

(2) 近傍媒質応答センサによる アスファルト舗装路面の状態識別評価

池田 一樹¹ 永島 和治² 金井 久亮²

1 正会員 日立製作所 研究開発グループ 高信頼実装研究部
(〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 292)
E-mail:kazuki.ikeda.ap@hitachi.com

2 非会員 日立製作所 研究開発グループ 高信頼実装研究部
(〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 292)

自動走行車の実現には、車両制動に影響を与える路面状態のセンシングが必要である。筆者らは、アンテナの近傍媒質応答を応用した路面状態センシングシステムを試作開発し、アスファルト舗装において、乾燥路面と湿潤路面の識別可否を評価した。その結果、密粒度アスファルト舗装、ポーラスアスファルト舗装の両舗装路面において、乾燥状態と舗装表面に水膜が形成される状態を識別できることを確認し、開発したセンシングシステムによる路面状態センシングの実現見通しを得た。

Key Words: road condition, pavement, antenna, near-field, sensing

1. 緒言

道路交通の安全性と輸送効率向上のため、世界的に自動運転・自動走行技術の開発が進展している。日本・米国・欧州では、基本走行を人間の関与なく自動化できる技術の開発が進められている¹⁾。自動運転の実現には、運転者の感覚に替わって、各種センサにより運転に必要な情報の電子化が必須であり、車載カメラによる画像認識、レーザ・レーザによる測距を用いた自動ブレーキ技術が実現している²⁾。また、上記技術に加えて、降雨・積雪などの路面状態に応じた速度制御とブレーキ制御を実現するため、車載型路面状態センシング技術が必要である。

路面状態のセンシング方式として、画像認識³⁾、赤外線センサ⁴⁾、加速度センサ⁵⁾、音響解析⁶⁾が報告されている。画像認識と赤外線センサは、外来光の影響によりセンシング精度が低下するため、外来光が変化する環境での路面状態識別が課題である。また、加速度センサと音響解析は、車両を含む系をセンシング対象とするため、センシング精度が車両状態の影響を受ける。

筆者らは、外来光・車両状態の影響を受けずに路面状態を識別する方法として、アンテナ近傍媒質応答センシング方式⁷⁾を提案している。本方式は、路面状態の湿潤に伴う誘電率変化を、アンテナの反射係数変化として検出する

方式であり、汎用測定器を用いた評価でアスファルト舗装における乾燥と湿潤を識別可能であることを検証した。

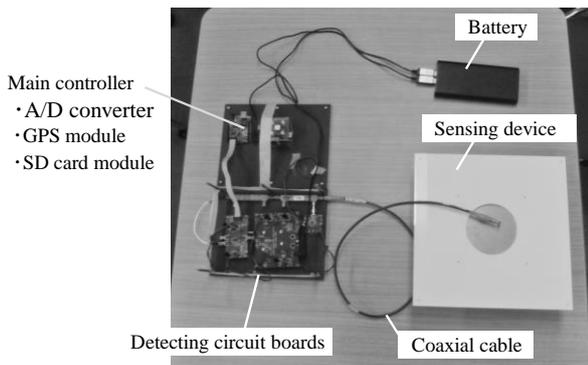
本報告では、近傍媒質応答を応用した路面状態センシングシステムを試作開発し、複数の路面状態における路面状態識別の有効性検証結果について報告する。

2. 路面状態センシングシステム

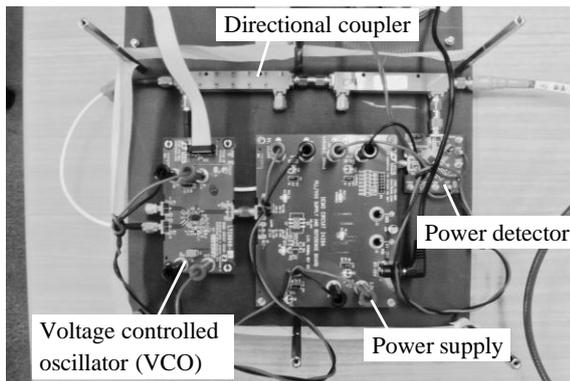
実環境の路面状態を識別評価するため、PCなどの制御機器を使用せず、バッテリー駆動する可搬式の路面状態センシングシステムを試作開発した。

