

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

花守 輝明¹・石原 雅晃²・中川 敏正³・井坪 慎二⁴
中田 諒⁵・藤村 亮太⁶

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
交流研究員 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

E-mail: hanamori-t9256@mlit.go.jp

²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: ishihara-m92ta@mlit.go.jp

³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
主任研究官 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

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

⁴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
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

E-mail: itsubo-s92ta@mlit.go.jp

⁵非会員 阪神高速道路株式会社 (〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-4)

E-mail: ryo-nakata@hanshin-exp.co.jp

⁶非会員 愛知製鋼株式会社 (〒476-8666 愛知県東海市荒尾町ワノ割1番地)

E-mail: r-fujimura@he.aichi-steel.co.jp

高速道路における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、官民が連携して各種取組を進めているところである。国土技術政策総合研究所では、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、高速道路での自動運転の継続を拡大する観点から区画線の剥離率に関する維持管理の考え方を検討している。

本研究では、車線維持支援システム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、「区画線の剥離状況」と車線維持支援システム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」との関係分析した。当該分析に際しては、車載カメラによる区画線の検知メカニズムを考慮し、「単位区間の長さ」について複数の分析手法を検討し、適切な分析方法を選定した。その結果、車載カメラで検知することができる区画線の剥離率上限値の目安は、85%~90%程度であることを明らかにした。

Key Words: *automated driving, lane keeping assist system (LKAS), lane marking*

1. はじめに

自動運転は、人間が運転するよりも安全かつ円滑であることが一般的に期待されており、道路ネットワークの高度利用(交通事故削減、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、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、高速道路での自動運転の継続を拡大する観点から、区画線の剥離率に関する維持管理の考え方を検討している。

運転支援システムの一つである車線維持支援システム(lane keeping assist system : LKAS)は、車載センサで区画線を読み取り、車線中央を走行するようにハンドル操作を自動で行うものである。ところが、区画線がかすれて

いる場合には、車載カメラで区画線を検知することができず、LKASが正常に作動しないことがある。LKASを正常に作動させるためには、車両側のさらなる技術開発に期待するだけでなく、道路インフラ側も区画線や路面標示を一定水準以上のレベルで維持されることが求められる。

そこで、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、「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」との関係进行分析した。

2. 既存研究の整理と本研究の位置づけ

(1) 既存研究の整理

区画線検知についての既存研究はいくつか存在している¹⁾³⁾。これらは、区画線検出性能を向上させる手法に焦点を当てており、区画線の静止画像をもとに区画線の検出性能を向上させる手法の検証実験を行っている。また、これらは環境条件や路面条件により、区画線検知性能が低下したことは記されているものの、LKASの作動可否に関する環境条件、路面条件の特定は行われていない。

飯田ら⁴⁾は、劣化状態を擬似的に再現した区画線を設置した試験走路で走行実験を行った。区画線の検知可否、区画線と路面の輝度、日射量を測定し、各指標が区画線の検知性能に与える影響を把握するとともに、区画線の検知性能が低下する条件の特定を試行した。

宗弘ら⁵⁾は、高速道路、公道、及び試験走路において、LKASを搭載した試験車両を走行させ、摩耗または剥離の進行による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。区画線状態の劣化状況の評価に関しては、区画線の劣化度合いに関する5段階のランク分け（一般社団法人全国道路標識・標示業協会）⁶⁾を採用しており、実験対象区間の道路の区画線に対して、目視評価及び反射機度測定により区画線の劣化状態のランク分けを行っている。

(2) 本研究の位置づけ

本研究では、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を把握する目的で、実際に高速道路を走行して区画線の剥離状況と区画線の検知状況に関する調査を行った。

区画線管理の目安の一つに既存研究で用いられている目視評価ランクがあるが、これは人の目視評価に基づく指標であるため、評価者によって区画線の劣化度合いに関するランク分けがばらつく可能性がある。また、LKASの作動のベースとなるのは、車載カメラでの区画

線認識である。そのため、人間の目視評価による区画線劣化度合いのランク分けについて、LKASの作動基準にすることは相応しくないと考えられる。こうした課題を受け、本研究では、区画線の劣化状況を表す基礎的な指標として区画線の剥離率を採用した。また、LKASの作動のベースが車載カメラでの区画線検知であることを考慮し、剥離率の算出において車載のスマートフォンで撮影した走行車線の画像データを使用した。

