

機関番号：30108
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2010
 課題番号：19360234
 研究課題名（和文） 積雪寒冷地域における可視光通信を用いた歩行者 ITS の整備計画に関する研究
 研究課題名（英文） ITS Application Plan for Pedestrian Safety Using Visible Light Communication in Cold Regions
 研究代表者
 亀山 修一（KAMEYAMA SHUICHI）
 北海道工業大学・空間創造学部・教授
 研究者番号：30295894

研究成果の概要（和文）：

可視光通信 LED によって歩行者に安全・安心情報を伝えるしくみ（歩行者 ITS）を積雪寒冷地に適用することを目的とし、室内実験およびフィールド試験によって降雪が可視光通信能力に及ぼす影響について検討した。また、札幌市中心部において収集したすべり抵抗、道路区画線の視認性などのデータを整理・分析し、歩行者の交通安全にとって重要なこれらの因子の測定方法および評価方法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

The effects of snowfall on visible light communication ability of LED were investigated by laboratory and field tests in order to develop ITS for pedestrian safety using LED with visible light communication in cold regions. The traffic barriers on sidewalk such as a difference in level, evenness, skid resistance and the stripping and nighttime visibility of road markings in Sapporo city are collected, and measurement and evaluation method for those are developed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2008 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
総計	10,700,000	3,210,000	13,910,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・交通工学

キーワード：ITS, 歩行者, 積雪寒冷地, LED, 可視光通信, バリアフリー, 道路区画線
 安全・安心情報

1. 研究開始当初の背景

平成 18 年に、中央交通安全対策会議は、「車中心」の交通安全から、「人優先」の交通安全思想への転換を図った新たな交通安全基本計画を作成した。この計画では、通学路、生活道路、市街地の幹線道路における歩道及び交通安全施設・設備の整備を通して、「人

優先」の安全・安心な歩行空間を形成することが重点施策として挙げられている。安全・安心な歩行空間を形成するためには、交差点の改良や歩行空間のバリアフリー化などのハード面の整備に加え、情報通信技術（IT）を利用して歩行者に安心・安全情報を提供する歩行者 ITS の開発などソフト面の整備も必要となる。

視認性・経済性に優れたLED信号機の急速な普及と可視光通信技術の進歩を背景として、近年、可視光通信によって歩行者に情報を提供するLED信号機が開発された。これは、歩行者用信号機に用いられているLEDから発生する可視光を人間の目が判別できない高周波数で点滅させ（変調）、それを歩行者が所持する携帯端末に備え付けた光センサで受信し、情報通信をおこなうものである（以後、可視光通信LEDと呼ぶ）。可視光通信LEDは通常用いられているLEDに変調装置を付加するだけで良いため低コストであり、かつ既存の信号機ネットワークを利用して広範囲に整備できるという大きな利点を有する一方、雨、霧、雪など、気象の影響を受けやすいという欠点も有する。特に、雪が可視光通信に及ぼす影響についてはほとんど解明されていないことから、現段階では、気象障害が少ない温暖な地域のみを対象としている。

2. 研究の目的

本研究では、可視光通信LEDを用いた歩行者ITSを積雪寒冷地域に適用することを目的とし、以下のような到達目標を設定した。

- (1) 降雪や吹雪などが可視光通信LEDの通信能力に及ぼす影響を明らかにする。
- (2) 歩行者の交通安全にとって重要な情報である交通バリアおよび道路区画線の視認性の測定方法と評価方法を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、上記の目標を達成するために、以下に示す実験・調査を実施した。

- (1) 雪氷防災研究センター新庄支所雪氷防災実験棟において、人工降雪装置の降雪量を制御した環境で可視光通信LEDの通信能力を測定し、降雪が通信能力に及ぼす影響を明らかにする。
- (2) 北海道工業大学のフィールド試験場において、冬季における可視光通信LEDの通信能力、気象データ、視程を測定し、冬季気象特性が可視光通信に及ぼす影響を明らかにする。
- (3) 札幌市中心部の歩道のすべり抵抗を測定し、その特性および歩道に求められるすべり抵抗を求める。さらに、当該エリアの歩道のすべり抵抗分布を明らかにする。
- (4) 走行車両内に据え付けたデジタルカメラを用いて20m間隔で撮影した画像から道路区画線の剥離率を算出する手法を開発する。さらに、本手法によって求まる剥離率(DSR)と真上から撮影した画像から求めた剥離率(ASR)、DSRと区画線の夜間視認性(RF)の関係性を明らかにし、積雪寒冷地における道路区画線の損傷度を診断する方法を開発する。