図-1に試作した路面状態センシングシステムの外観、図-2に回路構成を示す。本システムは、メインコントローラ(マイコン)、センサ回路、同軸ケーブル、センシング素子(アンテナ)、バッテリーから構成される。メインコントローラには、アナログ/デジタル変換回路(内蔵)、GPS モジュール、SD カードモジュールが接続され、後述するフローチャートによって位置情報、時刻情報に関連付けられた路面状態を保存することが可能である。

また、検出回路は、可変周波数発振器、方向性結合器、電力検出器、電源回路で構成される。本回路の主要動作は、可変周波数発振器から高周波電力を出力し、路面状



(a) 全体構造



(b) 検出回路構造

図-1 試作した路面状態センシングシステムの外観

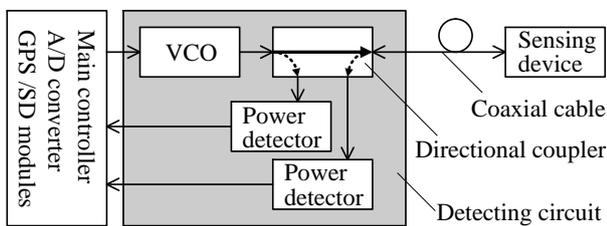


図-2 路面状態センシングシステムの回路構成

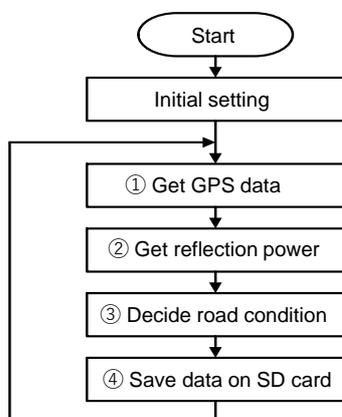


図-3 路面状態センシングシステムの動作フローチャート

Date	Time(JST)	Latitude	Longitude	Reflection coefficient	Road condition
2019/05/20	13:54:38.200	35.401333	139.542790	-9.87	Dry
2019/05/20	13:54:38.400	35.401333	139.542790	-9.71	Dry
2019/05/20	13:54:38.600	35.401333	139.542790	-10.04	Dry
2019/05/20	13:54:38.800	35.401333	139.542790	-9.71	Dry
2019/05/20	13:54:39.000	35.401333	139.542790	-11.19	Dry
2019/05/20	13:54:39.200	35.401333	139.542790	-9.87	Dry
2019/05/20	13:54:39.400	35.401333	139.542790	-10.20	Dry
2019/05/20	13:54:39.600	35.401333	139.542790	-9.87	Dry
2019/05/20	13:54:39.800	35.401333	139.542790	-9.87	Dry
2019/05/20	13:54:40.000	35.401333	139.542790	-10.04	Dry

図-4 路面状態センシングシステムのデータ(一例)

態に応じたセンシング素子の近傍媒質応答による反射電力を方向性結合器を介して電力検出器で直流電圧に変換し出力する。本動作は、アナログ回路で実装されるため、メインコントローラの反射電力の取得タイミングに関係なく、常時実行される。

図-3 にセンシング動作のフローチャートを示す。メインコントローラは、各モジュールを初期設定した後、①GPSからの位置情報・時刻情報を取得、②路面状態情報を有する反射電力を取得、③路面状態を判定、④microSDカードに位置・時刻・路面状態を保存する。また、①～④の処理を0.2秒間隔で繰り返し実行する。

図-4 に、本システムにより取得、保存されたデータの一例を示す。データは、左から、日付、時刻(JST)、緯度、経度、反射係数、路面状態の識別結果である。また、本データは固定箇所測定のため緯度・経度の変化はないが、移動した場合は0.2秒ごとに緯度・経度が変化することを確認している。なお、本稿では視認性を向上するためスペースを付加しているが、実際のデータではスペースは含まれない。

