

2 波長通信を用いた路面凍結情報共有のための車車間・車路間通信システムの検討

伊藤 健太^{1,2,a)} 橋本 浩二^{3,b)} 柴田 義孝^{4,c)}

概要：本稿では、筆者らがこれまで取り組んできた路面状態を周辺環境に依らず正確に把握し、多くの車から情報を収集することにより、運転手への様々なレベルでの注意喚起を行うことにより、凍結や積雪にともなう事故や渋滞等の交通問題を抑止するシステムのうち、車車間通信と車路間通信を用いたセンサーデータの共有方法について焦点を当て、従来手法である 2.4GHz 帯の Wi-Fi 通信の弱みである通信距離が短いことと事前に通信相手を把握しておかなければいけないことをカバーするために、長距離通信である 920MHz 帯通信を用い、これらを組み合わせて併用することによって車車間・車路間通信を最適化する方法を検討、提案する。

1. はじめに

筆者らはこれまで、路面の状態を監視し、それをどのような方法で提供するかについて取り組んできた。路面の状態は多種多様であり、また路面の状態は季節や天候、時間帯によって変化する。例えば、冬の路面状態として、ドライや新雪状態、圧雪路、シャーベット、アイスバーン、ミラーアイスバーン、ブラックアイスバーン、轍などが挙げられる。日常的な天候の変化に加え、近年ではゲリラ豪雨やゲリラ豪雪など、突発的な天候の変化も多発している。また、ぬかるみやすい、滑りやすい、水や雪が溜まりやすいなど、路面の状態が天候に左右されやすい地域も存在する。降雪による交通渋滞や路面凍結によるスリップ事故など、路面の状態が直接的に交通事故や交通障害の発生に影響する場合がある。また、路面の状態が間接的に交通事故や交通障害の発生に影響する場合もある。[1] では、道路の線形や路面状態など、道路状況を見誤ったことにより起

こる事故を「見誤り事故」と呼び分析を行っており、道路環境が悪条件であることは事故の発生を高めていると述べている。また、走行中の情報収集の手段として、スマートフォン向けのナビゲーションアプリケーションの拡充や車載型カーナビゲーションの発展により、運転手が走行中であっても様々な情報を得られるようになった。運転中に自身が必要だと思う情報を得ることは重要である。しかし、近年問題になっている「ながら運転」のように、端末の操作や画面に表示されている情報に注意が向きすぎてしまうと、それが交通事故や交通障害の原因になってしまうことも考えられる。上記より、路面の状態が影響する交通事故や交通障害を防ぐために、運転手がこれから運転する道路の状況を事前に、適切な方法で把握することが必要だと考えられる。

近年、モバイルネットワークや Wi-Fi フリースポットなど、インターネットへ接続するための通信インフラの整備が進んでいるが、3G 通信ですら不安定な地域がまだまだ存在する。例えば、岩手県の内陸と沿岸をつなぐ道路はほとんどが中山間地域を通過しており、通信会社各社のモバイルネットワークの提供範囲に含まれているものの、しばしば通信が圏外となってしまう。しかし、[2] に挙げられている、工事関係者が証言した凍結危険箇所のように、中山間地域でこそ道路状況の変化が起りやすいと考えられる。

これらの問題を解消するための先行研究として、筆者らは準静電界センシングによる路面状態推定技術を利用した交通問題対策の研究開発に携わってきた。これは平成 26 年度から 3 年間、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 地域 ICT 振興型研究開発のプロジェクト

¹ 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究所
Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

² 岩手県立大学研究・地域連携本部プロジェクト研究員
Project Researcher, Regional Cooperation Research Center, Iwate Prefectural University

