

2017 年度博士後期課程（ソフトウェア情報学）論文

路面状況情報共有のための n 波長協調による

車車間・車路間通信システムに関する研究

A Research on Vehicle-to-Vehicle and Vehicle-to-Roadside
Communication Systems by n Wavelength Cooperation for
Sharing Road Surface Condition Information

岩手県立大学大学院
ソフトウェア情報学研究科

2362015001

伊藤健太

研究指導教員

主指導 橋本浩二 教授

副指導 ゴウタムチャクラボルティ 教授

副指導 ベッドバハドゥールビスタ 准教授

要旨

路面状況や天候変化が影響する危険な道路環境による事故や通行止め、渋滞など交通障害の発生が問題となっている。また、道路環境を予測し間違えたことによる交通事故の発生も問題となっている。一方で通信環境によって情報共有が困難となる。インターネット接続が可能な場所が多いが、インターネット接続が不安定な地域はまだ存在する。中山間地域は通信接続が不安定な上に路面状況の変化も起こりやすく、突発的な自然災害によって通信環境が劣悪になることもある。近年、車両に搭載されている、または車両と組み合わせられるセンサにより収集可能な情報が増加している。収集可能な情報としてセンサそのものの情報や、道路情報など複数のセンサ情報から生成される情報、渋滞情報、事故情報、工事情報など人から提供される情報などが考えられ、テキストや数値、画像、動画など情報の形式もサイズも多様である。道路情報提供システムの関連研究の課題として、収集した道路情報を提供するためにはインターネット接続が必須であり、インターネット環境がない場合を考慮していないことが挙げられる。中山間地域などではインターネット接続による情報共有が有効ではなく、事前に路面状況を把握するためには代替方法が必要である。先行研究として、路面の状態を先読みし交通事故を防止すること、通行止めや渋滞など交通障害を回避することが目的である研究開発に携わっており、主に車車間・車路間通信について検討した。先行研究では、Wi-Fi 通信のみを用いた車車間・車路間通信の実現を検討したが、通信距離が短いこと、通信接続が不安定であること、センサデータ共有を考慮した実装ではないこと、接続先に接近する前に接続先の情報を把握しておく必要があることなどが課題として挙げられた。車車間・車路間通信において、迅速な通信接続確立と、限られた通信距離、通信時間を最大限に利用できるかが重要であり、先行研究の方法では困難であることが分かった。関連技術として、近距離通信、長距離通信、省電力、大容量など異なる波長ごとに特性がある無線通信技術が発展している。車車間・車路間通信において通信距離、通信時間とデータ共有のための適切な帯域幅を確保することが必要であり、単独の無線通信で実現することは困難である。そこで本研究では複数の無線通信の長所を組み合わせ併用することを検討し、通信環境が劣悪な地域において車載センサ情報を共有する通信システムを実現するため、n 波長協調通信方式を提案し、プロトタイプとして路面状況情報を共有する 2 波長車車間・車路間通信システムの設計、実装、評価を通し、システム設計法の基礎を与えることを目的とする。

Abstract

The occurrence of traffic accidents due to the dangerous road environment which is affected by the road conditions and weather change is a problem. The occurrence of traffic accidents due to failure to predict the road environment is also a problem. On the other hand, it is difficult to share information depending on the communication environment. There are places where Internet connection is possible, but areas where the Internet connection is unstable still exist. In the inter-mountainous area, the communication connection is unstable, and the road surface condition is likely to change. Also, a sudden natural disaster degrades the communication environment. In recent years, information that can be collected by a sensor mounted on a vehicle or combined with a vehicle is increasing. There is various information such as sensor information, road surface information, congestion information, accident information, construction information. As a subject of related works on the road information providing system, it is necessary to connect the Internet in order to provide the collected road information, not considering the case without the Internet environment. In the inter-mountainous area, information sharing by Internet connection is not effective, and an alternative method is necessary to understand road conditions in advance. As a previous research, we were engaged in research and development aimed at prefetching the state of the road surface to prevent and avoid traffic accidents, and mainly studied the vehicle-to-vehicle / vehicle-to-roadside communication. In vehicle-to-vehicle / vehicle-to-roadside communication, it is important to establish rapid communication connection and to make maximum use of limited communication distance / communication time, which is difficult with the method of previous research. As related technologies, wireless communication technologies having various characteristics such as short distance, long distance, power saving, large capacity, are developing. It is necessary to secure an appropriate bandwidth for data sharing, communication distance and communication time in vehicle-to-vehicle / vehicle-to-roadside communication, and it is difficult to actualize by single wireless communication. Therefore, in this research, we consider combining and using the

merits of multiple wireless communications. In this research, to actualize a communication system sharing on-board sensor information in an area with poor communication environment, we proposed a n-wavelength cooperative communication system and a two-wavelength vehicle-to-vehicle / vehicle-to-roadside communication sharing road surface condition information as a prototype. Through system design, implementation and evaluation, we give the foundation of system design method.

目次

第 1 章. はじめに	11
1.1 研究背景	11
1.2 道路情報提供システムの関連研究とその課題	12
1.3 先行研究とその課題	12
1.4 関連技術	13
1.5 研究目的	14
第 2 章. n 波長共調通信方式	16
2.1 概要	16
2.2 車車間・車路間通信の関連研究とその課題	16
2.3 提案内容	17
2.4 まとめ	17
第 3 章. 2 波長車車間・車路間通信システム	20
3.1 概要	20
3.2 本システムで想定する共有情報	20
3.3 システム概要	20
3.4 システム適用モデル	20
3.5 システムアーキテクチャ	23
3.6 情報の事前共有機能	24
3.6.1 本機能を適用していない先行研究の場合の車路間通信接続フロー	24
3.6.2 提案システムの車路間通信接続フロー	25
3.6.3 提案システムの車車間通信接続フロー	26
3.6.4 920MHz 帯通信による端末情報共有フロー	27

3.7	通信接続確立の自動化機能	28
3.7.1	使用 Dongle 選択方法	28
3.7.2	通信接続情報設定フロー	29
3.7.3	接続先情報設定フロー	31
3.8	プロトタイプシステム	32
3.8.1	プロトタイプシステムセットアップ手順	33
3.8.2	プロトタイプシステムファイル構成	41
第 4 章	通信実験	46
4.1	先行研究における実証実験	46
4.1.1	理想的な環境における Wi-Fi 通信の通信距離	46
4.1.2	Wi-Fi 通信による車路間通信時の通信状態変化	47
4.2	本研究における実証実験	51
4.2.1	プロトタイプシステム実験環境	51
4.2.2	通信実験測定開始のタイミング	52
4.2.3	接続確立時間の比較実験	52
4.2.4	Wi-Fi 通信のみによる車路間通信時の通信状態変化	56
4.2.5	車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化	59
4.2.6	車路間通信時の Dongle 位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化	60
4.2.7	2 波長通信の有無による比較	72
4.2.8	2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送	74
4.2.9	2 波長アドホックモードによるデータ転送	79
4.2.10	現在の実験結果に基づいたシステム適用モデルに対する考察	83

