

車線区画線や路面の状態が自動運転機能に及ぼす影響の把握 Influence of the Condition of Lane Marking and Road Surface on Autonomous driving function

飯田 克弘¹, 藤本 怜央²

Katsuhiko IIDA¹, Reo FUJIMOTO²

現在普及が進むレベル3の自動運転車両では、システムが解除される前に、運転引継ぎの警報を発生し、ドライバーはそれに応じる義務がある。よって、解除条件の把握は保安上重要な課題と言える。本研究では、走行実験データを分析することで、車線区画線の状態が、車線逸脱警報システムの検知性能に及ぼす影響を把握し、上述した解除条件の単純化、明確化を試みた。劣化状態を擬似的に再現した車線区画線を設置した試験走路上で走行実験を行い、車線区画線の検知可否および、車線区画線と路面の輝度を測定した。輝度と検知結果の分析結果から、車線区画線と路面の輝度差が検知性能に影響を及ぼす要因の一つであり、劣化がある程度進んだ車線区画線では輝度差がある一定値以下になる場合に検知性能が低下する可能性が示唆された。

Keywords: 自動運転車両, 車線区画線, 車線逸脱警報システム, 輝度

1. はじめに

近年、自動運転の実用化が進んでおり、政府は2020年に自動運転レベル3、2025年に自動運転レベル4を実装することを目標としている¹⁾。レベル3では状況に応じて、運転操作が人とシステムで入れ替わるため、自動運転システムが解除される前に、運転引継ぎの警報を発生し、ドライバーはそれに応じる義務がある。現状、車両により状況は異なるが、自動運転解除の条件（以下、解除条件）は複雑かつ多岐にわたっていることが多い²⁾。上述した運転者の義務を考えた場合、解除条件の単純化、明確化は保安上重要な課題と言える。

現在普及している自動運転の多くは、標識や車線区画線（以下、白線）などの道路インフラやGPSから自車位置を特定して走行する仕組みとなっており、道路への依存度は高い。本研究では、基本的な道路構成要素の一つである白線、および白線と強い関係がある車線逸脱警報システム³⁾に着目し、解除条件の単純化、明確化を試みる。現状では、雨天や夜間などの車両周囲の環境（以下、環境条件）によって白線検知率が低下することや⁴⁾、白線や路面にひび割れや汚れがあるなどの状態（以下、路面条件）により白線を検知する性能（以下、白線検知性能）が低下することが既往研究⁵⁾やメーカーが発信する注意事項⁶⁾に示されている。

白線検知についての既往研究は多数存在している⁴⁾⁷⁾。しかし、これらは白線検知性能を向上させる手法に焦点を当てており、その手法の検証実験では白線の静止画像を使用したものがほとんどである。またこれらの既往研究では、先述した環境条件や路面条件に関係して白線検

知性能が低下したことが記されているが、条件の特定は行われていない。つまり、異なる環境条件と路面条件の組み合わせに対して、走行状況下で解除条件を把握した研究は見当たらない。

本研究では、路面条件として白線の劣化を対象とした。劣化状態を擬似的に再現した白線を設置した試験走路上で走行実験を行い、環境条件（今回は、天候と時間帯）および白線の検知結果を測定した。ここで、既往研究で、白線検知を行う際に白線と路面のコントラストを採用していることに準じ⁵⁾、上記の測定と同時に、解除条件を指標化する目的で白線と路面の輝度を測定した。これらの結果の関係を分析することで、課題として掲げる解除条件の特定を試みた。

2. 走行実験

2.1 実験概要

本研究では、性能確認試験走路上「道夢道」⁸⁾（図1参照）で、車線逸脱警報システムとACCを搭載したS社の自動車を実験車両として採用し、走行実験を実施した。2019年12月3日に練習走行や実験手順の確認を行い、同6日（以下、実験初日）、同10日（以下、実験2日目）の2日間でデータを取得した。実験は午前8時から午後3時までの時間帯で実施した。

2.2 実験条件

(1)白線の劣化

劣化状態を擬似的に再現するため、図1の検知ゾーン

1 正会員, 博士 (工学), 大阪大学大学院工学研究科

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 e-mail: iida@civil.eng.osaka-u.ac.jp Phone: 06-6879-7611