3. 分析内容

(1) データの取得

「区画線の剥離状況」を把握するために、車載のスマートフォンで撮影した走行車線の画像データを用いて区画線の剥離率（区画線面積における剥離面積の割合）を調査した。また、「区画線の検知状況」については、自動車メーカーの試験車両で高速道路を走行し、区画線を検知できなかった箇所を抽出した。これらのデータ取得方法に関して以下に示す。

a) 区画線剥離状況データの取得と剥離率算出

高速道路全体での区画線の劣化状況を把握できるよう、高速道路会社が区画線剥離状況を調査した。調査に際しては、特性の異なる区間のデータを収集するため、以下の区間を含めた全国的高速道路約1,000kmを走行して、剥離状況の調査及びデータ取得を行った。

- ・整備後の経過年数が異なる区間
- ・区画線の施工方法が異なる区間
- ・交通状況が異なる区間

区画線の剥離状況データの取得については、区画線診断システム RoadViewer⁷⁾を使用して、30m間隔で走行車線の道路状況を自動撮影し、撮影画像から前方近傍の長さ1mの計測範囲の剥離状況をもとに剥離率を数値化した（図-1）。なお、剥離率とは区画線の計測範囲（1m）に対する剥離部の面積の割合である。区画線剥離率の判定アルゴリズムの概要、及び画像処理による剥離率の判定イメージを図-2に示す。

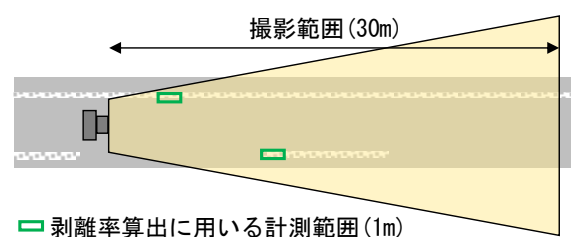


図-1 区画線の撮影範囲と剥離率算出に用いる計測範囲

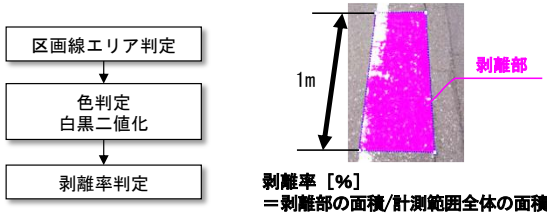


図-2 区画線剥離率の判定アルゴリズム及び判定イメージ

b) 区画線検知状況データの取得

共同研究の参加企業である自動車メーカーが、全国の主要高速道路約7,500kmを走行し、車載カメラで走行車線の道路状況を撮影した。撮影した画像の中から、「区画線が検知できなかった箇所」を計118か所を抽出した。

(2) 分析対象区間

高速道路会社が区画線の剥離状況データを取得した箇所と、自動車メーカーの走行調査において区画線を検知できなかった箇所とが重複する8か所を、分析対象区間として選定した。また、区画線を検知できなかった箇所の前後の区画線を検知できた区間についても分析対象とした。表-1に分析対象とした8か所の区間を示す。

表-1 分析対象区間

道路(方向)	地点	概要	不検知区間長 (m)	不検知区間前後の検知区間長 (m)
東北自動車道 (上り)	館林IC 近辺	第2車線、右破線のかすれ	420	3,520
中央自動車道 (下り)	境川PA 近辺	第2車線、左白線のかすれ	90	800
保土ヶ谷バイパス (下り)	新桜ヶ丘IC 近辺	第2車線、左破線のかすれ	75	15,675
中央自動車道 (下り)	境川PA 近辺	第1車線、左白線のかすれ	120	8,400
東北自動車道 (上り)	加須IC 近辺	第2車線、左破線のかすれ	140	4,740
東北自動車道 (上り)	羽生IC 近辺	第3車線、右白線のかすれ	140	2,240
中央自動車道 (下り)	須玉IC 近辺	第1車線、左白線のかすれ	90	2,490
東北自動車道 (上り)	加須IC 近辺	第2車線、左破線のかすれ	90	1,990