4.2.11	考察	84
4.2.12	今後の展開	84
4.3	まとめ	84
第 5 章.	おわりに	85
5.1	まとめ	85
5.2	設計法の基礎.....	85
謝辞	86
参考文献	87
研究実績	91

図目次

図 1 多様なセンサ情報の例	12
図 2 SCOPE プロジェクト概要	13
図 3 無線通信の概要と特徴	14
図 4 主な無線システムのデータレートと通信距離のマッピング	15
図 5 複数の無線通信を単独で使用する場合のイメージ	18
図 6 n 波長協調通信方式のイメージ	19
図 7 2 波長車車間・車路間通信システム概要	21
図 8 凍結危険箇所を示す参考資料	22
図 9 システム適用モデル	22
図 10 車路間通信モジュール構成	24
図 11 車車間通信モジュール構成	24
図 12 先行研究の場合の車路間通信接続フロー	25
図 13 提案システムの車路間通信接続フロー	26
図 14 提案システムの車車間通信接続フロー	27
図 15 920MHz 帯通信による端末情報共有フロー	28
図 16 使用ドングル選択方法	29
図 17 2 波長インフラストラクチャーモードにおける通信接続情報設定フロー	30
図 18 2 波長アドホックモードにおける通信接続情報設定フロー	31
図 19 接続先情報設定フロー	32
図 20 プロトタイプシステム構成	33
図 21 RIT 機材構成	34
図 22 IRV, ITV 機材構成	34
図 23 IRV ファイル構成	44
図 24 RIT ファイル構成	44
図 25 ITV ファイル構成	45
図 26 4.1.1 節における実験環境	46
図 27 距離を変化させた場合のパケットロス率と RTT の比較	47
図 28 時速 40km で走った場合の距離による RTT の変化	47

図 29 4.1.2 節における実験環境	48
図 30 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#1.....	49
図 31 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#2.....	49
図 32 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#3.....	50
図 33 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#4.....	50
図 34 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#5.....	51
図 35 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#6.....	51
図 36 本研究における実験環境#1	52
図 37 Wi-Fi 通信のみの場合の通信実験測定開始のタイミング	53
図 38 2 波長通信の場合の通信実験測定開始のタイミング	54
図 39 Wi-Fi 通信のみの場合の通信接続にかかる時間	55
図 40 2 波長インフラストラクチャーモード時の通信接続にかかる時間	55
図 41 2 波長アドホックモード時の通信接続にかかる時間	56
図 42 WiFi 通信のみの場合の通信状態の変化#1	57
図 43 WiFi 通信のみの場合の通信状態の変化#2	57
図 44 WiFi 通信のみの場合の通信状態の変化#3	58
図 45 WiFi 通信のみの場合の通信状態の変化#4	58
図 46 WiFi 通信のみの場合の通信状態の変化#5	59
図 47 WiFi 通信のみの場合の通信状態の変化#6	59
図 48 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#1	61
図 49 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#2	62
図 50 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#3	63
図 51 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#4	64
図 52 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#5	65
図 53 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#6	66
図 54 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#7	67
図 55 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#8	68
図 56 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#9	69
図 57 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#10	70

図 58 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#11.....	71
図 59 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#12	72
図 60 車路間通信時における 2 波長通信の有無によるデータ通信量の比較	73
図 61 車路間通信時における 2 波長通信の有無によるデータ通信可能距離の比較..	73
図 62 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#1	74
図 63 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#2	75
図 64 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#3	75
図 65 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#4	76
図 66 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#5	76
図 67 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#6	77
図 68 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#7	77
図 69 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#8	78
図 70 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#9	78
図 71 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#10.....	79
図 72 本研究における実験環境#2	80
図 73 2 波長アドホックモードによるデータ転送#1	80
図 74 2 波長アドホックモードによるデータ転送#2	81
図 75 2 波長アドホックモードによるデータ転送#3	81
図 76 2 波長アドホックモードによるデータ転送#4	82
図 77 現在の実験結果に基づいたシステム適用モデルに対する考察	84