4. 研究成果

(1) 可視光通信能力の測定（室内試験）

防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の雪氷防災実験棟において、降雪時における可視光通信LEDの通信能力を測定した。図-1に示すように、人工降雪装置による降雪が生じる空間を挟むように光源（赤色LED）と受光部（光センサ）を配置する。ファンクションジェネレータ（FG）で生成した方形波を赤色LEDに入力して高速点滅させ（変調）、それを5m離れた光センサで受光する。外乱光の影響を防ぐため、実験室内は暗室状態とした。光強度は20V、変調周波数は100, 500, 900kHzの3パターン、降雪強度は無降雪、弱(0.3cm/h)、中(1.0cm/h)、強(2.0cm/h)の4パターンとし、1パターンにつき300回(30秒)の測定を実施した。通信能力の測定と同時に、降雪空間の視程を前方散乱型視程計によって5秒間隔で測定したところ、降雪強度が弱・中・強の視程の平均値はそれぞれ500m, 800m, 1500mであった。

光センサで測定された電圧波形から、信号強度と Q_m を算出した。 Q_m は、図-2に示すように、電圧波形の度数分布を基に式(1)によって求まる。雑音の増加、あるいは信号振幅の減少に伴って Q_m が低下するため、 Q_m は、方形波を搬送波に用いた場合の情報品質を表す指標として用いられる。

$$Q_m = |\mu_1 - \mu_2| / (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (1)$$