2 学生会員, 学士 (工学), 大阪大学大学院工学研究科

の白線上に、図2のように開孔したアスファルトフェルト430⁹⁾（以下、シート）と呼ばれるシートを被せ、開孔部の面積の違いによって劣化状態を表現した。具体的には、幅150mm長さ160mmを1単位とし、開孔部と残存部の面積の比率によって開孔率を定義した。ここで、開孔率が20%であれば、白線の80%はシートによって覆われ、露出しない。つまり80%は劣化しているとみなすことができる。以後、開孔率20%、30%、40%はそれぞれ劣化率80%、70%、60%と同義として扱う。

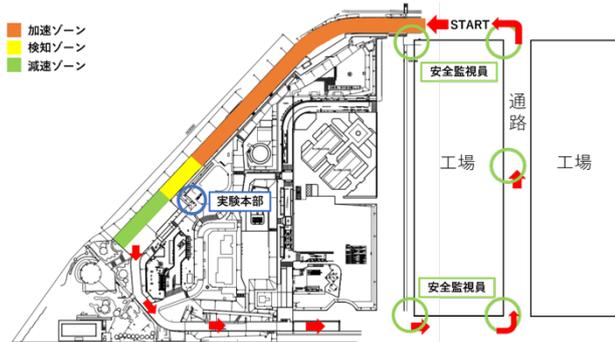


図1 道夢道平面図

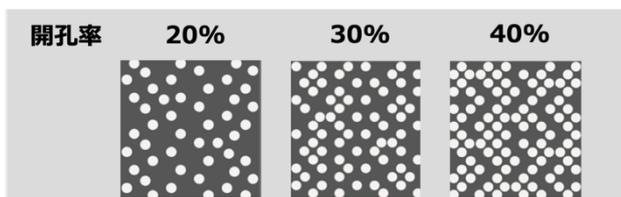


図2 開孔率例（出典：積水樹脂株式会社）

ここで、白線が劣化する際にはその明度が低下することを考慮して、開孔部越しに見える白線（以下、開孔部白線）の明度を開孔率によって変更した。試験走路の路面アスファルト部分と実験当日に新しく塗り替えた白線部分の明度（N値）を測定したところ、路面アスファルト部分のN値は30、新品の白線部分のN値は90であった。白線の劣化に比例して白線の明度も低くなること、市販塗料のN値間隔が5であることを考慮し、本研究では簡易的であるが、開孔率20%、30%、40%のN値に、それぞれ40、50、55を採用した。

(2) 試行の順番と回数

実験初日は、開孔率40%、30%、20%の順で実施し、実験2日目は開孔率20%、30%、40%の順で実施した。表1に各開孔率の合計試行回数を示す。

降雨の影響により、路面が湿潤状態での走行も実施した。しかし、湿潤状態で収集されたデータはサンプル数が少なく、今回は路面乾燥状態で条件を統制することとし、白線検知性能と路面条件の関係把握（4章）では使用しない。ただし、輝度の特性把握（3章）で参考データとして使用する。

表1 各開孔率と試行回数

開孔率(劣化率)	明度(N値)	試行回数
40%(60%)	55	50
30%(70%)	50	61
20%(80%)	40	56

2.3 実験手順

各開孔率のシートを設置する前に、開孔率に応じた明度の塗料で白線を塗り替えた（表1参照）。運転者と記録員の2名が実験車両に乗り、記録員は走行ごとに白線検知の可否、時刻、天候を記録した。試験走路（図1）の車線延長、実験車両の加速性能を考慮し、ACCの設定速度は55km/hとした。図1のSTART位置から走行を開始し、加速ゾーンまで加速するが、運転者はアクセル操作を一切行わない。その後検知ゾーンで運転者のハンドル操作によって白線を乗り越え、反対車線に車線変更を行った。この際、白線検知できているかを確認し、記録員が結果を記録した。なお、全ての試行でハンドル操作を同様に行うため、路面に走行軌跡の目印を付け、それに沿って走行した。その後、減速ゾーンでブレーキ操作を行い図中の赤矢印に沿ってSTART位置まで戻る。ここで、検知ゾーンを実験車両が通過した直後に、実験本部に待機している担当者が、白線輝度と路面輝度を測定した（2.4で詳述）。この走行と測定を合わせて1試行とし、表1に示す試行回数を実施した。

