

# 区画線輝度の管理水準に関する諸外国の動向

安藤和彦

## 1. まえがき

道路に設置されている車道外側線、車道中央線、車線境界線等の区画線は、自動車の自動運転時に車両の位置を検知する基本的なツールとして利用が検討されている<sup>1)</sup>。

運転者が区画線を視認、判別するには、昼間は区画線と舗装との色彩の差が、また夜間には区画線の明るさ（反射輝度）が重要となる。自動車の自動運転における区画線検知技術も、基本的には運転者による視認と同様に、カメラを通した路面の画像処理により、色彩の明度や輝度を数値化し区画線を判別する方法等<sup>2)</sup>が主体になるものと考えられ、夜間の区画線検知には反射輝度の確保が重要な課題となる。

一般財団法人土木研究センターでは、夜間における区画線の視認性能について製品を評価する審査証明事業を実施していることに関連し、諸外国の関連基準類の情報収集を行っているが、昨年、国際道路協会（International Road Federation）から、区画線検知における米国等の動向について情報を得ることができた<sup>3)</sup>。本報文では、これらの情報をもとに、諸外国の道路管理者が設定している区画線の反射輝度の現状や、自動車の自動運転において要求されている区画線の輝度の動向について紹介するとともに、今後区画線を自動運転のツールとして用いていくための動向について、若干整理を行った。

## 2. 区画線の輝度特性

### 2.1 区画線の夜間視認性と反射輝度

#### (1) 光の反射

道路上に何らかの物体があった場合、夜間には物体が車両の前照灯、道路照明、沿道施設の照明等の光を反射することで、運転者はその存在を視認することができる。反射光は、反射する方向によって、正反射および乱反射に大別でき（図-1 (a)）、区画線のように路面上にある平面の物体は、乱反射のうち運転者側に戻る部分的な光（以下「再帰反射光」

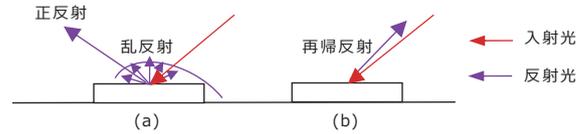


図-1 光の反射の区分

という。)で視認することになる。通常この反射光量は少なく、区画線は薄暗い灰色の物体にしか見えない。このため区画線を明るく見せる方法として、図-1 (b) に示すように前照灯の入射光を運転者側に戻し再帰反射光を増やす工夫をしている。

#### (2) ガラスビーズの混入・散布

上述の再帰反射光は、区画線に小さいガラスビーズを混入・散布することで増やすことができる（図-2）。このとき、再帰反射光の明るさの程度は再帰反射輝度で表され、単位はミリカンデラ/平方メートル/ルクス（ $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lx}$ ）となる。これは、前照灯が区画線に照度 $1\text{lx}$ あたりの光を当てた際に区画線から得られる輝度（ $\text{mcd}/\text{m}^2$ ）を示している。再帰反射輝度は、前照灯、区画線および運転者の位置関係によってその値が大きく変わるので、欧米では、再帰反射輝度を測定・評価するため、光の入射角度を $88.7^\circ$ 、観測角度を $1.05^\circ$ として統一している<sup>4)</sup>（図-2）。これらの位置関係は、乗用車の運転者が $30\text{m}$ 先の区画線を視認する状態の入射角度および再帰反射角度となる。

区画線の主な塗装方式には熔融式とペイント式があり、一般道路等では熔融式が多く用いられる。熔融式の場合、塗料を $1.5\text{mm}$ 程度の厚さで塗布することから、粒径が $0.8\text{mm}$ 以下（主として $0.3\text{mm}$ ～ $0.6\text{mm}$ 程度）のガラスビーズを表面に散布すると

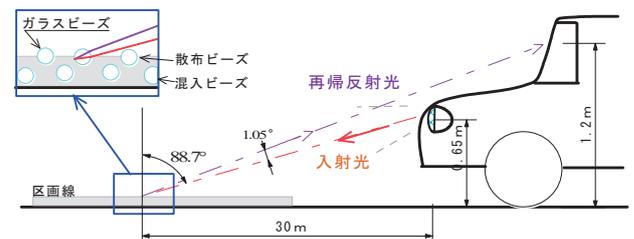


図-2 再帰反射による区画線の視認

ともに、塗膜内にも混入している（図-2）。そのため施工直後は区画線上に散布されたガラスビーズ（以下「散布ビーズ」という。）が、ある程度供用後に区画線が摩耗した後は、区画線内に混入されたガラスビーズ（以下「混入ビーズ」という。）が露出して、反射輝度値を長く維持することができる。なお、高速道路等で用いられているペイント式は厚さが0.2mm程度以下であることから、散布ビーズのみで輝度を確保することになる。