³ 岩手県立大学ソフトウェア情報学部
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

⁴ 岩手県立大学研究・地域連携本部特任教授
Professor, Regional Cooperation Research Center, Iwate Prefectural University

a) g236n001@s.iwate-pu.ac.jp

b) hashi@iwate-pu.ac.jp

c) shibata@iwate-pu.ac.jp

ト (142302010) として行われた。この研究開発の概要を図1に示す。この研究開発では、路面状態を周辺環境に依らず正確に把握し、多くの車から情報を収集することにより、運転手への様々なレベルでの注意喚起を行うことにより、凍結や積雪にともなう事故や渋滞等の交通問題を抑止するシステムを提案している。具体的には、凍結を含む路面をセンシングする準静電界センサ [3] を開発するとともに、そこから得られた情報に基づいて路面状態を推定すること、準静電界センサを含む各種車載センサからの情報を収集し、車車間や車路間で共有するための複数の手段を提供すること、収集した情報を運転手に提示するアプリケーションを提供することに焦点を当て研究開発を行ってきた。一般車両の交通事故防止はもちろん、官公庁の緊急車両（救急車・消防車等）や地域住民の足であるバス・タクシーなどの業務利用への適用も可能とし、地域の安全に貢献することを目標としてきた。

この研究開発の路面状態を推定するために用いられている準静電界技術とは、本質的には静電気であり、電波や光などの反射や回折がある伝搬波とは異なる非伝搬波である。従って、人体や車体、物質といった誘電体周囲に静電気帯電のように分布をする。準静電界の変化は車体の場合、走行中のタイヤと路面間の電気抵抗および静電容量に起因する。この準静電界の変化を捉えることによって、路面状態の推定が期待されている。

筆者らはこれまで、2.4GHz 帯の Wi-Fi 通信を用いた車路間通信実験とその結果を用いた通信の最適化を行ってきた [4]。これまで行ってきた実験から、2.4GHz 帯の Wi-Fi 通信を用いた通信実験では通信できるデータ量はそれなりであるが、通信距離ひいては通信時間は短く、十分なデータ量の通信が可能かどうかは不透明であることが分かってきた。車車間通信や車路間通信においては、2.4GHz や 5GHz の Wi-Fi 通信のみでは通信可能距離が限定されてしまうことから、長距離通信が必要不可欠である。しかしながら、長距離通信を実現する無線通信は、通常低周波帯の通信が利用されるため、十分な帯域幅を確保することが出来ない。

そこで、本研究では、長距離の通信距離の確保と通信データの総量の増大、920MHz 通信を用いた Wi-Fi 接続の時間短縮を目標とし、920MHz 帯通信と 2.4GHz 帯の Wi-Fi 通信を組み合わせ併用する、2 波長通信を用いた路面凍結情報共有のための車車間・車路間通信システムを検討する。本稿では主に 2 波長通信システムの概要の説明や 2 波長通信の手法について提案する。

