

高速道路における自動運転の早期実現に向けた取組 ～区画線の剥離率と車線維持支援システム作動の関係に関する基礎実験～

中川敏正・井坪慎二・石原雅晃・花守輝明

1. はじめに

国土交通省国土技術政策総合研究所(以下「国総研」という。)では、高速道路での自動運転を促進するため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。本共同研究では、自動運転車の自車位置特定に関連する技術のうち、特に横方向の自車位置の維持に不可欠な要素技術である車線維持支援システム(LKAS: lane keep assist system)を研究対象としている。

LKASは、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認識できず、正常に作動しない場合がある。このため、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る。そこで、本共同研究では区画線のかすれとLKASの作動状況との関係について実験を通じて調査しており、本報告では同実験の概要を紹介する。

2. 車線維持支援システム(LKAS)の概要

LKASは、車両が走行する際、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。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、輝度の高い色が連続している場合は区画線(白線)があると認識する(図-1)。車両は、当該情報をもとにLKASの作動判断を行う。

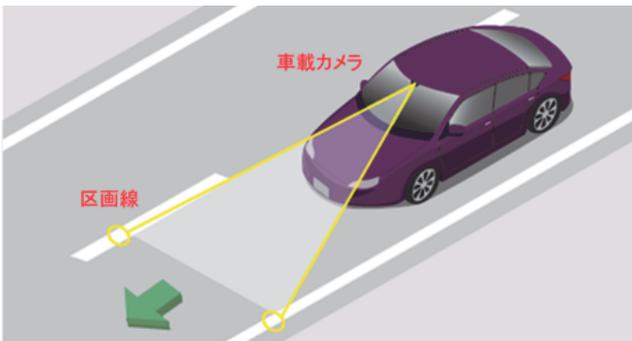


図-1 車線維持支援システム(イメージ)

Efforts toward Early Implementation of Automated Driving on Expressways: A Basic Field Operational Test on Faint Level of Lane Markings for Automated Driving

3. 区画線の剥離率に関する基礎実験

3.1 実験の目的

本実験は、LKASの作動・非作動の境目となる区画線のかすれ度合い(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。なお、区画線の剥離とは、区画線の塗料が剥がれ、路面(黒色)が露出している状態である。本実験では、様々な実験条件下でLKASが搭載された車両を走行させて、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。

3.2 実験の方法

3.2.1 実験条件

本実験は、国総研の試験走路で実施した(表-1)。なお、LKASは主として高速道路での使用される機能であるため、都市間高速道路の道路環境も参考に示す。本実験は、試験走路の既存の環境で実施したため、区画線の長さ・間隔は都市間高速道路と異なるものの、自動車メーカーへのヒアリングを通じてLKASの作動に大きな影響はないことを確認している。舗装については、試験走路の舗装としたため、雨天時に路面に水膜ができやすく、都市間高速道路に比べてLKASが作動しにくくなる可能性がある。

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

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」、「時間帯」、「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

*土木用語解説：道路と車両の連携の必要性

区画線の面積に対する剥離した部分の面積の割合であり、目標剥離率は60%～90%（10%刻み）として区画線を設置した。「時間帯」は、昼間は10時～16時、夜間は18時～22時とした。「走行方向」は、剥離率の増減に伴うLKAS作動の差異を考慮して、「昇順走行」と「降順走行」とした。「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。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。

表-2 実験条件

区画線の目標剥離率 (4パターン)	時間帯 (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

3.2.2 実験車両

実験車両は、共同研究者である各自動車メーカーからの提案を受けて、LKASの性能が良い乗用車（計4車種）を選定した。

3.2.3 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種類とし、150mの間剥離率が同一となるよう区画線群を設置した。

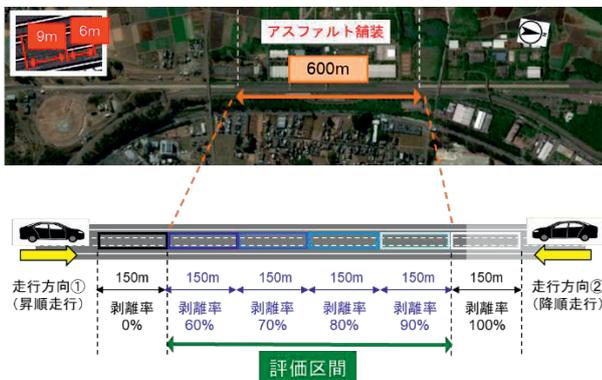


図-2 実験時の区画線の設置レイアウト

なお、いったん区画線を設置後、超高圧水表面処理工法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）。その際、同工法による施工に起因する路面の凹凸の傾斜があり、南向きへの走行となる「降順走行」では路面に影ができやすいことが想定されたため、両方向で区画線の剥離率を計測した。その後、実験車両を表-2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。なお、走行車線は、評価を簡素化する観点から第2車線（車両の両側が車線境界線となる走行車線）とした。