溶融式の区画線で、車輪が真上を通過し早期に摩耗がみられる場合の再帰反射輝度の変化特性を時系列で示したものが図-3である<sup>5)</sup>。図から分かるように、区画線輝度は施工直後に若干増加した後急激に低下し、その後3～4年程度、輝度値は若干の低下はみられるもののほぼ一定の状態を維持する。区画線の視認性を評価する場合には、このような供用後ある程度経過し安定した状態の明るさ（輝度値）が重要となる。以下では、散布ビーズの効果がみられる期間を初期期間、その後混入ビーズの効果がみられる期間を維持期間という。

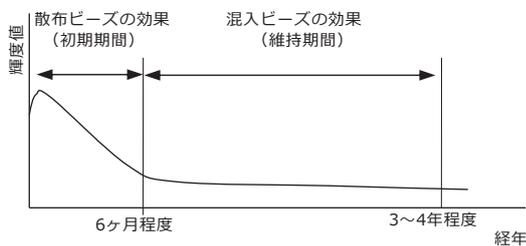


図-3 再帰反射輝度の経年変化（溶融式）

## 2.2 気象条件による反射輝度の変化

雨天時等で区画線が水膜によって覆われた場合には、水膜により正反射光が増えることや水膜による屈折率の変化が影響し、再帰反射光が減少して区画線の視認性は極端に低下する（図-4）。したがって、区画線検知では雨天時に反射輝度が小さくなる状態も考慮することが求められる。

以下では、晴天・曇天時の路面状態を「乾燥時」、降雨時や降雨直後で区画線上に雨水が残っている路面状態を「湿潤時」として区別する。

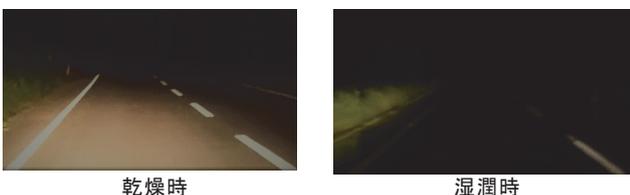


図-4 路面状態による区画線の見え方の比較

## 3. 道路管理者が設定している再帰反射輝度の管理水準

### 3.1 米国およびカナダの各州

米国およびカナダの各州の道路管理機関に対して、区画線の維持管理について調査した結果が報告されている<sup>6)</sup>。これをもとに、区画線を管理する際の基準値（以下「管理水準」という。）を設定している州を抽出し、初期期間／維持期間別、乾燥時／湿潤時別、白色／黄色別に示したものが表-1および表-2である。全体として、白色より黄色、乾燥時より湿潤時の管理水準が低くなっている。

施工直後等の初期期間における管理水準（表-1）は、州により管理水準にばらつきがみられる。維持期間の管理水準（表-2）は、乾燥時の場合多くの州で100mcd/m<sup>2</sup>/lx程度以上、湿潤時は70mcd/m<sup>2</sup>/lx程度以上の輝度を維持することが求められている。

表-1 米国およびカナダ各州の管理水準（初期期間）

路面状態	州	再帰反射輝度(mcd/m <sup>2</sup> /lx)	
		白色	黄色
乾燥時	Delaware <sup>*1</sup>	500	300
	Maryland <sup>*2</sup>	500	350
	Arkansas <sup>*1</sup>	450	300
	Missouri <sup>*1</sup>	450	300
	Idaho <sup>*1</sup>	250	175
	Alaska <sup>*1</sup>	200	200
	British Columbia <sup>*4</sup>	200	150
	Arizona <sup>*3</sup>	175	125
湿潤時	Delaware <sup>*1</sup>	250	250
	Arkansas <sup>*1</sup>	150	100

\*1; 施工直後、\*2; 0.5か月後、\*3; 1か月後、\*4; 1.5か月後

表-2 米国およびカナダ各州の管理水準（維持期間）

路面状態	州	白色		黄色	
		再帰反射輝度(mcd/m <sup>2</sup> /lx)	経過月数(ヶ月)	再帰反射輝度(mcd/m <sup>2</sup> /lx)	経過月数(ヶ月)
乾燥時	Missouri	250	48	175	48
	Nevada	200	24	200	24
	Arkansas	150	48	150	48
	Idaho	150	48	125	48
	Delaware	125	48	125	48
	Texas	120	36	120	36
	Maryland	100	60	100	60
	Alaska	40	24	40	24
湿潤時	Arkansas	75	48	75	48
	Delaware	75	24	75	24

### 3.2 欧州

欧州規格<sup>7),8)</sup>では、表-3に示す管理基準を設定している。表で設定されている輝度の最低値をみると、乾燥時では白色の場合100mcd/m<sup>2</sup>/lx、黄色の場合80mcd/m<sup>2</sup>/lxであることから、米国およびカナダの