表目次

表 1 想定する共有情報	21
表 2 各ファイルの役割	41
表 3 4.2.9 節の実験結果まとめ	82

第1章. はじめに

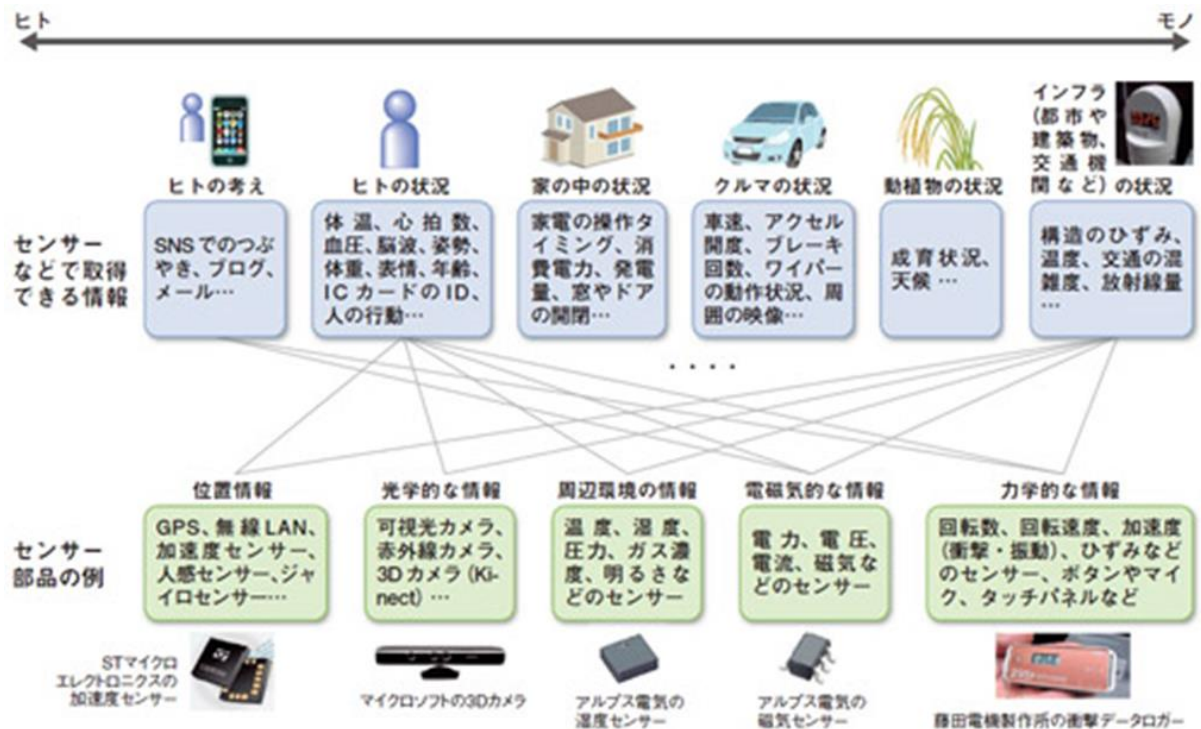
1.1 研究背景

季節や天候に影響される危険な道路環境による事故や通行止め、渋滞など交通障害の発生が問題となっている。路面の状態は多種多様であり、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。ゲリラ豪雨については、気象庁において1時間に50mm以上80mm未満の雨を「非常に激しい雨」、80mm以上の雨を「猛烈な雨」と表現されている。ゲリラ豪雪については、「毎時5cm以上2時間程度の集中降雪」^[1]や、「1時間ごとの降雪量のピークが他の時間帯の降雪量の2から3倍になる」^[2]と定義されている。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。参考文献^[3]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。

通信環境によって情報共有が困難となる場合がある。近年、モバイルネットワークやWi-Fiフリースポットなど、通信インフラの整備が進み、インターネット接続が可能な場所は多い。一方で、インターネット接続が不安定な地域がまだ存在する。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っており、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^{[4][5][6]}ものの、しばしば通信が圏外となってしまう。しかし、中山間地域でこそ、積雪や降雨などによる道路状況の変化が起こりやすい。加えて、突発的な自然災害によって通信環境が劣悪になることもある。

図1に示すように、車両に搭載されている、または車両と組み合わせられるセンサにより収集可能な情報が増加している。情報の種類にはセンサそのものから取得可能な情報に加えて、凍結やスリップなどの道路情報など複数のセンサ情報から生成される情報や渋滞情報、事故情報、工事情報など、人から提供される情報が考えられる。また、テキストや数値、画像、動画など情報の形式やサイズが多様化している。



ITpro Activeより引用^[7]

図 1 多様なセンサ情報の例

1.2 道路情報提供システムの関連研究とその課題

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電話回線等で提供するシステム^[8]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、それら进行处理して利用者に提供するシステム^[9]、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^[10]、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^[11]、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^[12]などがある。関連研究の課題として、収集した道路情報を提供するためにはインターネット接続が必須であり、インターネット環境がない場合を考慮していないことが挙げられる。中山間地域などではインターネット接続による情報共有が有効ではなく、事前に路面状況を把握するためには代替方法が必要である。

1.3 先行研究とその課題

図 2 に先行研究として筆者らが携わったプロジェクトである、総務省戦略的情報通信研

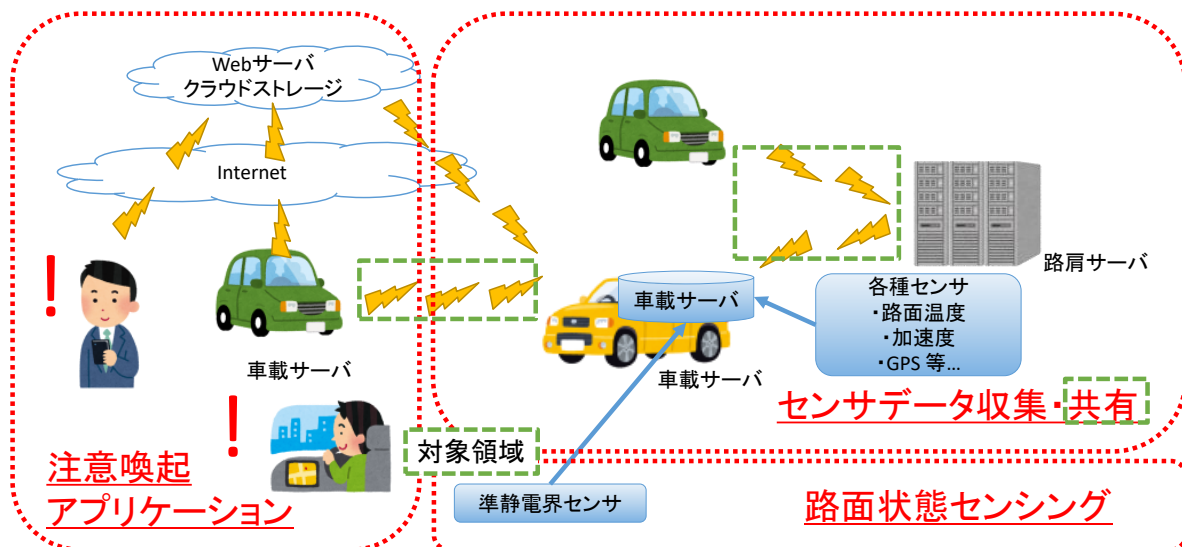


図 2 SCOPE プロジェクト概要

究開発推進事業（SCOPE）地域 ICT 振興型研究開発，「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（142302010）」の概要を示す．このプロジェクトでは，路面の状態を先読みし交通事故や交通障害を回避，防止することを目的とし，路面状態を推定するための準静電界技術^[14]や加速度，湿度，路面温度などのセンサ情報を収集，推定した路面状態を車車間や車路間など様々なものの間で共有，運転手に向けた注意喚起を行うシステムの研究開発を行ってきた．

先行研究では，Wi-Fi 通信のみを用いた車車間・車路間通信の実現を検討した．主に車路間通信実験を行い，車両が停止した状態では安定した通信が可能であったが，走行中は通信距離，通信時間が短いこと，通信接続が確立されるタイミングにばらつきがあり通信接続が不安定であることが課題として挙げられた．加えて，実験では通信の性能評価のみを行っており，センサデータ収集システムと通信システムがリンクしていないこと，SSID やパスワードなど，接続先の情報を把握した前提で実験を行っていたが，実際は接続先に接近する前に接続先の情報を把握しておく必要があることも課題として挙げられた．車車間通信，車路間通信において，迅速な通信接続確立と，限られた通信距離，通信時間を最大限に利用できるかが重要であり，先行研究の方法では困難であることが分かった．