2. 関連研究

2.1 道路情報提供システム

道路情報提供システムの関連研究として、路面情報を連続的に移動しながら収集し、管理事務所などにその状況を

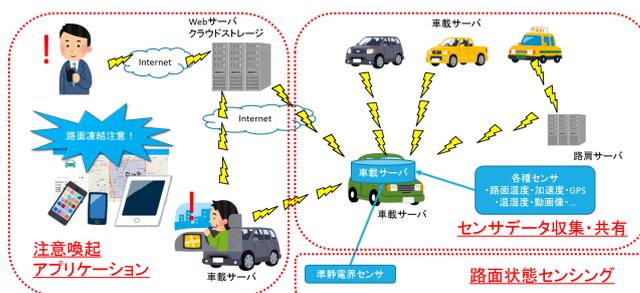


図1 準静電界センシングによる路面状態推定技術を利用した交通問題対策の研究開発概要

電話回線等で提供するシステム [5] や情報交換の基盤としてインターネットを用い、個々の車両からセンサ情報を抽出収集し、それらを処理して利用者に提供するシステム [6]、タクシーにプローブカー的な役割を割り当てて情報収集し、ブラウザ機能を搭載したカーナビゲーションへの情報提供をする路面凍結情報システム [7]、スリップ検知を行う複数の実験車両の検知結果をもとに路面凍結地点をホームページより情報提示するシステム [8]、路面温度の低下に加えて、路面の「濡れ」を判定し、温度と湿度により「結露」を判定することで、路面凍結の危険を正確に検知できる路面状態判定システム [9] などがある。これらの特徴として、車両が移動しながら情報を収集、または路肩に設置したユニットが定点で情報を収集し、インターネット接続を用いて情報を提供するシステムである。しかし、情報を提供する手段としてインターネット接続が必須であり、前述した中山間地域などのインターネット接続がままならない場所に適用することは難しい。よって情報提供する側とされる側が直接通信することが出来る車車間通信や車路間通信が有効であると考えられる。

2.2 車車間・車路間通信

車車間通信、車路間通信の関連研究として、同方向に走行する4台の車両間において、位置情報と先頭車両からの画像を共有するために通信を行い、高速道路上の複数の条件下でデータ受信失敗確率を測定した研究 [10] や信号の無い交差点における車両の出会い頭衝突を防止するため、対向での車車間通信を利用した車両出会い頭衝突防止警報装置の開発 [11]、市街地走行時の車間距離と通信速度の関連の考察と Web カメラを用いた評価実験 [12]、市販されている無線 LAN デバイスを用いて一般道で考えられる対向車との通信特性と、測定車両の間に存在する通信の妨げになりうる遮蔽車両の大きさを変化させた場合についての通信特性の報告 [13] などがある。これらの研究では、本研究の先行研究 [14] でも行っていた、通信距離や通信速度、通信状態の善し悪しなどを評価していることが多い。一方、ネットワーク接続に関するやりとりの部分や実際にやりとりされるデータを考慮した実験や評価はあまり行われてお

らず、これらを考慮した実験や評価を行っていく必要があると考える。また、車両に対する無線機器のアンテナ取り付け位置を考慮した通信実験を行っている研究 [15] やトンネル内での通信品質の変化を計測している研究 [16] があり、曲がりくねった道やトンネルが多く存在する中山間地域にシステムを適用する際に考慮すべきだと考える。

3. システムに必要とされる機能

以下にシステムに必要とされる機能を示す。

- 端末同士が無線 LAN AP の情報を共有する機能
- 車車間・車路間通信をするために一方の端末が無線 LAN AP となる機能
- もう一方の端末が無線 LAN AP の情報を設定する機能
- 無線 LAN AP への接続ステータスや通信パラメータを測定する機能
- 測定した内容に基づいてデータ送信が可能かどうか判断する機能
- 測定したステータスやパラメータに基づいてデータ送信の可否やどのくらいのデータ量を送信するか決定する機能
- 決定したデータ量などに基づいてデータを送受信する機能

4. 想定する共有データ

1章で述べた先行研究において検討された、システムで想定するセンサ情報とデータ量の概算を図2に示す。出力される情報と取得しうるセンサ情報について、路面凍結情報に関しては路面の状態によってレベルを振り分け、例えば凍結状態が0、積雪状態が1、湿潤状態が2とし、他のセンサ情報に関しては生のセンサデータを扱うことを想定している。それぞれの情報に付加されるヘッダにはタイムスタンプや位置情報などが格納されている。各々のセンサのデータサイズや取得間隔、センサ情報の組み合わせ例から概算された1秒あたりのデータ総量と、920MHz帯通信とWi-Fiそれぞれの帯域幅を比較したときに、A、B、C、Dそれぞれの組み合わせでは帯域幅の狭い920MHz帯通信を用いてもデータを共有できる可能性があり、E、F、Gそれぞれの組み合わせでは帯域幅の広いWi-Fiを用いた方が良いと推測される。また、例として30分のデータ総量を示しているが、これは共有するデータの範囲を決めた1つの例であり、距離的な範囲でデータの範囲を決めることも検討されている。30分という時間に関しても、現在、路面の状態がどれくらいの時間で変化するか、例えば濡れていた路面が凍結する、またはその逆にどれくらいの時間がかかるか、を調査しており、その値もデータの範囲を決めるために有効なのではないかと考えられる。