土研センター

各州の管理水準と同程度になっていることがわかる。また欧州規格でも湿潤時の管理水準が設定されているが、最低は25 mcd/m<sup>2</sup>/lxとなっており、乾燥時の1/4程度とかなり小さい。湿潤には現実的に管理可能な水準を想定しているためと考えられる。なお、これらの輝度は、それぞれの道路で想定される耐久期間を踏まえて所定の期間維持すべき値であり、各水準は発注者が施工時に指定することとしている。

表-3 欧州規格による輝度区分

路面状態	色	性能区分	再帰反射輝度 (mcd/m <sup>2</sup> /lx)
乾燥時	白	R 0 *	輝度設定しない
		R 2	≥ 1 0 0
		R 3	≥ 1 5 0
		R 4	≥ 2 0 0
		R 5	≥ 3 0 0
	黄	R 0 *	輝度設定しない
		R 1	≥ 8 0
		R 3	≥ 1 5 0
		R 4	≥ 2 0 0
湿潤時	白/黄	R W 0 *	輝度設定しない
		R W 1	≥ 2 5
		R W 2	≥ 3 5
		R W 3	≥ 5 0
		R W 4	≥ 7 5

\* 車両の前照灯による再帰反射輝度がなくとも、夜間視認性が確保できる区間に適用

3.3 大洋州

オーストラリア、ニュージーランド等の大洋州における基準類を策定しているAustRoadsの報告<sup>9)</sup>では、区画線の性能として夜間の視認性を確保するため、ガラスビーズを混入するものとしているが、具体的な管理水準は示されていない。

3.4 日本

日本には区画線の管理水準として定められた再帰反射輝度はないが、区画線の施工や維持管理方法について記載している路面標示ハンドブック<sup>10)</sup>では、表-4の評価区分を提案している。なお、反射輝度を夜間の区画線視認における中心的な評価指標としてみると、評価ランク2程度以上を必要とするとの報告がある<sup>11)</sup>。このことは、諸外国と同様100mcd/m<sup>2</sup>/lx前後の輝度が管理水準として求められているためと考えられる。

表-4 国内での輝度区分の例

評価ランク	評価区分	再帰反射輝度値 (mcd/m <sup>2</sup> /lx)
5	十分満足	274以上
4	やや満足	186~247
3	一部不満足	126~186
2	やや不満	65~126
1	不満	65未満

4. 自動運転のための再帰反射輝度水準等

4.1 欧州で要求する輝度水準

欧州の自動車関連安全評価団体 (EuroRAP/NCAP) では、区画線検知に必要となる反射輝度水準 (以下「要求水準」という。) について、現在用いられている区画線幅10cmを15cmに広げるとともに、乾燥時では150mcd/m<sup>2</sup>/lxとし、湿潤時では35 mcd/m<sup>2</sup>/lxが必要としている<sup>12)</sup>。

4.2 大洋州で要求する輝度水準

AustRoads の調査報告<sup>13)</sup>においては、EuroRAP/NCAPの要求水準を参考に、乾燥時には100~150mcd/m<sup>2</sup>/lxを、降雨終了後45秒経過時の湿潤状態で50~75mcd/m<sup>2</sup>/lxを確保することが望ましいとしている。また、降雨中では35mcd/m<sup>2</sup>/lxを要求水準としている。

4.3 米国における区画線検知に向けた検討

米国では、各州が表-1、表-2の管理水準を設定しているが、現在のところ、米国全体としての統一的な要求水準は明らかになっていない<sup>3)</sup>。

今後は、区画線検知に向けて、視認性を高める、維持管理体制を整備するため、視認性向上に向けた検討や品質、規格、維持管理を向上するための検討を行うとしている。

5. 区画線検知における課題と対応

5.1 区画線の反射輝度の確保

図-3の維持期間に着目し、経過月数と管理水準について示している米国およびカナダの各州の管理水準と自動運転のための要求水準との関係について、白色、黄色別に示したものが図-5である。