2.4 取得輝度データ

本研究では、開孔部白線の輝度（以下、開孔部白線輝度）、N値90の新品の白線の輝度（以下、N90白線輝度）、路面アスファルトの輝度（以下、路面輝度）、シート固定用の黒いテープの輝度（以下、黒テープ輝度）を測定した。図3、図4に測定箇所を示す。

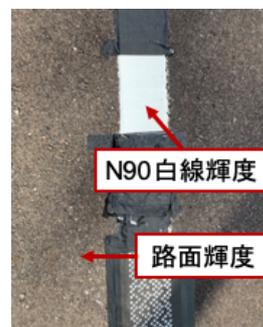


図3 測定箇所①



図4 測定箇所②

なお、走行実験とは別に、白線を全て黒テープで覆った状態に関して試験を行ったが、この際車線逸脱警報シ

システムが作動しないことを確認した。よって黒テープ輝度に関しては、本研究では分析の対象外とする。

3. 解除条件を表現する指標の評価

冒頭で述べた通り、既往研究⁹⁾に準じ、測定した開孔部白線輝度と路面輝度の差を輝度差、比を輝度比として算出する。次に、輝度差、輝度比のどちらが、解除条件を表現する指標として適切であるかを評価する。具体的には、二つの指標の特性を把握し、この結果を比較することによって判断する。

3.1 輝度差の特性

実験初日、2日目の輝度差の推移を、天候と路面のN値で分類し図5、図6に示す。またこれらの図中には、開孔部白線のN値も示す。ここで、路面N値30は乾燥状態、20は湿潤状態を表している（図7参照）。

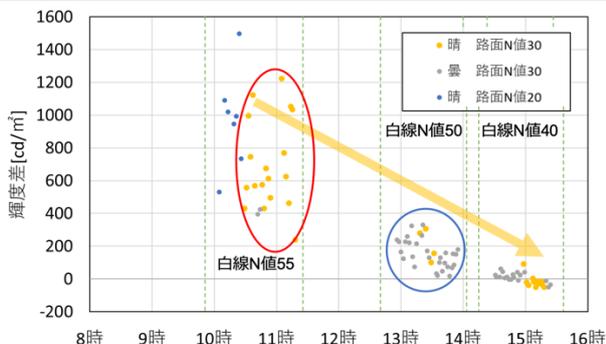


図5 実験初日の輝度差の推移

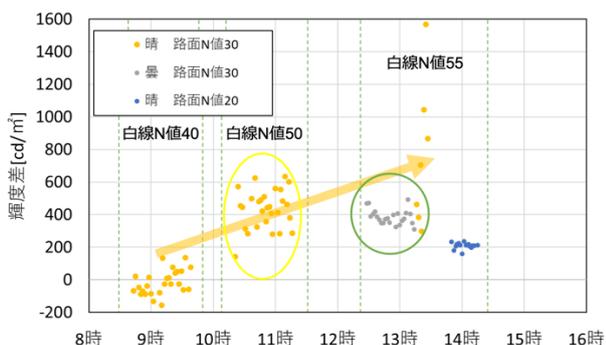


図6 実験2日目の輝度差の推移

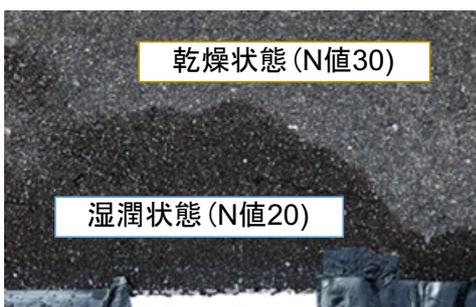


図7 各路面状態のN値

図5から、開孔部白線のN値が55、50、40と低下するにつれて輝度差も低下し、図6からは、N値が高くなるにつれて輝度差も高くなる傾向が確認された。一般的に、輝度と明度には相関関係があることが知られており¹⁰⁾、輝度差もその特性を有していることが分かる。