1.4 関連技術

関連技術として，図 3 に示すように，近距離通信や長距離通信，省電力，大容量など，様々な用途に向けて，それぞれに特性を持つ無線通信技術が発展している．車車間通信，車路間通信において，図 4 中の矢印に示すように，通信距離，通信時間とデータ共有のた

めの適切な帯域幅を確保することが必要であり，単独の無線通信で実現することは困難である．そこで本研究では複数の無線通信の長所を組み合わせ併用することを検討した．

1.5 研究目的

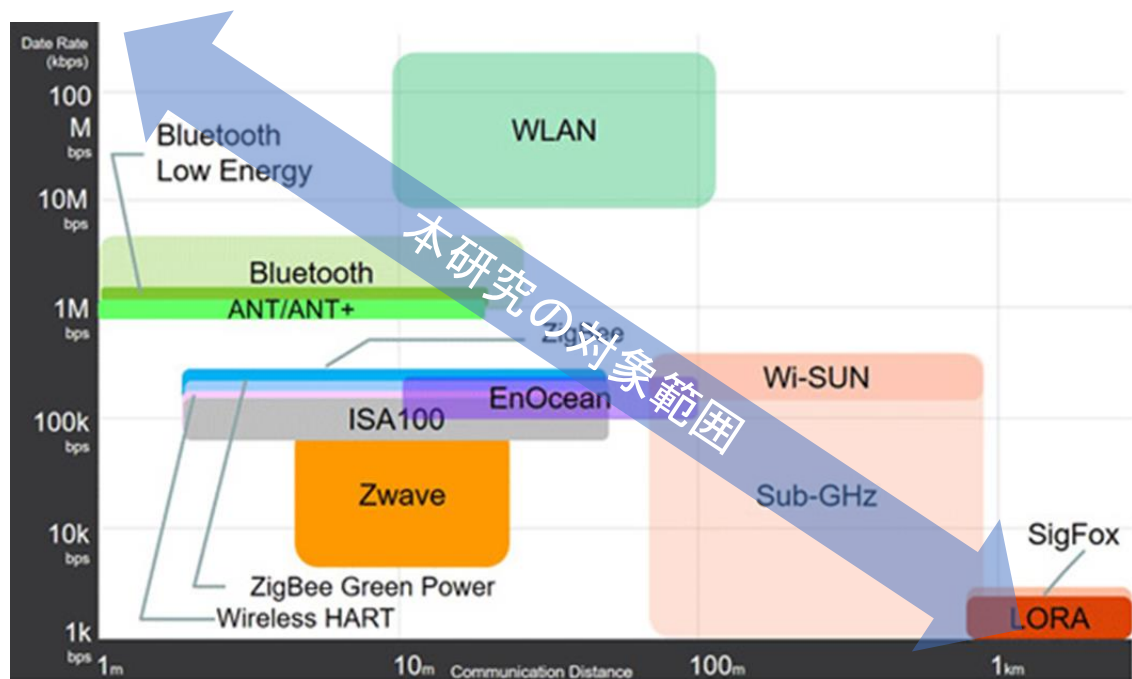
本研究の目的は，通信環境が劣悪な地域において車載センサ情報を共有する通信システムを実現するため， n 波長協調通信方式を提案し，プロトタイプとして路面状況情報を共有する 2 波長車車間・車路間通信システムの設計，実装，評価を通し，システム設計法の基礎を与えることである．

本研究の課題として，複数の無線通信を組み合わせ通信状態に応じて使用する無線通信を選択する通信システムの実現手法，接続先の発見から通信接続確立までの自動化，情報の事前共有による通信接続時間の削減，各無線通信の帯域幅に適した共有情報の選択，実際の地域をモデルとした本研究の適用検討を挙げる．

方式	国際規格	通信プロトコル	周波数 [MHz]	通信速度 [kbps]	通信距離 [m]	消費電流 (送受信時) [mA]	送信電力 [mW]	ネットワークトポロジー	特徴
Wi-Fi	IEEE 802.11	WiFi Alliance	5600 5200 2400	300000 54000 11000	100	300	30	P2P Star	超汎用 唯一のストリーム系
Bluetooth	IEEE 802.15.1	Bluetooth SIG	2400	24000 3000 1000	20	35	2.5 1 100	P2P Star	携帯電話との親和性No.1 音楽伝送可
Bluetooth Low Energy	IEEE 802.15.1	Bluetooth SIG	2400	1000	20	15	1 (10)	P2P Star	BTの低電力版
ANT/ANT+	オリジナル	ANT Alliance	2400	1000	20	15	1	P2P Star	Fitness&Sports用途の規格 北米中心
ZigBee	IEEE 802.15.4	ZigBee Alliance	2400 902-928 868-870	250	50	20	1	P2P,Star Tree,Mesh	センサネットワーク用途 の規格
ZigBee Green Power	IEEE 802.15.4	ZigBee Alliance	2400	250	50	20(?)	1	P2P,Star Tree(?) Mesh(?)	ZigBeeの低電力版 ハブ・スラフ通信向け規格
Sub-GHz	IEEE 802.15.4	規定なし	150-950	100	700	25	20 1	P2P,Star Tree,Mesh	超汎用 各国まちまち 自由度大
Z-wave	オリジナル	Z-wave Alliance	779-956	100 40 9.6	30	30	1	Mesh	家庭内ネットワーク向け 規格
Wireless HART	IEEE 802.15.4	HART Alliance	2400	250	50	20	1	Mesh Start Mesh + Star	産業用に特化した規格
EnOcean	ISO/IEC 14543-3-10	EnOcean Alliance	868 902 928.35	125	100	25	1	Star	ハーベスト通信に特化した規格

ROHM TECH WEBより引用^[15]

図 3 無線通信の概要と特徴



ROHM TECH WEBより引用^[15]

図 4 主な無線システムのデータレートと通信距離のマッピング

第2章. n 波長共調通信方式

本章では複数の無線通信を組み合わせて通信状態に応じて使用する無線通信を選択する通信システムの実現を目的とし，n 波長協調通信方式を提案する．結果として提案方式をもとにした，2 波長協調通信システムへの適応を得られた．

2.1 概要

距離や容量，速度など多様な特性を持つ無線通信技術が発展し，加えて，センサ情報や路面情報，渋滞情報など多様な内容と形式，サイズの情報を車両から取得可能である．本研究における車車間・車路間通信に対する要件はデータ共有に利用可能な通信距離，通信時間，帯域幅を確保することである．単独の無線通信を利用するだけでは上記要件を満たすことは困難であることが課題として挙げられ，本研究の解決法として，複数の無線通信を通信距離について順位付けを行い，上位の無線通信が下位の無線通信の接続情報を共有し，円滑な通信接続を促す機能を実現するための方法を提案する．