本データ量は、1測定点(1行)当たり56byte～57byte(改行含む)、1秒当たり約300byte、1時間当たり約1MBであり、本システムで使用するmicroSDカード(32GB)に理論上3.5年間分のデータを保存可能である。

3. 評価方法・対象

図-5 に、試作開発した路面状態センシングシステムによる評価環境を示す。センシング素子(マイクロストリップアンテナ)は、路面から鉛直方向に約100mm離して配置し、同軸ケーブルを介してセンサ回路に接続し、反射電力を測定する。

評価方法は、乾燥路面を測定した後、同一箇所に散水して湿潤路面を測定する。この時、乾燥から湿潤にいたる過程を継続して測定し、散水後300秒間の経過を測定した。なお、測定日は晴天であり、前日3日間に降雨なく、路面は乾燥状態であった。

図-6 に、評価対象の舗装路面の写真を示す。評価対象は、舗装路面(密粒度アスファルト舗装, ポーラスアスファルト舗装)において、路面状態を乾燥と湿潤の2状態とした。なお、測定対象の路面勾配を事前に測定し、各測定点の路面勾配は2度である。

図-7 に、評価対象の乾燥路面における反射係数の測定結果を示す。密粒度アスファルト舗装, ポーラスアスファルト舗装ともに反射係数は-9dB 以下であり、測定箇所8箇所の平均は-10.0dB である。本結果から、乾燥状態の舗装路面における反射係数に著しい違いはなく、概ね一定であると言える。

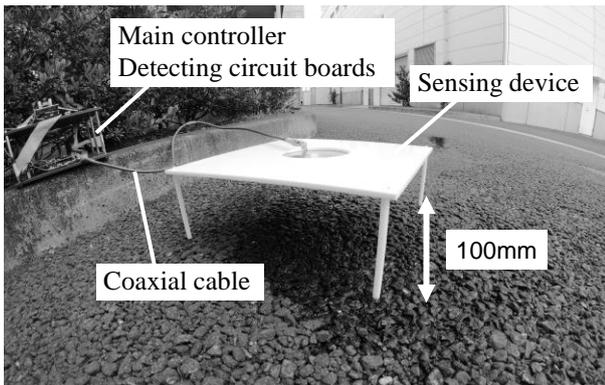
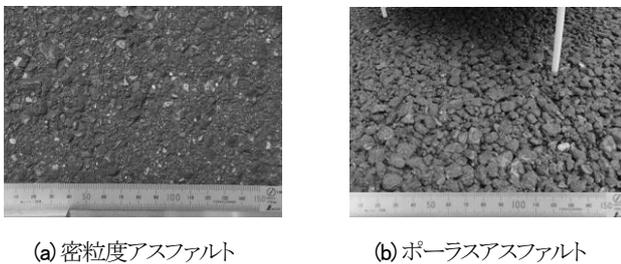


図-5 路面状態センシングシステムによる評価環境



(a) 密粒度アスファルト

(b) ポーラスアスファルト

図-6 評価対象の舗装路面(一例)

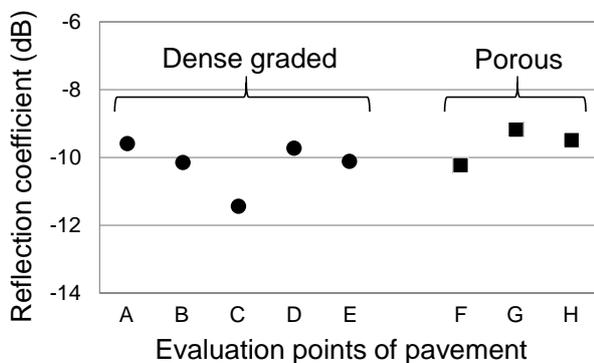


図-7 評価対象路面の乾燥状態における反射係数の測定結果

4. 散水による路面状態の識別評価

(1) 密粒度アスファルト舗装

図-8 に密粒度アスファルト舗装において、水道水 1L を散水したときの反射係数の測定結果を示す。グラフの横軸は時間、縦軸は反射係数を示しており、時刻 0 において散水している。