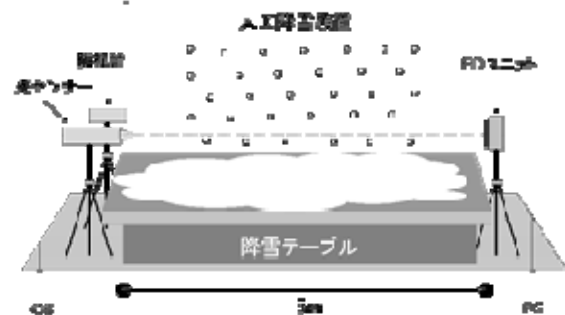


図-1 室内試験の状況

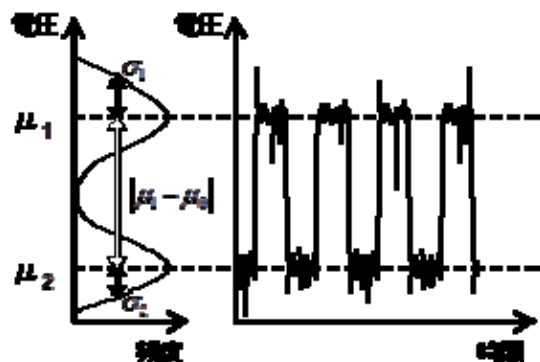


図-2 Q_m の算出

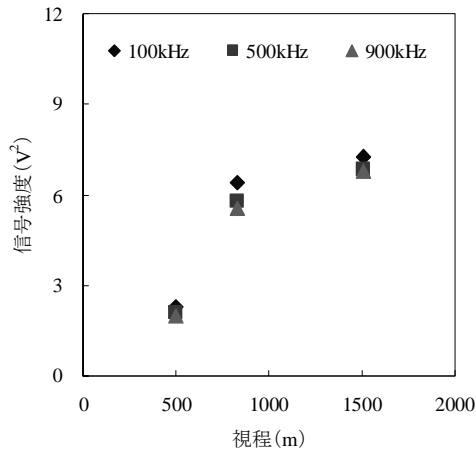


図-3 視程と信号強度の関係

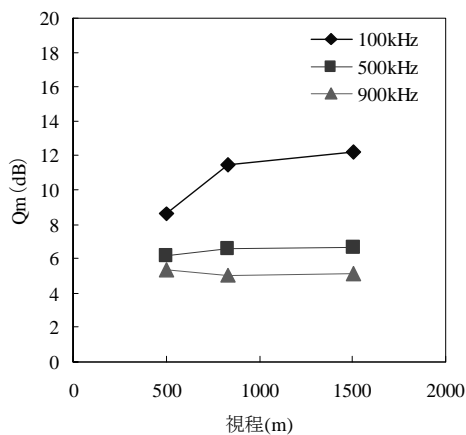


図-4 視程と Q_m の関係

視程と信号強度の関係を図-3に示す。視程の低下にともなって信号強度は減少する傾向が見られ、特に、視程が800m以下になると急激に減少することが分かる。

視程と Q_m の関係を図-4に示す。周波数が大きくなると Q_m は減少する。周波数が500kHz, 900kHz の場合は、視程が低下しても Q_m に変化は見られないが、100kHz の場合では、視程の低下にともなって Q_m が減少する傾向が見られる。したがって、周波数が小さいほど情報品質は高くなるが、降雪の影響も受けやすくなる事が分かる。

(2) 可視光通信能力の測定 (フィールド試験)

図-5に示すように、変調周波数の設定、オシロスコープ (OS) の操作、データ保存をパソコンで制御し、30分毎に自動計測を行った。また、可視光通信能力の測定と同時に、後方散乱式視程計によって5分間隔で視程を測定した。測定に使用した光源は赤色LED (10ユニット) と青色LED (14ユニット) であり、変調周波数は100, 500, 900kHz とした。なお、夜間における測定データのみを解析に用

いた。

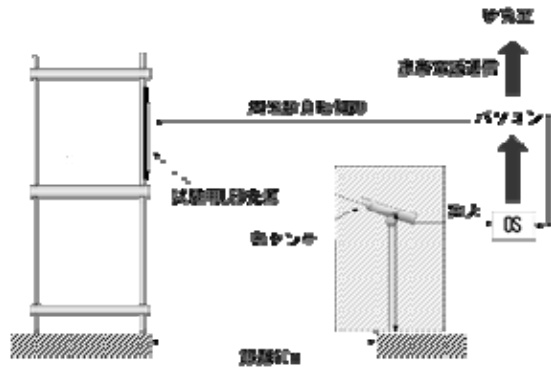


図-5 フィールド試験の状況

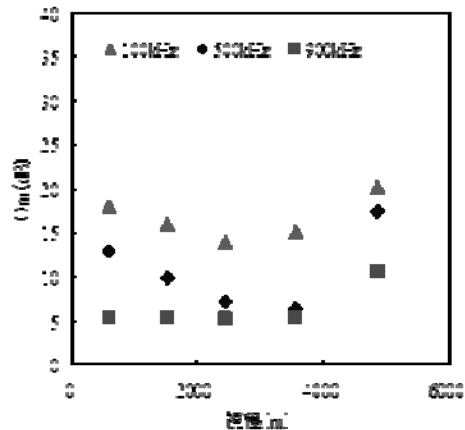


図-6 フィールド試験の状況

赤色LEDユニットにおける視程と Q_m の関係を図-6に示す。視程の減衰に伴って Q_m が減少し、周波数が高くなるほど Q_m が減少する傾向が見られた。青色LEDユニットでも同様の傾向が見られたが、赤色LEDと青色LEDを比べると、周波数による影響は青色LEDの方が大きいことが分かった。

(3) 歩道のすべり抵抗評価

札幌市都心部の中でも特に歩行者が多く、かつ、札幌市のまちづくり計画類の中で重要視されている路線を多く含む中心エリア (約110ha) の歩道105箇所においてすべり抵抗を測定した。測定には歩道用DFテスタ (SDFT) を用いた。SDFTは、半径7cmの円盤に取り付けられたゴム片が接地圧123kPaで試験面上を接触しながら回転するとき生じる摩擦力から路面の摩擦係数を求める装置であり、静摩擦係数と15km/hまでの動摩擦係数を測定することができる。

図-7に示すように、各測定箇所では、中央部、車道側、建物側の3地点において、湿潤路面の静摩擦係数 μ_0 と4km/hの動摩擦係数 μ_4 を測定した。なお、1地点におけるSDFTの測定回数は5回とし、その平均値を解析に