出力される情報	センサ情報の組み合わせ例					
● 路面凍結情報	● A. 路面凍結情報					
取得しうるセンサ情報	● B. A+外気温度+路面温度+湿度					
● 外気温度, 路面温度, 湿度	● C. B+加速度+角速度					
● 加速度, 角速度	● D. C+準静電界データ(Low frequency)					
● 準静電界データ (Low frequency, High frequency)	● E. C+準静電界データ(High frequency)					
● 画像	● F. D+画像					
	● G. E+画像					

	データサイズ (Byte)	取得間隔 (秒)	ヘッダ (Byte)	1秒あたりのデータ総量 (Byte)	例:30分のデータ総量 (MB)
路面凍結情報	2	1	100	102	0.175
外気温度+路面温度+湿度	30	1	100	130	0.223
加速度+角速度	60	0.01	100	6100	10.471
準静電界データ(Low)	10	0.001	100	10100	17.338
準静電界データ(High)	10	0.00005	100	200100	343.494
画像	100000	1	100	100100	171.833

	A	B	C	D	E	F	G
1秒あたりのデータ総量(Byte)	102	232	6332	16432	206432	116532	306532
例:30分のデータ総量(MB)	0.175	0.398	10.87	28.207	354.364	200.04	526.197

図2 システムで取り扱うセンサ情報とデータ量の概算



図3 2波長通信システム概要

5. システム概要

5.1 2波長通信システム概要

本稿で提案する2波長通信システムの概要を図3に示す。例として車車間通信における2波長通信システムを示す。この例の場合、情報を持っている車両がWi-Fiのアクセスポイントとなり、それに情報が欲しい車両が接続を行う。通信距離が長い920MHz帯通信を用い、Wi-Fi接続に必要なSSIDやパスワード、データ通信に必要な双方のIPアドレスやポート番号などの情報を接近する前に事前に共有する。920MHz帯通信によってWi-Fi接続に必要な情報やデータ通信に必要な情報を事前に共有した車両同士が接近したときに帯域の広いWi-Fiを用い、センサデータや画像など実際のデータを共有する。

5.2 システムアーキテクチャ

本研究で構築するシステムのモジュール構成を図4に示す。AP Information Sharingモジュールは端末同士が無線LAN APの情報を共有する機能を実現する。このモジュールでは920MHz帯通信を用いてWi-Fi通信に必要なSSIDやKey、サーバのIPアドレス、サーバから割り当てられるIPアドレスなどの情報を共有する。AP Enableモジュールは車車間・車路間通信をするために一方の端末が無線LAN APとなる機能を実現する。このモジュールでは上記のWi-Fi通信に必要な情報を共有したあと、hostapdを用いてアクセスポイントを起動する。AP Information Setting