分析対象区間における区画線の剥離状況を表す一例として、東北自動車道上り館林IC～羽生IC間の区画線剥離の状況を図-3に示す。図-3の丸い点は、青い矢印の方向に走行した際の車線両側に設置された区画線の剥離率を、色分けで表している。また、図中の赤矢印の区間は、区画線が検知出来なかった区間である。画像データを確認すると、右側(写真内の赤丸で囲んだ箇所)の区画線のかすれが多いことが判明した。

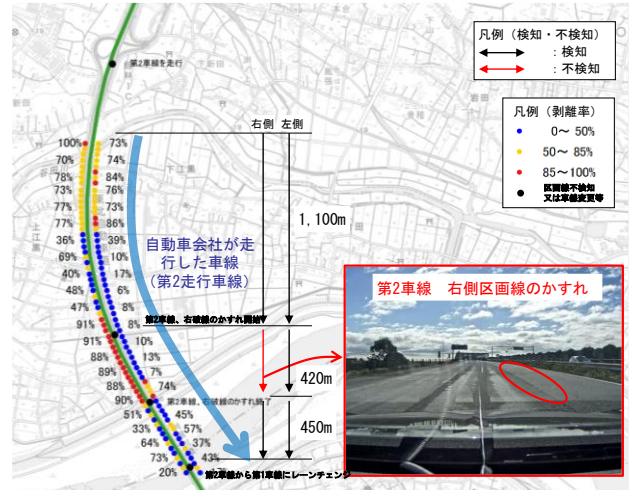


図-3 分析対象区間における区画線の剥離状況の例 (東北自動車道上り 館林IC～羽生IC間)

4. 評価指標の検討

「区画線の剥離状況」と「車載カメラによる区画線の検知状況」との関係进行分析の際、車載カメラによる区画線の検知メカニズムをふまえた上で分析することが求められる。自動車メーカーへのヒアリング等で得た知見から、車載カメラが区画線の検知を試みる範囲として、約90mの区間長を想定した(図-4の青点線部)。また、時速100kmで1秒間に走行する距離が概ね30mであることから、「車両前方の30m程度の範囲(図-4の赤実線部)」をLKASの作動のうで確実に区画線認識を求められる範囲として想定した。これら、30mと90mに相当する区間を踏まえて、分析時の評価指標を検討した。

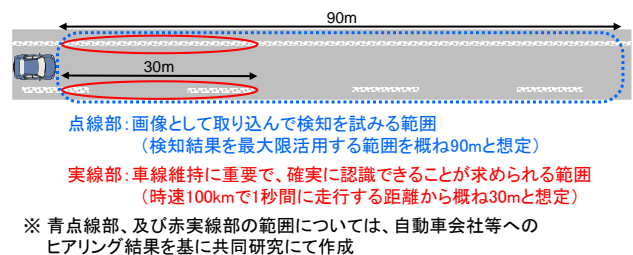


図-4 車載カメラの区画線検知メカニズム

なお、区画線の剥離率は30m間隔で算出されるため、単位区間長が90mの場合は、統計的に代表値を作成する必要がある。そこで、本研究においては、30m間隔で取得した剥離率を90mおきに平均値を作成する形で代表値を作成した。

5. 分析結果

評価指標の単位区間長30mで作成した際の剥離率の割合を図-5に、単位区間長90mで作成した際の剥離率の割合を図-6に示す。図-5及び図-6のいずれにおいても、剥離率が85%~90%より大きくなった時に、不検知の割合が大きくなることが分かった。また、単位区間長を90mとした場合、剥離率が90%~95%の時にすべて不検知となり、不検知の目安となる閾値が明確となった。単位区間長を90mとすることで、隣接する区画線で剥離率が大きく異なる場合に剥離率が平均化されたことにより、車載カメラでの区画線の検知実態に近い分析となったことが推察される。