2.2 車車間・車路間通信の関連研究とその課題

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^[16]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^[17]，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^[18]，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^[19]，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^[20]，トンネル内での通信品質の変化を計測している研究^[21]，IEEE802.11p と 3G モードの両方で動作可能な通信機器の開発^[22]，VANET のための都市シナリオにおける信頼性の高いシミュレーションを行うための方法論^[23]，IEEE 802.15.4 を使用した V2V 通信に適用可能なソリューションの提供^[24]，5.9GHz 帯通信による LOS(Line-of-Sight)V2V 通信のための改善されたパスロスモデルの提示^[25]，無線 LAN 高速認証の実装及び多重アクセス評価を行っている研究^[26]などがある．関連研究の課題として，実験やシミュレーションが行われているのは都市部や高速道路が多いこと，様々な規格の無線通信を車車間・車路間通信に適応する研究が行われているが，ほとんどが単独の

無線通信を対象としていること、接続確立時間の短縮を目的とした研究が行われているが、車車間・車路間通信を考慮していない点などが挙げられる。複数の無線通信を比較している研究もあるが組み合わせておらず、モバイルネットワークと無線通信を組み合わせる研究も行われているが、モバイルネットワーク以外の無線通信との組み合わせはない。中山間地域など劣悪な通信環境下を考慮し、複数の無線通信を組み合わせることで、車車間・車路間通信に対して関連研究にはない効果を得ることが期待される

2.3 提案内容

図 5 に、複数の無線通信を単独で使用する場合のイメージを示す。車車間・車路間通信において、複数の無線通信を組み合わせず単独で使用すると、それぞれの特性しか活かすことができないため、サイズの異なる複数の情報を共有することは困難である。例えば、図 5 中の無線 1 は通信距離が長いいため走行中であってもサイズの小さい情報であれば共有できるかもしれないが、帯域幅が狭いためサイズの大きい情報を全て共有することは困難である。一方で図 5 中の無線 4 は帯域幅が広いいためサイズの小さい情報は共有できるかもしれないが帯域が余ってしまい効率的ではなく、サイズの大きい情報も共有できるかもしれないが、通信距離が短いために走行中に通信接続が確立しない可能性がある。

そこで図 6 に n 波長協調通信方式のイメージを示す。まず複数の無線通信を通信距離によって順位付けを行う。図 6 中において、最上位の無線通信となる無線 1 を用いて接続先端末の情報と下位の無線通信である無線 2, 3, 4 のそれぞれの接続情報を共有する。各無線通信は図 6 中に示すようにそれぞれの帯域幅に適した情報と、上位の無線通信で共有していた情報を共有する。各無線通信は通信接続や通信断の接続状態によって最適な無線通信を選択する。図 6 中では、はじめに接続されている無線 1 から、下位の無線通信が接続確立された場合、無線 2, 3, 4 と使用する無線通信を切り替える。無線 4 が通信断となった場合、1 つ上位の無線 3 に切り替える。これによって複数の無線通信を単独で使用する場合に比べ、最上位の無線通信の通信距離を保ちつつ、データ総量の増大が見込める。

2.4 まとめ

本章では複数の無線通信を組み合わせる通信状態に応じて使用する無線通信を選択する通信システムの実現を目的とし、 n 波長協調通信方式を提案した。結果として提案方式をもとにした、2 波長協調通信システムへの適応を得られた。2 波長協調通信システムの詳細については次章で説明する。