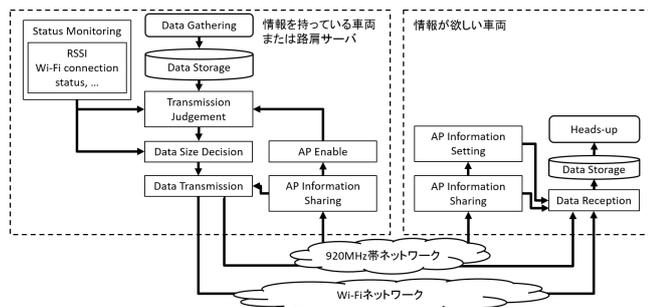


図 4 モジュール構成

モジュールはもう一方の端末が無線 LAN AP の情報を設定する機能を実現する。このモジュールでは上記の共有した Wi-Fi 通信に必要な情報を端末に設定する。Wi-Fi 接続には wpa_supplicant を用いるため、wpa_supplicant の設定ファイルに SSID と Key を設定し、ネットワーク設定ファイルにサーバから割り当てられる IP アドレスなどの情報を設定する。Status Monitoring モジュールは無線 LAN AP への接続ステータスや通信パラメータを測定する機能を実現する。このモジュールでは Wi-Fi 通信の電界強度や接続の状態などを測定、監視する。Transmission Judgement モジュールは測定した内容に基づいてデータ送信が可能かどうか判断する機能を実現する。Data Size Decision モジュールは測定したステータスやパラメータに基づいてデータ送信の可否やどのくらいのデータ量を送信するか決定する機能を実現する。Data Transmission モジュールと Data Reception モジュールは決定したデータ量などに基づいてデータを送受信する機能を実現する。

5.3 2 波長通信フロー

本稿で提案する 2 波長通信システムの通信フローを図 5 に示す。この章では、情報が必要な車両をクライアント、情報を持っている車両または路肩サーバをサーバとして説明する。図 3 中の点線部が 920MHz 帯通信の範囲内で行われ、破線部が Wi-Fi の通信範囲内で行われる。サーバは特定の文字列をブロードキャストすることにより自身の存在を示す。クライアントは Wi-Fi をオフにし、サーバからブロードキャストされる文字列を待ち受ける。クライアントが 920MHz 帯通信の範囲に侵入すると、サーバからブロードキャストされる文字列を受信する。920MHz 帯通信における受信データフォーマット内には端末に割り振られているアドレスが含まれており、クライアントはそのアドレスを送信相手とし、自身の端末アドレスを通知する。サーバがその情報を受信したら、その端末アドレスに向けて、Wi-Fi 接続に必要な情報を送信する。サーバが一通りの Wi-Fi 接続情報を送信し終わったら、クライアントに情報送信の終了を通知し、Wi-Fi アクセスポイントを起動する。クライアントは受信した Wi-Fi 接続情報に基づいてネットワーク設定を行い、Wi-Fi をオンにする。クライ

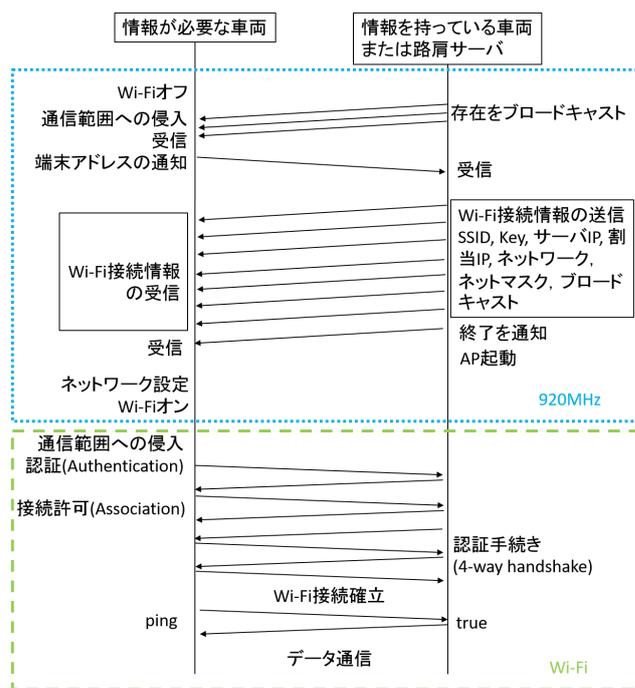


図 5 2 波長通信システム通信フロー

アントが Wi-Fi の通信範囲に侵入したら、Wi-Fi 接続の手順を踏み、接続を確立する。その後、ping を用いて導通確認を行い、データ送信を行う。

従来はクライアントに事前にアクセスポイントの情報を設定しており、IP アドレスの付与を DHCP で行っていた。その方法では Wi-Fi が接続されてからさらに IP アドレス付与の手順が入り、クライアントの Wi-Fi がオンになってから ping による導通確認が完了するまで 20 秒前後かかることが分かっている。提案手法では Wi-Fi の接続範囲に侵入する前にやり取りできる情報を 920MHz 帯通信によって共有、設定しており、クライアントの Wi-Fi がオンになってから ping による導通確認が完了するまでの時間を 8 秒前後に短縮することが出来た。