散水前、乾燥状態における反射係数は、アナログ/デジタル変換回路の量子化誤差の影響を受けて±0.5dB の範囲で変化しているが、すべて-9dB 以下となっている。

時刻 0 の散水と同時に反射係数は急激に増加し、平均 3dB 変化している。その後、時間経過に伴って反射係数は低下し、120 秒後には散水前の乾燥状態に対して平均 0.5 dB 増加した状態に漸近する。その後、1 時間経過すると反射係数は散水前と同程度になる。

(2) 散水量変化の影響

図-9 に、密粒度アスファルト舗装において、散水量を 0.5L, 1L, 2L に変えて反射係数を測定した結果を示す。

反射係数の時間応答は、散水量の変化に対して同様であり、散水直後に急激に増加し、時間経過に伴って乾燥状態に漸近する傾向を示す。

一方、散水直後の反射係数の変化量は、散水量に応じて単調増加する傾向があり、散水量 0.5L, 1L, 2L に対して反射係数の変化量は各々 1.5dB, 3.0dB, 3.5dB である。

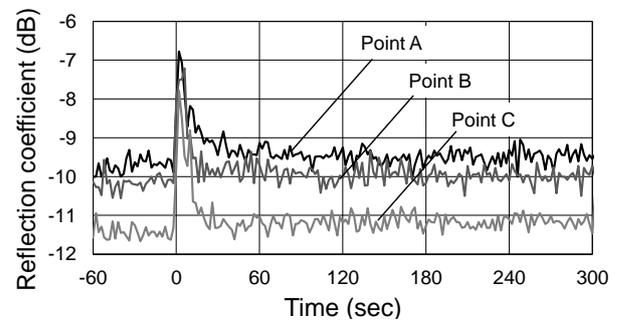


図-8 散水量 1L の密粒度アスファルトにおける反射係数の測定結果

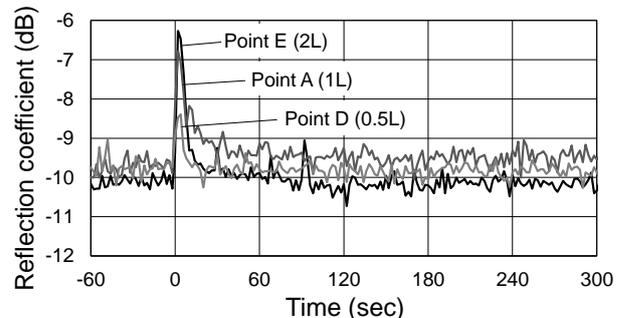


図-9 散水量変化による密粒度アスファルトにおける反射係数の測定結果

ただし、散水量と反射係数の関係は線形的ではなく、反射係数の変化量が飽和する領域(上限)がある。本センシングシステムでは、路面上の水膜厚が 5mm までの散水量変化を測定可能であることを確認した。

(3) ポーラスアスファルト舗装

図-10 に、ポーラスアスファルト舗装における散水量 1L での反射係数の測定結果を示す。

散水直後の反射係数変化は平均 3dB であり、密粒度アスファルト舗装と同等である。一方、散水後に、反射係数が乾燥路面へ漸近する応答が遅く、散水後 300 秒経過した時点で反射係数は 1dB 増加した状態である。密粒度アスファルト舗装が散水後 120 秒で乾燥路面と同等程度に漸近する点と比較して、ポーラスアスファルト舗装では反射係数の緩慢な応答性が顕著である。

測定時の舗装路面の観察において、散水直後に舗装表面に水膜が形成され、舗装内へ透水した後、散水の一部が舗装内部(表面下1cm~2cm)で1時間以上滞水することを確認した。また、散水の翌日、同箇所が乾燥状態において反射係数を再測定した結果、前日測定の乾燥路面と同等であることを確認した。よって、反射係数の時間応答緩慢の原因は、本システムが舗装内部の滞水を検出していることであると考えられる。