3.2.4 区画線の剥離率の計測結果

区画線の剥離率の計測は、国土交通省の新技术活用情報システム（NETIS）に登録され、簡易かつ低コストで計測実績のある「区画線診断システム（RoadViewer）」²⁾を用いて行った。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。なお、RoadViewerによる剥離率の計測は、昼間かつ晴天で路面上に影のない状態で実施した。ここでは、RoadViewerによる実測剥離率（本稿では「剥離率」と定義し、以後はこの値を用いて分析する。）について、走行方向別に整理した（図-3）。

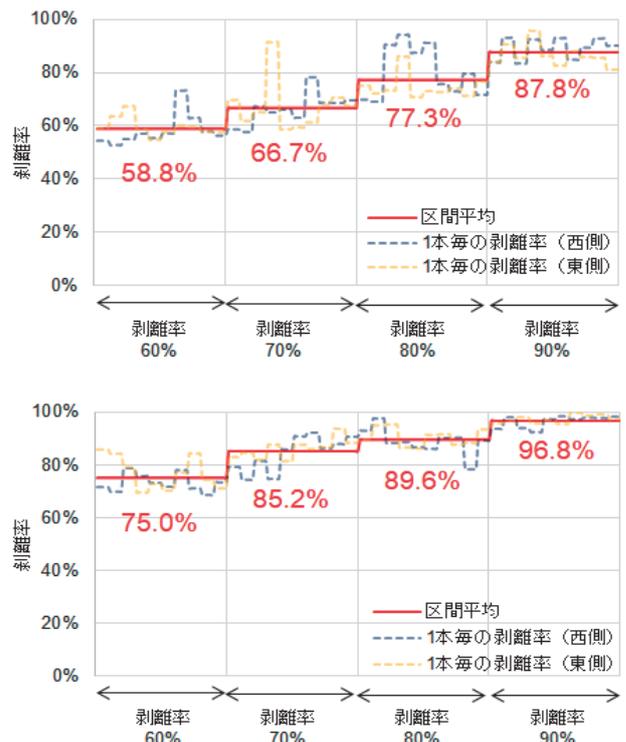


図-3 RoadViewerによる実測剥離率
（上：昇順走行、下：降順走行）



図-4 剥離した区画線
(左：目標剥離率60%区間、右：目標剥離率90%区間)

まず、「昇順走行」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、超高压水表面処理工法での施工に起因する路面の凹凸の傾斜で、南向きへの走行となる「降順走行」では影ができやすく、「昇順走行」に比べて剥離率が高くなったためと推察される。

3.2.5 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」の場合は車線表示が消灯する地点、「降順走行」の場合は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-5）。LKASの作動状況は、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、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。



図-5 LKASの作動の定義（昇順方向の場合）

4. 実験結果

4.1 LKAS作動率

ここでは、同一剥離率の区間単位（150m）でのLKASの作動状況を整理する。本実験では、

個々の区画線の剥離率のばらつきを考慮し、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の作動状況を整理した事例を図-6に示す。「昇順走行」の場合、LKAS作動率は剥離率によらず晴天の方が高かった。一方で、「降順走行」の場合、昼間では晴天と雨天の間でLKAS作動率に大きな差異は見られなかった。なお、雨天の夜間では、走行方向に関わらずLKAS作動率は相対的に低い。これは、夜間では車載カメラが剥離した区画線を検知しにくいというえ、降雨により路面に水膜が発生したことが影響したと推察される。