用いた。

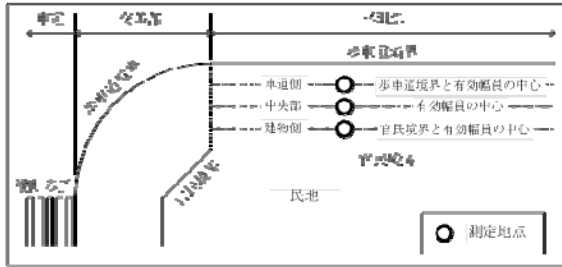


図-7 すべり抵抗測定地点

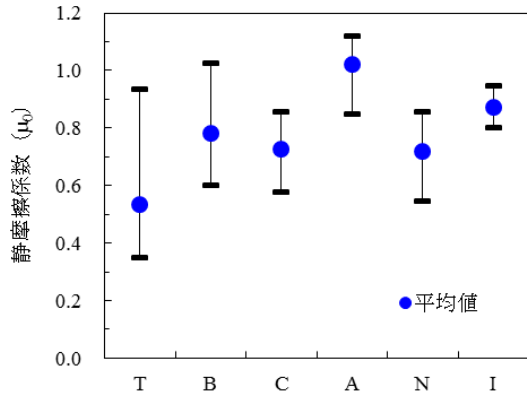


図-8 歩道中央部の静摩擦係数

歩道中央部で測定された μ_0 の平均値と範囲を図-8 に示す。 μ_0 の平均値は、アスファルト舗装 (A) が約 1.0 と最も大きく、レンガ舗装 (B)・コンクリート平板舗装 (C)・自然石舗装 (N) はほぼ同じレベルで約 0.7、最も低いのはタイル舗装 (T) の約 0.5 であった。また、 μ_0 の範囲は、舗装 I, A, C では小さいが、舗装 T, B, N では大きい。特に、T 舗装では、 μ_0 の最小値は 0.35、最大値は 0.95 であり、バラツキが極めて大きい。これは、T 舗装の材質、表面処理、サイズ、目地などが多様性に富んでいるためである。

すべり抵抗調査箇所から 26 箇所を選び、20 歳代の男性 15 名と女性 19 名によるすべり評価試験を実施した。試験箇所は、図-9 に示すように、評価対象路面とそれに隣接する基準路面で構成される。被験者は、基準路面と評価対象路面を歩行した後、評価対象路面のすべりを 1~5 点の 5 段階で評価する。基準路面と同程度と感ずる場合は 3 点、基準路面よりもすべりやすい場合は 2 点、著しくすべりやすい場合は 2 点、すべりにくい場合は 4 点、著しくすべりにくい場合は 5 点とした。

基準路面よりもすべりやすい (1 点と 2 点) と評価した被験者の割合 (R_s) と μ_0 の関係を図-10 に示す。 R_s が 50% 以上、すなわち、被験者の半数以上が基準路面 (アスファルト舗装) よりもすべりやすいと感じる μ_0 は革靴・ハイヒールでは 0.6 となることから、本研究では、歩道に求められる静摩擦係数 μ_L