一方、N90白線輝度の推移データ（図8）を見ると、輝度は時間帯と天候の影響を受けることが分かり、輝度差にもその影響が現れていると解釈できる。そこで、時間帯と天候の影響を分離するため、これらの条件が同一かつ白線N値が異なる輝度差の群（図5赤円と図6黄円、図5青円と図6緑円）の平均値を比較した結果（表2）、白線N値が低い輝度差の平均値が低くなり、有意差が確認された（t検定、 $p < 0.05$ ）。つまり、輝度差は時間帯と天候の影響を反映し、かつ白線部分の明度の変化も反映していると言える。

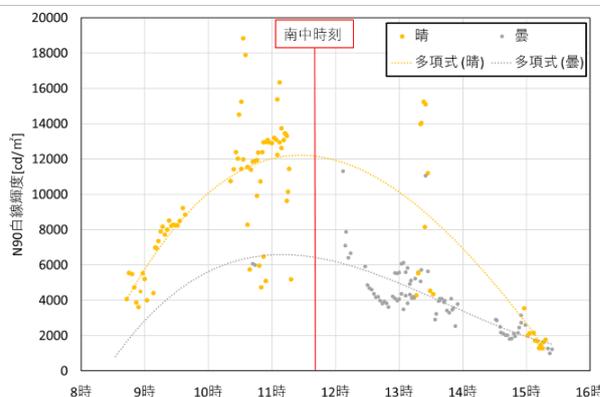


図8 N90白線輝度の推移

表2 各群の平均値と検定結果

	白線N値55	白線N値50	t検定
晴	701	434	有意差あり
曇	386	153	有意差あり

3.2 輝度比の特性

実験2日目の午後の輝度比、開孔部白線輝度、路面輝度の推移を図9に示す。赤円で囲まれた部分の輝度比が上昇していることが確認できるが、この原因は路面輝度の極度な低下によるものである。図10中の緑円で囲まれた部分が上記の路面輝度であるが、路面N値が20であることと時間帯の影響が低下の原因だと分かる。

輝度比は、開孔部白線輝度を路面輝度で除して算出しており、路面輝度が極度に低い場合、開孔部白線輝度のわずかな変化によって大きな影響を受ける。上記で述べた通り、路面輝度は路面状態や時間帯の影響を受けやすいことから、輝度比は指標としての安定性に課題があると思われる。