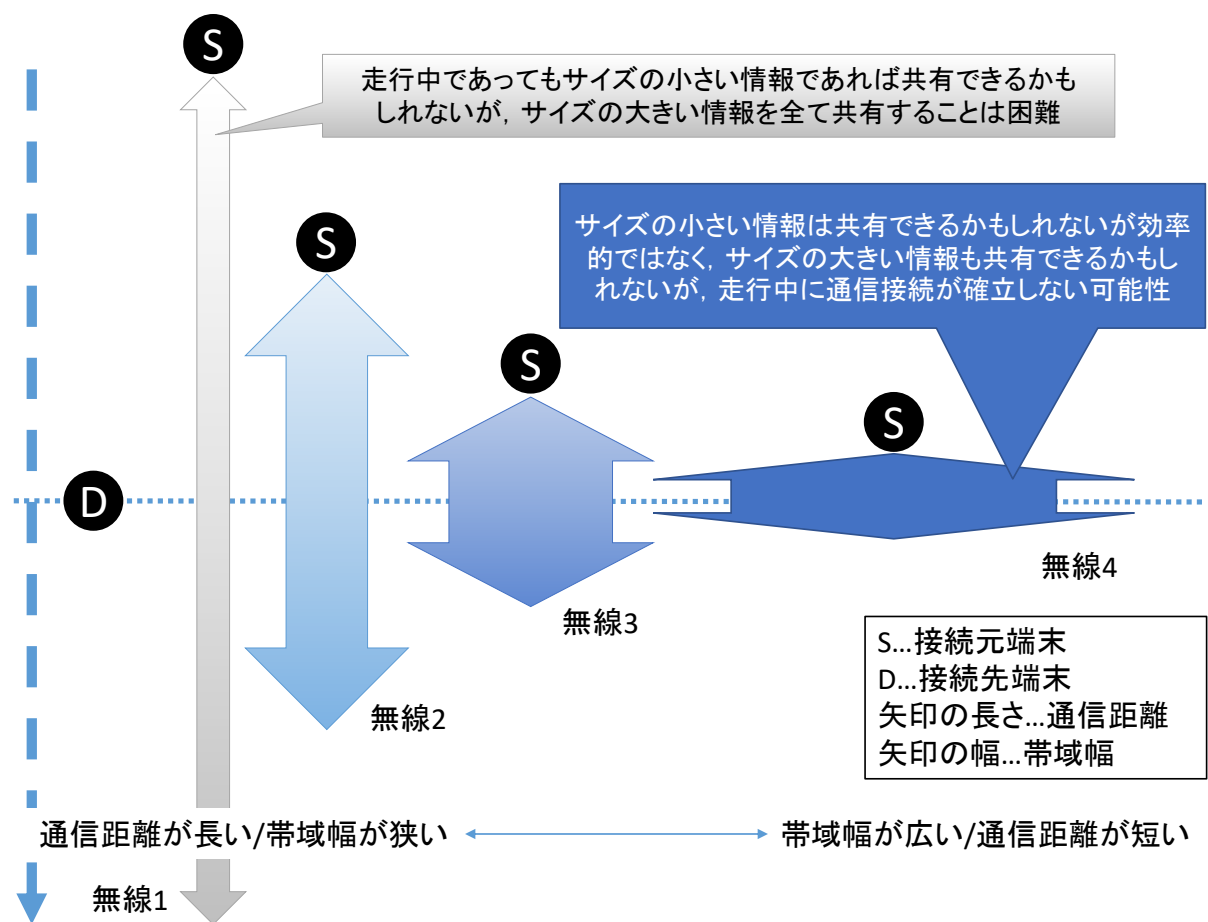


図 5 複数の無線通信を単独で使用する場合のイメージ

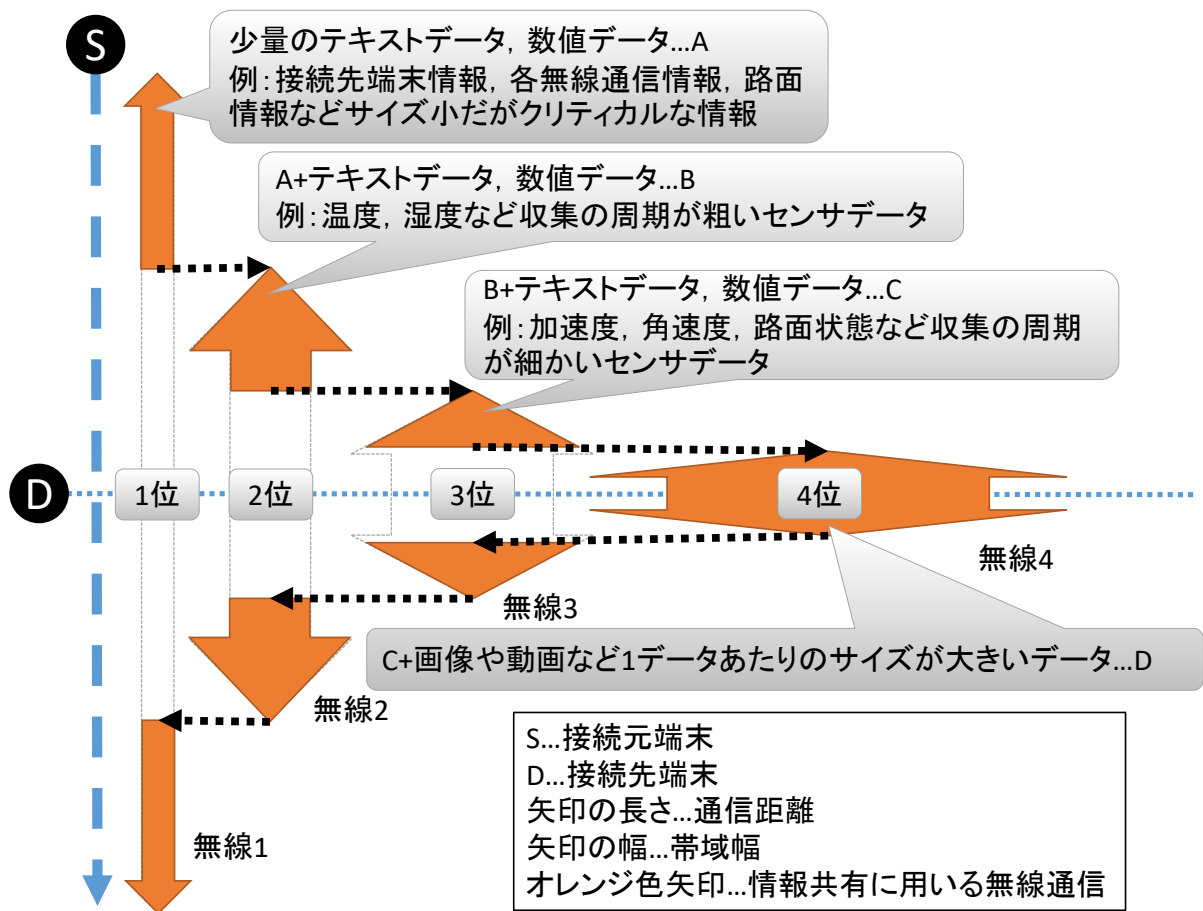


図 6 n 波長協調通信方式のイメージ

第3章. 2 波長車車間・車路間通信システム

本章では、 n 波長協調通信方式を適用したシステムの実現とそれに対する評価を目的とし、920MHz 帯通信と Wi-Fi 通信による 2 波長車車間・車路間通信システムを提案する。機能面では、情報の事前共有機能と通信接続確立の自動化機能を提案する。結果として 2 波長車車間・車路間通信システムのプロトタイプシステムの構築、920MHz 帯通信を用いた情報の事前共有による、Wi-Fi 通信の接続確立の自動化と接続確立時間の削減の実現、システム適用モデルに対する通信実験を通じた評価検討が得られた。

3.1 概要

先行研究では Wi-Fi 通信のみを用いて車車間・車路間通信の実現を検討していたが、通信距離や通信接続の安定性、接続情報の設定等に問題があった。広帯域で通信距離が短い Wi-Fi 通信を活かしつつ前述した問題を解決するシステムの実現を課題として挙げ、本研究の解決法として、狭帯域で通信距離が長い 920MHz 帯通信により接続情報を事前共有する、2 波長車車間・車路間通信システムを提案する。

3.2 本システムで想定する共有情報

本システムで想定する共有情報を表 1 に示す。これらは先行研究で検討していたセンサ情報である。表 1 中からデータ転送実験を行う際のダミーファイルのサイズを決定する。

3.3 システム概要

本システム概要を図 7 に示す。本システムは情報受信車両、情報伝送車両、路肩情報ターミナルから構成される。以降、情報受信車両は IRV(Information Reception Vehicle)、情報伝送車両は ITV(Information Transmission Vehicle)、路肩情報ターミナルは RIT(Roadside Information Terminal)と表記する。各端末間の距離が遠い場合、狭帯域かつ長距離通信の特性を持つ 920Mhz 帯通信を用いて、車車間・車路間通信に必要な情報と軽量なデータの共有を行う。各端末が接近した場合、広帯域かつ短距離通信の特性を持つ Wi-Fi 通信を用いてセンサ情報などのデータの共有を行う。

3.4 システム適用モデル

本研究の適用モデルとして、路面状況の変化が起きやすく、通信が不安定になりやすい、岩手県内の中山間地域の道路を挙げる。図 8 に示す資料は、土砂運搬作業を行っているダンプ運転手の証言を元に作成されており、実際に路面凍結に注意が必要な場所がピックアップされている。