6. 2 波長通信プロトタイプシステム

2 波長通信プロトタイプシステムのシステム構成図を図 6 に、実際の構成機器を図 7 にそれぞれ示す。現在、2 波長通信のプロトタイプとして、2.4GHz の Wi-Fi 通信にはバッファロー社の WI-U2-300D [17] を、920MHz 帯通信には大井電気株式会社の OiNET-923 [18] をそれぞれ用いる。バッファロー社の WI-U2-300D は市販されているデバイスであり、本プロトタイプの設定における定格帯域幅は 54Mbps である。過去の実験より、時速 40 キロメートルから時速 50 キロメートルでの走行時の Wi-Fi が接続されている距離は 400 メートルから 500 メートル程度であり、通信可能な距離は 100 メートル前後もしくはそれ以下であることが分かっている。一方、大井電気株式会社の OiNET-923 は現在の設定では帯域幅は 5kbps 程度であり、

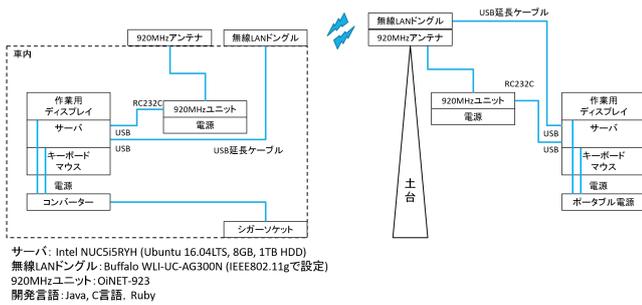


図 6 プロトタイプシステム構成図



図 7 構成機器

過去の実験より、通信距離は 1km 以上となっている。

7. まとめと今後の展開

本稿では、920MHz 帯通信と 2.4GHz 帯の Wi-Fi 通信を組み合わせ併用する、2 波長通信を用いた路面凍結情報共有のための車車間・車路間通信システムの検討、提案を行った。従来の研究で用いていた 2.4GHz 帯の Wi-Fi 通信の広帯域であるが短距離通信である特性と、近年普及、発達してきた 920MHz 帯通信の狭帯域であるが長距離通信である特性、2 つの異なる通信方式の優れている部分を組み合わせ併用することによって、従来の研究では困難だった長距離の通信距離の確保と通信データの総量の増大を目標とする。現在、それぞれの通信方式に関して別々に通信実験が行われているため、同じ環境で 2 波長同時に通信実験を行い、前述したそれぞれの通信方式の特性が実証出来るかどうか確認する。

また、実在するインターネット接続が困難かつ路面状態の変化が起りやすい場所を本研究の応用例として提示することも検討している。図 8 に、第 1 章で示した資料 [2] において、工事関係者が指摘した凍結危険箇所の中から片巣バス停付近の地図を示す。図 8 に示した片巣バス停付近に限らず、この資料に挙げられている危険箇所は、カーブが連続している、日陰になっている、橋梁の付近であるなどの理由で路面凍結が起りやすい、または路面凍結が起った際に事故が起りやすくなっていると考えられる。また、資料に挙げられている地域が含まれている、内陸から沿岸に抜ける県道はそこまで交通量が多いわけではなく、車車間通信だけでは適切に情報を共有することは難しく、路肩に設置したユニットとの車路間通信も重要となってくる。そこで通信実験を重ね得られた結果から、共



図 8 片巣バス停付近の地図 (Google maps より引用)

有すべきデータを一台の車両もしくは路肩ユニットで共有することが出来るのか、何台かの路肩ユニットに分割してデータを共有するのかなど、様々な情報共有の方法を検討し、本研究の応用例として提示すべきだと考える。