を 0.6 とした。

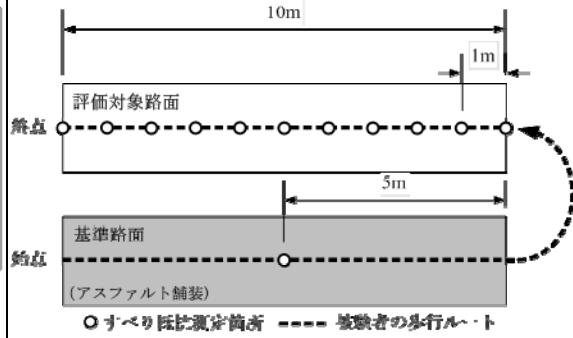


図-9 すべり抵抗測定地点

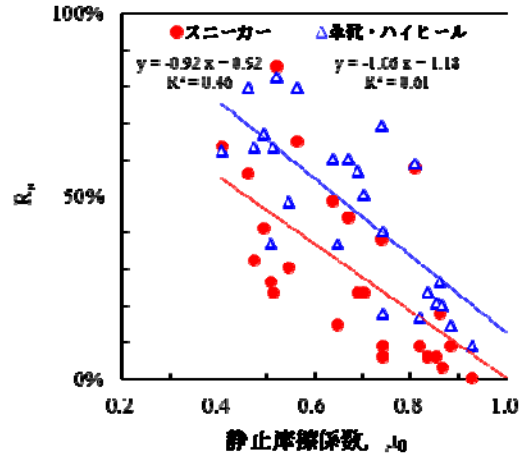


図-10 すべり抵抗測定地点

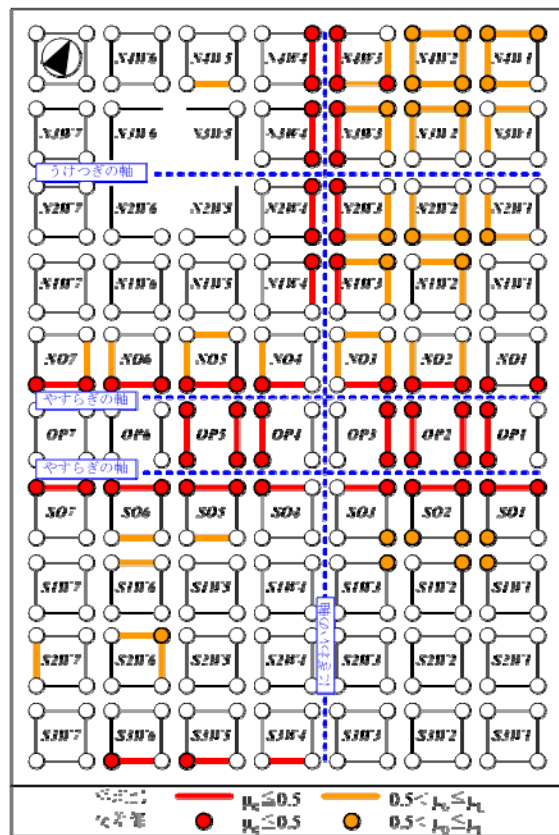


図-11 札幌市都心部の歩道のすべり抵抗

札幌都心部の歩道の中から $\mu_0 \leq \mu_L$ となる箇所を抽出し、さらに、すべりやすい箇所を明確にするため、これを $\mu_0 \leq 0.5$ と $0.5 < \mu_0 \leq \mu_L$ に分類した (図-11)。すべり抵抗の小さい歩道は評価対象範囲内に点在するのではなく、都心まちづくり計画の骨格軸である「にぎわいの軸」の北4条～北1条、「うけつぎの軸」を中心とする北4条～北2条と西1丁目～西4丁目で囲まれる範囲、および「やすらぎの軸」の3つの区域に集中し、かつ連続的に分布していることが分かる。また、平坦部では、 $\mu_0 \leq 0.5$ と $0.5 < \mu_0 \leq \mu_L$ の割合が同程度であるのに対し、交差部では、 $\mu_0 \leq 0.5$ の割合が平坦部の約2倍であり、すべりやすい箇所が多いことが分かる。

(4) 道路区画線の損傷度評価

札幌市内の国道2路線において、区画線の走行画像剥離率 (DSR) の測定 (走行調査)、および定点における真上画像剥離率 (ASR) と反射輝度 (RF) の測定 (定点調査) を実施した。DSRは、走行する車両内から20m間隔で撮影した区画線画像の画像特徴量 (濃度ヒストグラムの尖度 KT , 同時生起行列の相関 CR , 一般化次元 D_g) から式(2)を用いて算出される。

$$DSR = 12.6 \ln(KT) + 20 \ln(CR) - 73.2 D_g + 215.5 \quad (2)$$

走行調査を実施した路線から50箇所を選定し、図-12に示すように、A、B、Cの3地点において、ASRとRFの測定した。ASRの測定には、デジタルカメラを用い、路面から1mの高さ (真上) から区画線を撮影した。RFの測定には、反射輝度計 MIROLUX 7 を用いた。