表 1 想定する共有情報

出力情報と取得センサ情報	取得間隔 (秒)	データ (B)	ヘッダ (B)	データ+ヘッダ (B)
a. 路面状況情報	1	2	100	102
b. 外気温度・路面温度・湿度	1	30	100	130
c. 加速度・角速度	0.01	60	100	160
d. 準静電界データ	0.001	10	100	110
情報の組み合わせ例	時間あたりのデータ総量			
	1 秒(B)	10 分(MB)	30 分(MB)	1 時間(MB)
A. 簡易的な a	2	0.001	0.003	0.007
B. a	102	0.058	0.175	0.35
C. B+b	232	0.133	0.398	0.797
D. C+c	16232	9.288	27.864	55.728
E. D;d	126232	72.231	216.692	433.383

A では数値を段階で表した路面状況情報のみ共有する． B ではヘッダ情報を含めた路面状況情報を共有する． ヘッダにはタイムスタンプや位置情報，センサ種別，データの単位などが格納される．

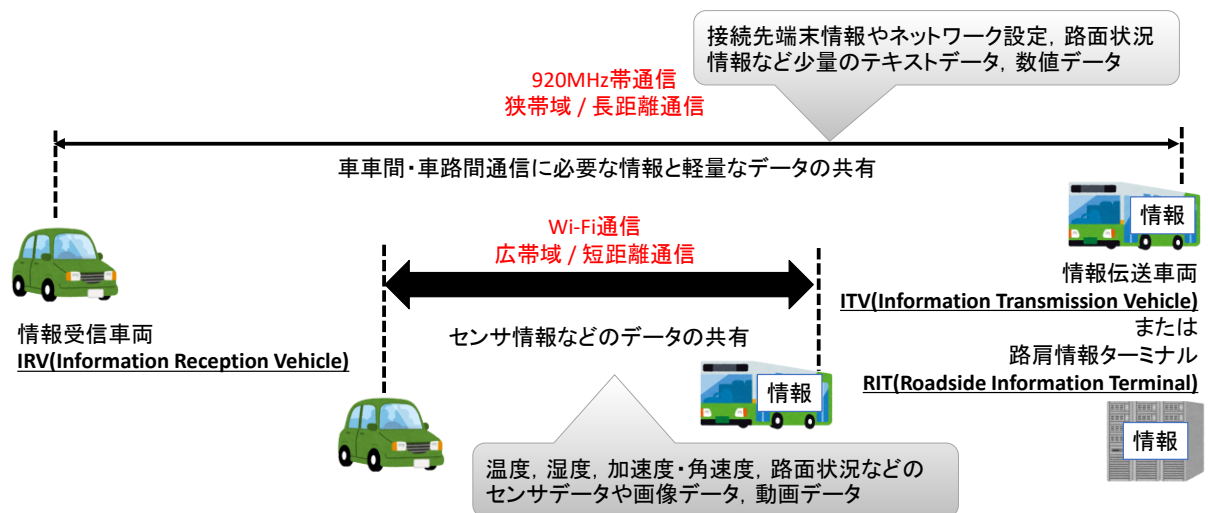


図 7 2 波長車車間・車路間通信システム概要

本システムの適用モデルを図 9 に示す．図 9 中で赤く囲まれている部分は，図 8 の資料中で凍結の危険が報告されている場所であり，その場所を含む範囲を挟むように RIT を盛岡側と宮古側にそれぞれ設置する．オレンジの直線で囲まれている部分は，ITV がセンシングを行う区間と，そのセンシングした情報を提供する区間である．RIT 間の距離は全長

「106号ふゆ道注意箇所」 (宮古～箱石)



図 8 凍結危険箇所を示す参考資料

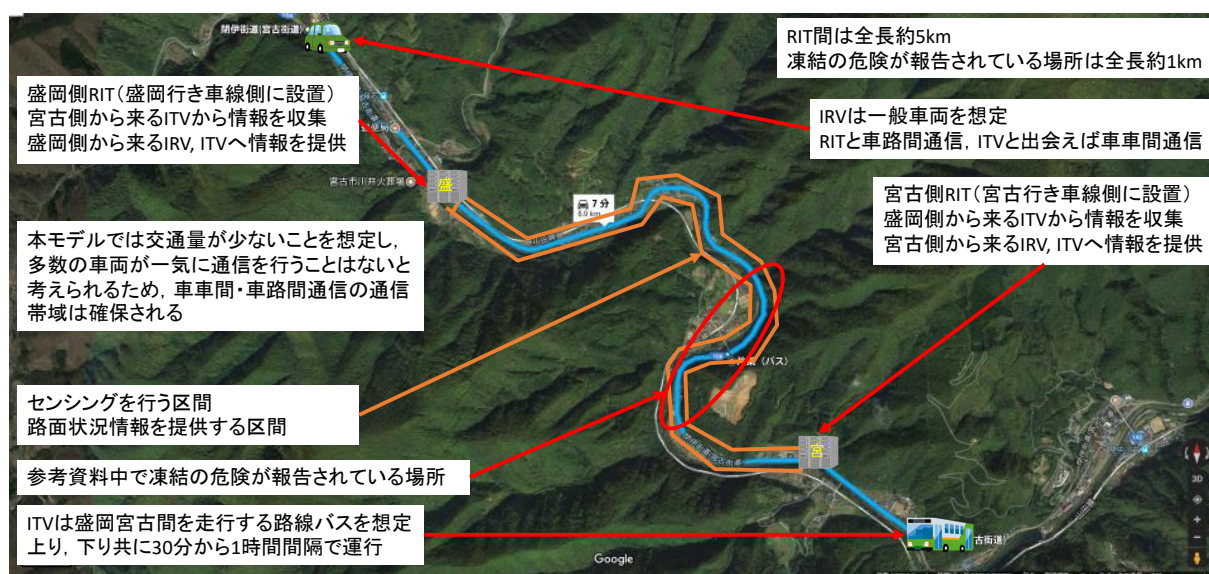


図 9 システム適用モデル

[22]

来る ITV から情報を収集し、宮古側から来る IRV, ITV へ情報を提供する。本モデルでは交通量が少ないことを想定し、多数の車両が一気に通信を行うことはないと考えられるため、車車間・車路間通信の通信帯域は確保される。