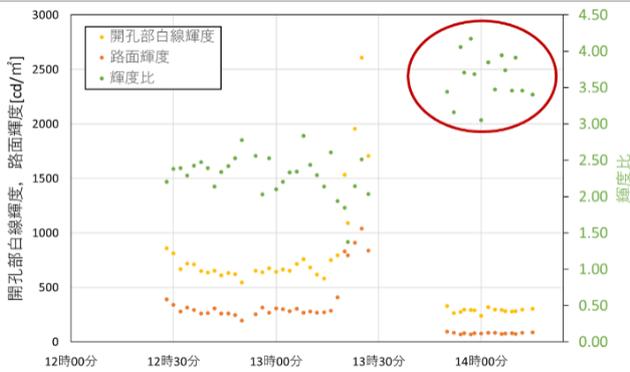


図9 輝度比, 開孔部白線輝度, 路面輝度の推移

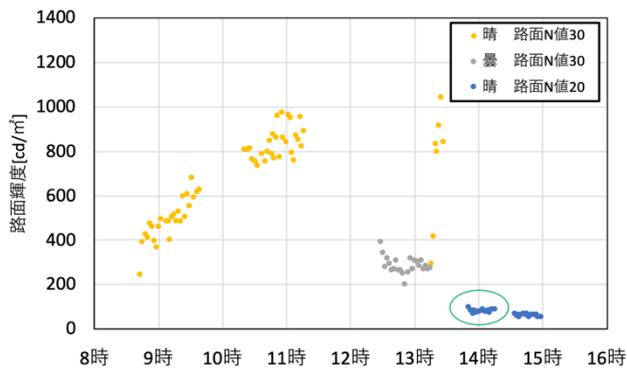


図10 実験2日目の路面輝度の推移

3.3 輝度差と輝度比の比較

3.1 および 3.2 の結果を踏まえ、環境条件や路面条件の反映、数値の安定性の観点から、4章では解除条件を表現する指標として輝度差を採用する。

4. 輝度差が白線検知性能に及ぼす影響の把握

本章では開孔率別に白線検知の結果（以下、検知可能であった場合を検知可、検知不可能であった場合を検知不可）ごとの輝度差を比較することで、輝度差が白線検知性能に及ぼす影響を把握し、解除条件の特定を試みる。

4.1 開孔率 40%の輝度差の比較

図 11 に、開孔率 40%における白線検知の結果別の輝度差のヒストグラム（階級幅：50）を示す。この結果より、輝度差が 450 以下の条件下で白線検知性能が低下する様子が確認された。検知可の確率（以下、検知率）は、輝度差が 451~500 の場合は約 83% (5/6) であるのに対し、401~450 の場合は 50% (4/8) となっている。両者の検知率に有意差は確認できなかったが（Z 検定）、輝度差が 451~500 の検知率 (83%, 5/6) と 351~400 の検知率 (30%, 3/10) の差、および 451~500 の検知率 (83%, 5/6) と 301~350 の検知率 (14%, 1/7) の差には両者とも有意差が確認された（Z 検定, $p < 0.05$ ）。

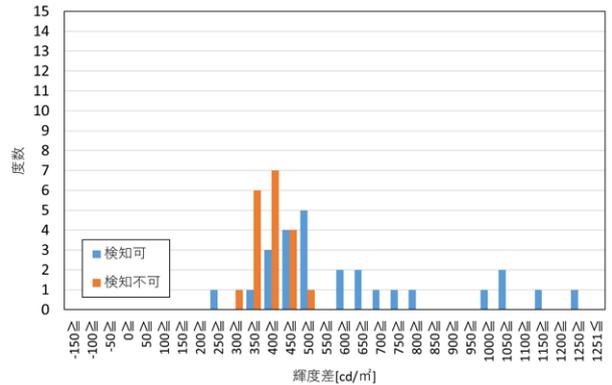


図 11 開孔率 40%における検知結果別の輝度差の分布

以上の結果より、開孔率 40%の場合において、白線と路面の輝度差が 450 以下という条件は、解除条件の一つである可能性が示唆された。

4.2 開孔率 30%の輝度差の比較

図 12 に、白線検知の結果別の輝度差のヒストグラムを示す。この結果から分かるように、検知不可について十分なサンプル数が確保できているとは言えないため、開孔率 40%の場合と同様の考察を行うことは困難であるが、輝度差 350 以下で検知不可が確認できる。

ただし、開孔率 30%の場合は、開孔率 40%の場合と異なり、輝度差が低い場合においても検知されているケースが確認できる。このことから、輝度差以外に白線検知性能に影響を及ぼす要因の存在が伺える。

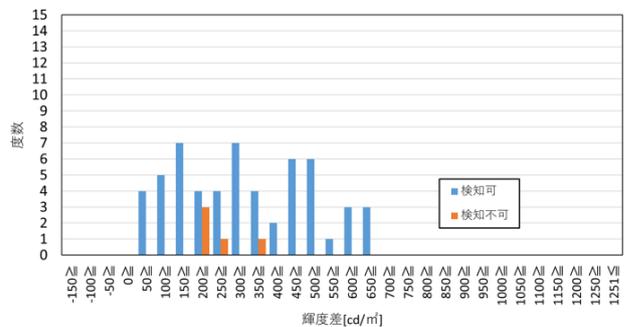


図 12 開孔率 30%における検知結果別の輝度差の分布

4.3 開孔率 20%の輝度差の比較

図 13 に白線検知の結果別の輝度差のヒストグラムを示す。開孔率 30%の時と同様に、低い輝度差でも検知されており、この点に関しては、輝度差以外にも白線検知に影響を及ぼす要因に関して今後検討する必要がある。しかし一方で、開孔率 20%の場合、検知可と検知不可の比率は 9:5 となっており、非常に高い確率で検知不可となることは確認できた。