DSRとASRの関係を図-13に示す。DSRはASRよりも小さい値となった。これは、真上から接写した画像では、離れた位置から斜めに撮影した画像よりも剥離領域が細部まで見えることが原因である。DSRとASRは一致しないものの、両者には強い相関が見られることから、式(3)によってDSRからASRを推定することができると言える。

$$ASR = 36.7 \ln(DSR) - 61.78 \quad (3)$$

DSRとRFの関係を図-14に示す。両者の間には強い相関が見られ、回帰式の R^2 値も高いことから、式(4)を用いてDSRからRFを推定できると言える。

$$RF = 468.97 e^{-0.04 DSR} \quad (4)$$

区画線の損傷に関するWEBアンケート調査を実施した。被験者は、図-15に示すように、基準画像AとBを参照して、評価画像の区画線の損傷度を1～5の5段階で評価する。評価画像には、障害物や影などが無い30枚の画像 (DSR=8～82%) を用いた。

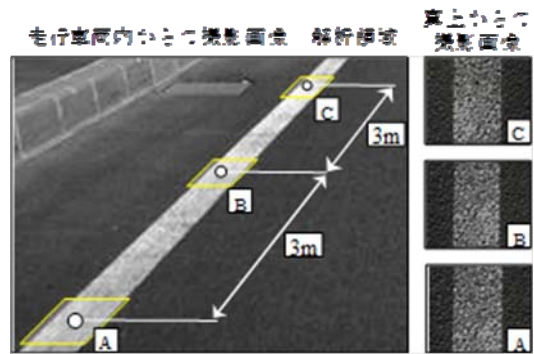


図-12 走行画像と定点調査箇所

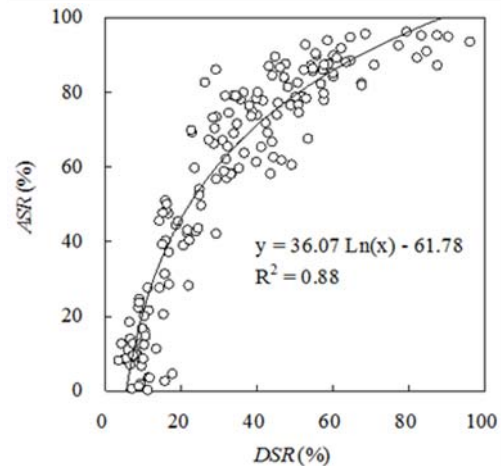


図-13 DSRとASRの関係

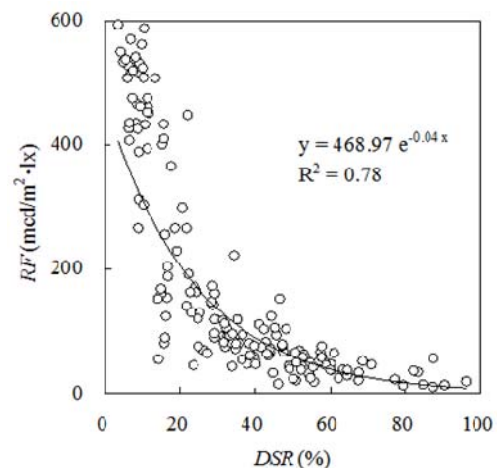


図-14 DSRとRFの関係

回答者の内、路面標示業に従事する人の平均評価点 (MS_S) と DSR の関係を図-16に示す。両者の間には非常に強い相関が見られることから、式(5)を用いて DSR から MS_S を推定できると言える。

