作動が出現する剥離率は 74%~75%、「降順走行」の場合、LKAS が全ての走行で作動する剥離率は 73%~74%と、走行方向によらず 75%程度となった。

6. まとめ

本稿では、LKAS の作動・非作動の境目となる区画線の剥離率や剥離率以外に LKAS の作動に影響を与える要因とその影響度合いを把握するため、区画線の剥離率と LKAS の作動状況の関係を調査した。本研究成果は、今後、LKAS を作動させるための剥離率の観点やドライバーへの通常の見え方などの観点から区画線の維持管理の要件案を整理していく際の貴重な資料となると考えている。今後も引き続き、高速道路での自動運転を拡大するための研究開発を進めていきたい。

謝辞：本研究は、国土技術政策総合研究所が民間企業等 27 者とともに、「自動運転の普及拡大に向けた道路との連携に関する共同研究」での調査研究にて取得したデータをもとにして、分析及びとりまとめを行ったものである。関係各位のご協力に深く感謝の意を表します。

REFERENCES

- 1) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：官民 ITS 構想・ロードマップ 2020, 2020.
- 2) 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, https://www.zenhyo-tokyo.com/img/gijyutu_shiryuu_no7.pdf (閲覧年月日：2023 年 2 月 8 日)
- 3) 今田寛典, 門田博知, 児島武男：区画線の夜間雨天時における視認性低下の要因分析と視認性向上策, 土木学会論文集, 1989 巻, 407 号, pp.97-106, 1989.
- 4) 田中直樹, 小栗朗, 鎌原淳三, 井上健：道路管理のための劣化にロバストな白線検出手法, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J91-D, No.8, pp.2129-2136, 2008.
- 5) 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), 68 巻, 4 号, pp.358-368, 2012.
- 6) 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), 67 巻, 5 号, pp.67_I_109-67_I_116, 2011.
- 7) 花守輝明, 石原雅晃, 中川敏正, 坪坪慎二, 中田諒, 藤村亮太：区画線の剥離状況と車載カメラによる区画線検知状況との関係分析, 第 66 回土木計画学研究発表会・秋大会, 2022.
- 8) 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.
- 9) 飯田克弘, 藤本怜央：区画線の状態や日射量が車線逸脱警報システムの検知性能に及ぼす影響, 第 42 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.631-636, 2022.
- 10) 宮川興業株式会社：区画線診断システム RoadViewer, <http://www.miyagawa-co.com/RoadViewer2.pdf> (閲覧年月日：2023 年 2 月 8 日)

ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN FAINT LEVEL OF LANE MARKING AND OPERATION STATUS OF LANE KEEPING ASSIST SYSTEM

Toshimasa NAKAGAWA, Shinji ITSUBO, Masaaki ISHIHARA,
Teruaki HANAMORI and Katsuhiko YUASA

An automated driving vehicle operates a lane keeping assist system (LKAS) to drive on expressways, but in places where a lane marking is faint, an on-board camera cannot detect a lane marking, it cannot localize its position in the transverse direction and LKAS may not work properly. In this research, in order to obtain a basic knowledge about the faint level of lane marking on which LKAS can operate, we developed faint lane markings on a test track, identified the faint level of lane marking in advance, and drove various vehicles repeatedly to measure the operation of LKAS. As a result, under the conditions of the FOT, a faint level of lane marking, which was a boundary between LKAS operation and non-operation, was about 75% in the case of fine weather and daytime. In addition, it became clear that the operating conditions of LKAS differ greatly depending on the direction of travel of the vehicle, the time and the weather.