また、近年様々な通信方式が規格化され運用されるようになっており、また今後も開発されると考えられる。2 波長だけではなく、さらに多くの通信規格を組み合わせ併用する n 波長通信が実現されることも期待される。

参考文献

- [1] 交通事故総合分析センター：イタルダ・インフォメーション No.67, 交通事故総合分析センター(オンライン), 入手先 (http://www.itarda.or.jp/itardainformation/info67.pdf) (参照 2017-01-28).
- [2] 国土交通省三陸国道事務所：宮古箱石道路通信 No.23, 国土交通省三陸国道事務所(オンライン), 入手先 (http://www.thr.mlit.go.jp/sanriku/03_topics/fukkou/data/miyakohakoishi23.pdf) (参照 2017-04-27).
- [3] 河野賢司ほか：準静電界技術による凍結路面測定に関する研究, 日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集, Vol. 24 (2015).
- [4] Ito, K., Hirakawa, G., Arai, Y. and Shibata, Y.: Road Surface Condition Understanding and Sharing System using Various Sensing Technologies, *International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, Vol. 31, No. 1, pp. 655–658 (2017).
- [5] 大島淳一：冬期路面情報移動収集システムの概要, 日本雪工学会誌, Vol. 16, No. 2, pp. 109–110 (2000).
- [6] 砂原秀樹ほか：IPCar：インターネットを利用した自動車プローブ情報システムの構築, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J85-B, No. 4, pp. 431–437 (2002).
- [7] 村田康之ほか：路面凍結情報システムの機能拡張と 2006 年度実証実験, 情報処理学会全国大会論文集, Vol. 65, No. 3, pp. 197–198 (2007).
- [8] 佐々木正大, 鈴木 理, 浜岡秀勝：プローブデータを用いた車両スリップの検知に基づくスリップ路面情報提供システムの構築, 土木計画学研究・論文集, Vol. 25, No. 4, pp. 909–917 (2008).
- [9] 山崎三知朗：画像処理による路面状態判定システムの開発, 日本雪工学会誌, Vol. 29, No. 2, pp. 136–140 (2013).
- [10] 邱 恒, 村田英一, 吉田 進：2.4GHz 帯無線ルータによる ITS 車車間通信実験, 技術報告 284 (2000).
- [11] 盛田耕作, 室田修男, 依田康宏：車両出会い頭衝突防止警報装置の開発, 自動車技術学会学術講演会前刷集, Vol. 68-03, pp. 15–18 (2003).
- [12] 永井俊明, 水井 潔：IEEE802.11b, 802.11g, Bluetooth を

- 用いた市街地道路における車車間通信実験，技術報告 51 (2004).
- [13] 小山田典人，永長知孝，水井 潔：無線 LAN による車車間通信実験の一検討，技術報告 82 (2006).
- [14] 伊藤健太，平川 剛，柴田義孝：道路注意情報共有システムのための実環境を用いた V2X 通信実験，情報科学技術フォーラム講演論文集，Vol. 15, No. 4, pp. 459-462 (2016).
- [15] 竹内 毅ほか：IEEE802.11g による車車間通信におけるアンテナ取り付け位置に関する一検討，技術報告 104 (2006).
- [16] 小山田典人，水井 潔：無線 LAN によるトンネル内車車間通信実験の一検討，技術報告 161 (2007).
- [17] バ ッ フ ァ ロ ー : エ ア ス テ ー シ ョ ン 11n/a/g/b300/300Mbps USB2.0 用 無線 LAN 子機 : WI-U2-300D | BUFFALO バッファロー，バッファロー (オンライン)，入手先 (<http://buffalo.jp/product/wireless-lan/client/wi-u2-300d/>) (参照 2017-04-07).
- [18] 大井電気株式会社：無線通信機器 | 情報伝送機器開発 | 大井電気株式会社，大井電気株式会社 (オンライン)，入手先 (<https://www.ooi.co.jp/product/radio.html>) (参照 2017-05-26).