$$ASR = -0.04 DSR + 3.94 \quad (5)$$

式(3)～(5)を用いることで、走行画像から区画線の真上画像剥離率、夜間視認性、外観評価を推定できることが分かった。



図-15 WEBアンケート調査の評価画面

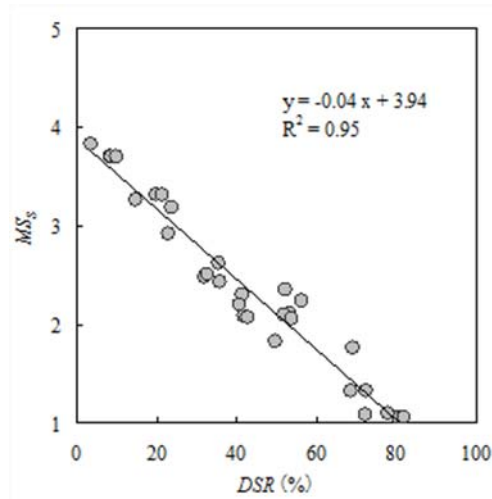


図-16 DSRとRFの関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

- ① 浅田拓海, 本多誠司, 亀山修一, 画像特徴量を用いた道路区画線剥離率推定法の開発, 土木学会論文集E1 (舗装工学), 査読有, Vol. 67, No. 1, pp. 10-21, 2011. 2
- ② 木下雅央, 浅田拓海, 本多誠司, 亀山修一, 川端伸一郎, 道路区画線の剥離評価と夜間視認性評価に関する研究, 第 42 回土木計画学研究・講演集, 査読無, 講演番号 158, 2010. 11
- ③ 木下雅央, 浅田拓海, 亀山修一, 道路区画線の夜間視認性評価に関する研究, 第 65 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 査読無, pp. 135-136, 2010. 9
- ④ Asada, T., Kameyama, S., Ishida, S., Kawabata, S. and Kasahara, A., Development of Evaluation Method of Stripping Ratio of Road Markings Using Image Analysis, Proceedings of the 11th International Conference on Asphalt Pavements, 査読有, Volume III, pp. 11-20, International Society for Asphalt Pavements, 2010. 9
- ⑤ 浅田拓海, 本多誠司, 亀山修一, 画像解析による道路区画線の剥離率評価手法の開発, 査読有, 土木情報利用技術論文集, vol. 18, pp. 261-268, 2009. 10
- ⑥ 木下雅央, 浅田拓海, 石田眞二, 亀山修

一, 画像解析による道路区画線の視認性評価に関する研究, 第 64 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 査読無, pp. 103-104, 2009. 9

- ⑦ 亀山修一, 石田眞二, 堀江修一, 笠原篤, 札幌市都心部における歩道のすべり抵抗評価, 土木学会論文集E, 査読有, Vol. 65, No. 2, pp. 198-207, 2009. 4
- ⑧ 内藤恵, 萩原亨, 亀山修一, 苫米地司, 佐藤威, 福菌一幸, 積雪寒冷地における可視光通信LEDの通信能力の検討, 土木計画学研究・講演集, 査読無, 講演番号 162, 2008. 11
- ⑨ 内藤恵, 萩原亨, 亀山修一, 苫米地司, 佐藤威, 福菌一幸, 降雪下における可視光通信の通信能力に関する研究, 雪氷研究大会講演要旨集, 査読無, Vol. 2008, pp. 162. 2008. 9
- ⑩ 大倉奨平, 内藤恵, 萩原亨, 亀山修一, 福原敏彦, 可視光通信を適用した歩行者ITSの通信能力に関する基礎研究 (その 1), 第 62 回年次学術講演会講演概要集, 査読無, 4-050, pp. 99-100, 2007. 9
- ⑪ 内藤恵, 萩原亨, 亀山修一, 苫米地司, 可視光通信を適用した歩行者ITSの通信能力に関する基礎研究 (その 2), 第 62 回年次学術講演会講演概要集, 査読無, 4-051, pp. 101-102, 2007. 9

〔学会発表〕(計 1 件)

- ① 内藤恵 (代表)・萩原亨・亀山修一・苫米地司・佐藤威・福菌一幸, 積雪寒冷地における可視光通信LEDの通信能力の検討, 第 39 回土木計画学研究発表会, 2009. 6. 13, 徳島大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀山 修一 (KAMEYAMA SHUICHI)
北海道工業大学・空間創造学部・教授
研究者番号: 30295894

(2) 研究分担者

苫米地 司 (TOMABECHI TSUKASA)
北海道工業大学・学長
研究者番号: 40102785
佐藤 威 (SATO TAKESHI)
独立行政法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター新庄支所・支所長
研究者番号: 30142920
石田 眞二 (ISHIDA SHINJI)
北海道工業大学・空間創造学部・准教授
研究者番号: 20347751
川端 伸一郎 (KAWABATA SHINICHIRO)
北海道工業大学・空間創造学部・教授
研究者番号: 1022483