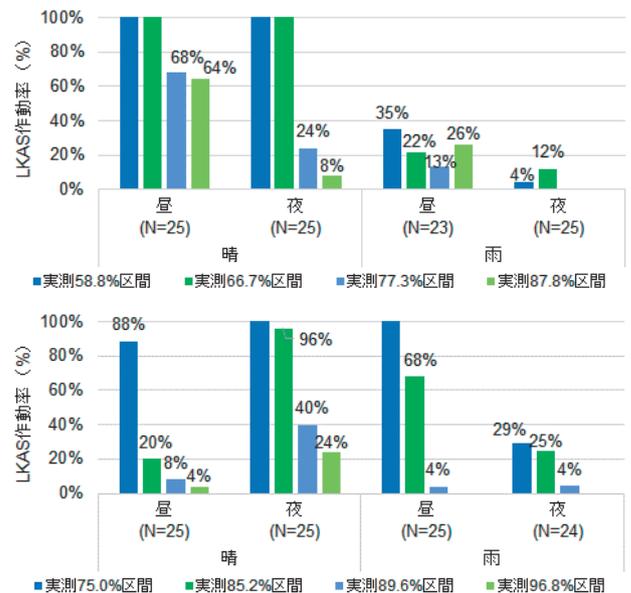


図-6 区間単位でのLKASの作動状況の例
(上段：昇順走行、下段：降順走行)

4.2 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。このことから、LKASの作動・非作動の境目となる剥離率を、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、共同研究者へのヒアリングをもとに、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。この考え方を踏まえて、区画線の剥離率とLKAS作動率の関係

を整理した事例を図-7に示す。昼間かつ晴天では、「昇順走行」と「降順走行」の双方でLKASが100%作動する剥離率は75%程度となった。なお、その他の雨天・夜間などの条件でのLKASが100%作動する剥離率については、実験条件や車種による差異が大きく、詳細を分析中である。

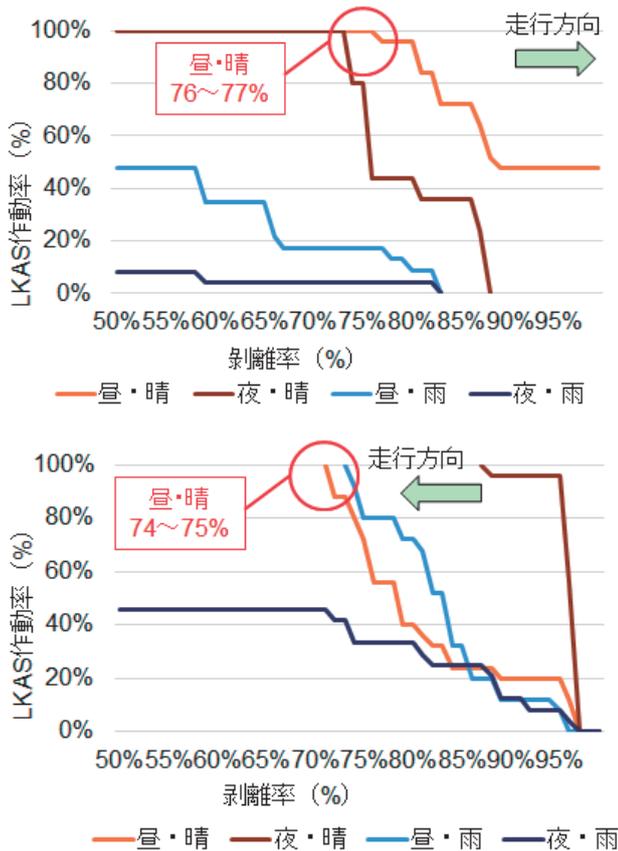


図-7 区画線の剥離率とLKASの作動状況の例
(上：昇順走行、下：降順走行)

※ 50m前方区間に剥離率100%区間が含まれる場合は99%（昇順走行の場合）、剥離率0%区間が含まれる場合は50%（降順走行の場合）を計算上の仮値と設定して、剥離率の平均値を算出している。

5. 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。その結果、LKASが100%作動する区画線の剥離率は、昼間かつ晴天の条件下では75%程度であることが示された。引き続き、剥離率以外の実験条件である「時間帯」や「天候」とLKAS作動率との関係の詳細分析や、区画線の反射輝度とLKAS作動率との関係の分析等を行う予定である。

本研究成果は、LKAS作動の観点から求められる区画線の剥離率の水準を調査したものである。将来的には、ドライバーへの通常の見え方、維持管理に要するコスト、体制等の総合的観点から検討を行い、自動運転車の車線維持に必要な区画線の管理水準を検討していくことが期待される。

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、「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。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：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ます、2021。
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/journal/kisya/20211116.pdf>（閲覧年月日：2023年5月23日）
- 2) 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5月23日）

中川敏正



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 主任研究官
NAKAGAWA Toshimasa

井坪慎二



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
ム研究室長、博士(工学)
Dr. ITSUBO Shinji

石原雅晃



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 研究官
ISHIHARA Masaaki

花守輝明



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 交流研究員
HANAMORI Teruaki