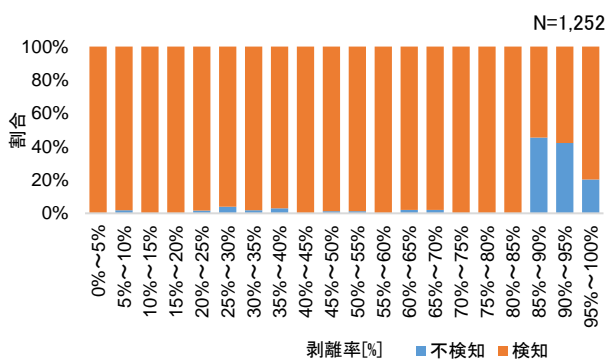


図-5 剥離率の頻度分布 (単位区間長: 30m)

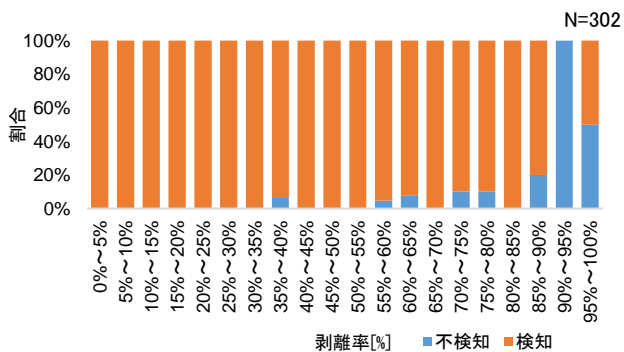


図-6 剥離率の頻度分布 (単位区間長: 90m)

6. おわりに

本稿では、自動運転のための区画線の維持管理の考え方を作成するための基礎的検討として、区画線の剥離率の上限値の目安を算定した。分析の結果、区画線の剥離率が85%以上となる区間において、車載カメラが区画線を検知できない割合が高くなることが明らかとなった。

なお、今回使用した剥離率データは、30m間隔で取得した静止画から特定領域(長さ1mの計測領域)の路面状況を代表させて数値化しており、今回計測した剥離率が十分な区間代表性を有しているかについては、引き続き検証が必要である。また、高速道路では剥離率が高い区間が全体として少ないため、今回の分析においては不検知区間のデータ数が相対的に少なかった。今後、不検知区間(剥離率85%以上)のサンプルの充実が望まれる。

今後は、LKASが作動する区画線の剥離率の上限値に関する知見を取得するために、試験走路において基礎実験を行うことを予定している。具体的には、本研究で得た知見をもとに、上限値付近の剥離率の区画線を数パターン整備し、LKASを搭載した試験車両を走行させ、区画線の剥離状況とLKASの作動状況との関係性を分析する予定である。また、路面の湿潤状況や日射の強弱といった環境要因が、LKASの作動状況に影響を与える可能性があるため、晴天、雨天の天候別、昼夜別の4パターンで実験を実施し、環境要因によるLKASの作動状況への影響についても検証していきたい。

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申し上げます。

REFERENCES

- 1) 磯島駿介, 小野ロ一則: A-14-12 夜間・雨天時の白線検出に関する研究, 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ/NOLTAソサイエティ大会講演論文, pp.198, 2016.
- 2) 田中直樹, 小栗朗, 鎌原淳三, 井上健: 道路面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.
- 3) 小野ロ一則: CCDカメラを用いたレーンマーカの検出, 映像情報メディア学会誌, Vol.68, No.10, pp.775-779, 2014.
- 4) 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.
- 5) 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, 2020.
- 6) 全国道路標識・標示業協会: 路面標示ハンドブック 第5版, 2018.
- 7) 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> (最終閲覧日: 2022年9月2日)

ANALYSIS BETWEEN THE CORRESPONDING FAINT LEVEL OF LANE MARKINGS AND THE DETECTION STATUS BY ON-BOARD CAMERA

Teruaki HANAMORI, Masaaki ISHIHARA, Toshimasa NAKAGAWA,
Shinji ITSUBO, Ryo NAKATA and Ryota FUJIMURA

From the viewpoint of localizing the automated vehicle on expressways, the NILIM is conducting the research on the faint level of lane markings. In this study, in order to identify the faint level of lane markings where the LKAS can operate, we have analyzed the relation between the corresponding faint level of lane markings and the detection status by on-board camera, which is the basis for the operating conditions of LKAS. As a result, it was found that the upper limit of the lane markings that could be detected by the on-board camera was about 85% to 90%.