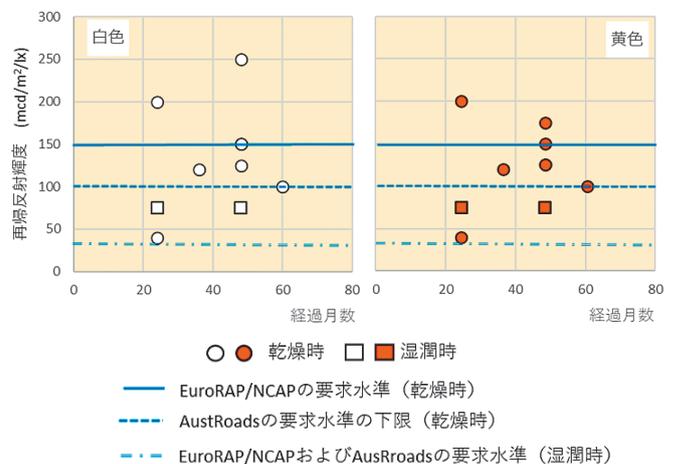


図-5 米国およびカナダの道路管理者が設定している管理水準と自動運転での要求水準との関係

図から、高い管理水準を設定している道路管理機関であれば、自動運転のための要求水準を満足する管理を行っていることがわかる。また、国内での既往調査結果<sup>5),14)</sup>からは、現在の区画線は供用後3~4年程度は100mcd/m<sup>2</sup>/lx以上を維持できることが判明しており、AustRoadsの要求基準を満足することになる。今後、技術的な検討を加えることで、要求水準を満足する再帰反射輝度を維持していくことは、十分可能であると考えられる。

## 5.2 自動運転の支援に向けた今後の動向

### (1)長い区間にわたる区画線輝度の計測管理

自動運転を支援するためには、区画線の再帰反射輝度の状態を計測管理し、維持していくことが重要となるが、長距離にわたる区画線の状態を効率的に計測する方法として、車両が走行しながら再帰反射輝度を測定するいくつかの技術が確立されている<sup>15)</sup>。さらに、高速で走行しながら3次元画像等を活用して詳細な点検を行う技術等も開発されてきているので、これらの技術を活用した維持管理等の検討が進められていくものと思われる。

### (2)視認性が低下する雨天時対策

雨天時の再帰反射輝度は、沿道の照明や対向車の前照灯等によって外乱光があると検知が困難になるので、凹凸のある高視認性区画線や反射式の道路鋸を併用するなど、既存の技術を発展させ、位置情報検知に寄与するための技術開発が進められていくものと思われる。さらに区画線の確認が難しくなる豪雨時、降雪時、霧発生時等については、天候状態に応じた位置検知対応策の検討が不可欠になるものと思われる。

## 6. あとがき

区画線の再帰反射輝度の管理水準や自動運転で求められる要求水準等について、諸外国の現状や動向について整理を行った。これらの整理結果をみると、道路管理者が設定している管理水準や実際に維持されている輝度等の状況から、自動運転時の要求水準を担保することは技術的に可能であると考えられる。今後、区画線を自動運転に用いていくための検討がさらに進められ、自動運転に寄与するツールとして活用されていくことを期待したい。

## 参考文献

- 1) 自動運転を巡る動き - 国土交通省：  
[www.mlit.go.jp/common/001155023.pdf](http://www.mlit.go.jp/common/001155023.pdf)
- 2) 例えば、小野ロー則：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、2014
- 3) Paul Carlson: Adapting Pavement Markings to Support Highway Safety and Automated Vehicle Technologies; IRF Webinar on Pavement Markings, 2019
- 4) ASTM E1710-18; Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using Portable Retroreflectometer
- 5) 建設省土木研究所：区画線に関する調査報告、土木研究所資料、第2200号、1985
- 6) Transportation Research Board; Pavement Marking Warranty Specifications, NCHRP Synthesis 408, 2010
- 7) Highway Markings; A Guide to IS EN 1436 European Standard for Road Markings, - [www.highwaymarkings.ie/documents/is\\_en\\_1436\\_1.pdf](http://www.highwaymarkings.ie/documents/is_en_1436_1.pdf)
- 8) preEN 1436: Road Marking performance for road-users, 2004
- 9) Austroads; Revision of Guide to Traffic Engineering Practice Part 8: Traffic Control Devices, AP-T47/06, 2006
- 10) (一社) 全国道路標識標示業協会：路面標示ハンドブック、1998
- 11) 平澤他：ドライバーの視認性評価による区画線の塗り替え基準の検討、第28回交通工学研究発表会報告集、2008
- 12) EuroRAP/EuroNCAP; Roads that Cars Reads - Quality Standard for Road Markings and Traffic Signs on Major Rural Roads, 2014
- 13) AustRoads; Infrastructure Changes to Support Automated Vehicles on Rural and Metropolitan Highways and Freeways, AP-R604-19, 2019
- 14) 元田良孝、安藤和彦：区画線の反射輝度と視認距離、第18回日本道路会議論文集、1989
- 15) 例えば、RoadVista: [www.roadvista.com/laserlux-mobile-retroreflectometer/](http://www.roadvista.com/laserlux-mobile-retroreflectometer/)

安藤和彦



(一財)土木研究センター技術研究所  
道路研究部長  
ANDO Kazuhiko