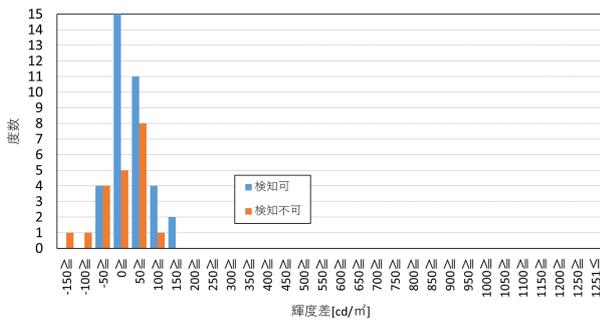


図 13 開孔率 20%における検知結果別の輝度差の分布

5. おわりに

本研究では、劣化状態を擬似的に再現した白線を設置した試験走路上で走行実験を行い、輝度差と白線検知性能との関係を把握し、解除条件を特定することを試みた。

以下に、本研究で得られた成果を示す。

- 解除条件を表現する指標としては、環境条件や路面条件の反映と数値の安定性の観点から、輝度比よりも輝度差が適切であると考えられる。
- 各開孔率での輝度差を検知結果ごとに比較すると、開孔率 40%以下、すなわち劣化率 60%以上の場合は、輝度差 450 以下で、白線検知性能の低下が確認できた。したがって、輝度差 450 以下という条件が、解除条件の一つである可能性が示唆された。
- 開孔率 20%、30%の場合については、白線検知性能に影響を及ぼす要因の検討が今後の課題として示されたが、いずれの場合も低い輝度差では検知不可となる確率が高いことを示すことができた。

上述した通り、開孔率 20%、30%の場合においては、輝度差以外にも白線検知性能に影響を与える他の要因があると考えられるため、指標を追加検討する必要がある。

謝辞

本研究は、大阪大学と一般社団法人全国道路標識・標示業協会関西支部大阪府協会との共同研究(2019 共 1364)であり、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用官民データ活用推進戦略会議：官民 ITS 構想・ロードマップ 2019, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20190607/siryou9.pdf>, 2019. (最終閲覧日：2020年4月28日)
- SUBARU：Safety スマートアシストIII, <https://www.subaru.jp/diaswagon/diaswagon/safety/smartassist.html>, 2019. (最終閲覧日：2020年4月28日)
- TOYOTA：高速道路を走るとき：車線はみ出しアラート 車線逸脱警報機能（スマートアシストIII）

https://toyota.jp/safety/scene/highway/index2.html?padid=ag461_safety_about_tss_link03#support01. (最終閲覧日：2020年4月28日)

- 磯島駿介・小野口一則：A-4-12 夜間・雨天時の白線に関する研究, 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集, pp.198, 2016.
- 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知方法, 電子情報通信学会論文誌D, 第J91-D巻, 第8号, pp.2129-2136, 2008.
- 小野口一則：CCD カメラを用いたレーンマーカの検知, 映像メディア学会誌, 第68巻, 第10号, pp.775-779, 2014.
- 後呂考亮・中村英夫：全天候型白線識別技術の開発及び実証—第2報 高精度ミリ波レーダを用いたリブ式高輝度白線の検知性能検証—, JRJ20170201 研究活動紹介, http://www.jari.or.jp/Portals/0/resource/JRJ_q/JRJ20170201_q.pdf, 2017. (最終閲覧日：2020年4月28日)
- 積水樹脂株式会社：性能確認試験走路「道夢道」, <https://www.sekisuijushi.co.jp/dome/>, 2019. (最終閲覧日：2020年4月28日)
- 三島工業株式会社：製品案内, <http://www.mishima-roofing.com/product/index.html>. (最終閲覧日：2020年4月28日)
- Toki：【絵を描くための色彩学】明度と輝度の違いとは, <http://souzoulog.com/2019/07/10/> 【絵を描くための色彩学】明度と輝度の違いとは-2/, 2019. (最終閲覧日：2020年4月28日)