本結果から、路面表面に水膜が形成される状態と、舗装内部に滞水する状態には反射係数 2dB の変化があり、完全に乾燥した状態でなくとも路面状態を識別可能である。

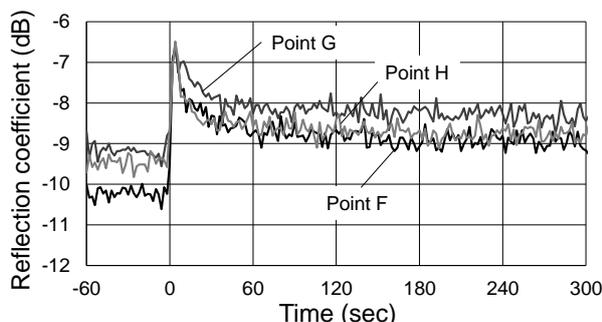


図-10 散水量 1L のポーラスアスファルトにおける反射係数の測定結果

(4) 本システムによる路面状態識別可否

表-1 に、乾燥、湿潤における舗装路面の反射係数の評価結果をまとめる。乾燥路面の反射係数は図-7 の再掲、湿潤路面の反射係数は図-8、図-9、図-10 における最大値(舗装表面に水膜のある状態)、反射係数変化はそれらの差分である。

これらの結果から、乾燥路面の反射係数は舗装種別による影響が小さく、散水量が等しい場合、散水に伴う反射係数変化もほぼ同等である。よって、本システムは、密粒度アスファルト舗装、ポーラスアスファルト舗装において、乾燥状態と舗装表面に水膜がある状態を識別可能である。

5. 結言

近傍媒質応答を応用した路面状態センシングシステムを試作開発し、密粒度アスファルト舗装、ポーラスアスファルト舗装において、乾燥路面と湿潤路面の識別可否を評価した。その結果、舗装種別に影響なく、乾燥路面と路面表面に水膜が形成される状態とを識別可能であることを確認した。以上の結果から、車載型路面状態センサの実現見通しを得られた。

参考文献

- 1) 内閣府：未来投資戦略 2017, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2017_t.pdf>, (入手 2017.6.9).
- 2) 国土交通省：自動車の先進安全技術の現状, <<http://www.mlit.go.jp/common/001169943.pdf>>, (入手 2017.1.25).
- 3) Kawai, S., et al.: A method to distinguish road surface conditions for car-mounted camera images at night-time, 12th International conference on ITS telecommunications, pp. 668-672, 2012.
- 4) Optical Sensors: Road Eye, <<http://www.opticalsensors.se/roadeye.html>>, (accessed 2019.07.11).
- 5) ブリヂストン：ニュースリリース, <<https://www.bridgestone.co.jp/corporate/news/2015112502.html>>, (入手 2015.11.25).
- 6) Porsche: High driving stability even in the rain, Porsche Newsroom, <<https://newsroom.porsche.com/en.html>>, (accessed 2019.1.21).
- 7) 池田一樹, 永島 和治, 幕内 雅巳：アンテナの近傍媒質応答を応用した路面状態センシング, 土木情報学シンポジウム講演集, vol. 43, pp.81-84, 2018.

表-1 舗装路面の反射係数の評価結果

舗装種別	密粒度アスファルト					ポーラスアスファルト		
	A	B	C	D	E	F	G	H
測定点								
散水量	1L	1L	1L	0.5L	2L	1L	1L	1L
反射係数 乾燥(dB)	-9.59	-10.15	-11.44	-9.73	-10.11	-10.23	-9.18	-9.49
反射係数 湿潤(dB)	-6.78	-7.21	-7.78	-8.39	-6.27	-6.67	-6.55	-6.48
反射係数変化 (dB)	2.81	2.94	3.65	1.33	3.84	3.56	2.63	3.00