3.5 システムアーキテクチャ

本研究で構築するプロトタイプシステムのモジュール構成を、車路間通信に関しては図 10 に、車車間通信に関しては図 11 にそれぞれ示す。それぞれの図中に赤字赤枠で示されているモジュールに関して特に検討を行った。車路間通信では接続台数を考慮してインフラストラクチャーモードを採用し、920MHz 帯通信と合わせて 2 波長インフラストラクチャーモードと命名する。車車間通信では接続確立の時間を考慮してアドホックモードを採用し、920MHz 帯通信と合わせて 2 波長アドホックモードと命名する。AP Enable モジュールは RIT に実装され、IRV が RIT に接続するための無線 LAN アクセスポイントを起動する。920MHz Band Communication Establishment モジュールは全ての端末に実装され、各端末が 920MHz 帯通信を行うための情報共有を行う。AP Information Sharing モジュールは RIT と IRV に実装され、920MHz 帯通信を用いて、車路間通信を行う際に必要な無線 LAN アクセスポイントに接続するための情報を共有する。AP Information Setting モジュールは IRV に実装され、920MHz 帯通信を用いて受け取った無線 LAN アクセスポイントに関する情報を端末に設定する。Ad-hoc Information Sharing モジュールは ITV と IRV に実装され、920MHz 帯通信を用いて、車車間通信を行う際に必要なアドホック接続するための情報を共有する。Ad-hoc Information Setting モジュールは IRV に実装され、920MHz 帯通信を用いて受け取ったアドホック接続に関する情報をサーバに設定する。Wi-Fi Communication Establishment モジュールは RIT と IRV に実装され、情報が書き込まれた設定ファイルに基づいて Wi-Fi 接続を試み、導通確認までを行う。Ad-hoc Communication Establishment モジュールは ITV と IRV に実装され、情報が書き込まれた設定ファイルに基づいてアドホック接続を試み、導通確認までを行う。Status Monitoring モジュールは全ての端末に実装され、Wi-Fi もしくはアドホック通信の状態を監視する。Transmission Judgement モジュールは ITV と IRV に実装され、監視している通信状態に基づいてデータを送信するかどうか判断する。Data Sharing モジュールは全ての端末に実装され、920MHz 帯通信や Wi-Fi, アドホック通信を用いて様々なデータを共有する。

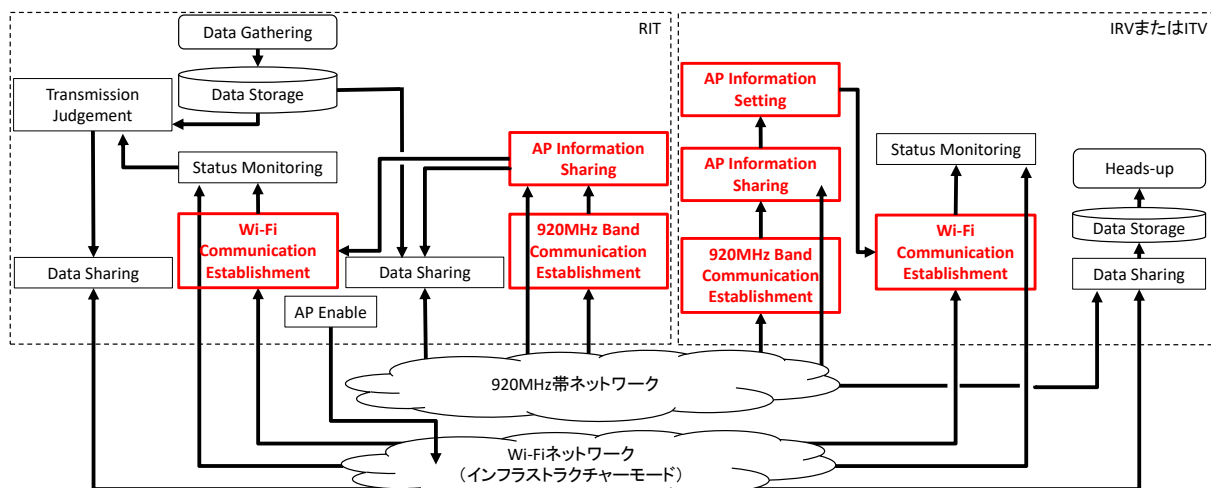


図 10 車路間通信モジュール構成

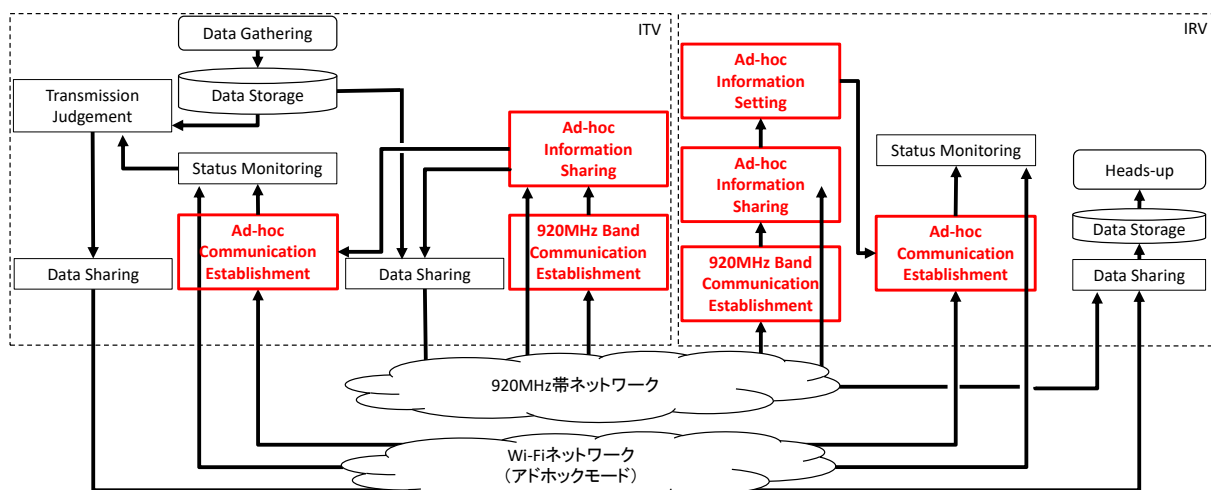


図 11 車車間通信モジュール構成

3.6 情報の事前共有機能

3.6.1 本機能を適用していない先行研究の場合の車路間通信接続フロー

図 12 に情報の事前共有機能を適用していない先行研究の場合の車路間通信接続フローを示す．認証手順に関しては参考文献^[28]を参照した．IRV または ITV は予め SSID，パスワード，サーバ IP アドレスの情報を把握している．これらの情報は最低限把握しておかなければ Wi-Fi 接続や通信を行うことができない．RIT はアクセスポイントを起動しておく．IRV または ITV は RIT に接近して通信範囲へ侵入するが，前述した情報のみを把握しているため，接続先端末のより詳細な情報を事前に把握しておかなければどんな端末と通信しようとしているか把握できず接続先端末に適応した設定を行うことができない．通信範囲へ侵入した後，認証手順を通して Wi-Fi 接続が確立される．その後，前述した情報を設定していたとしても，DHCPDISCOVER から DHCPACK の手順で IP アドレスが付

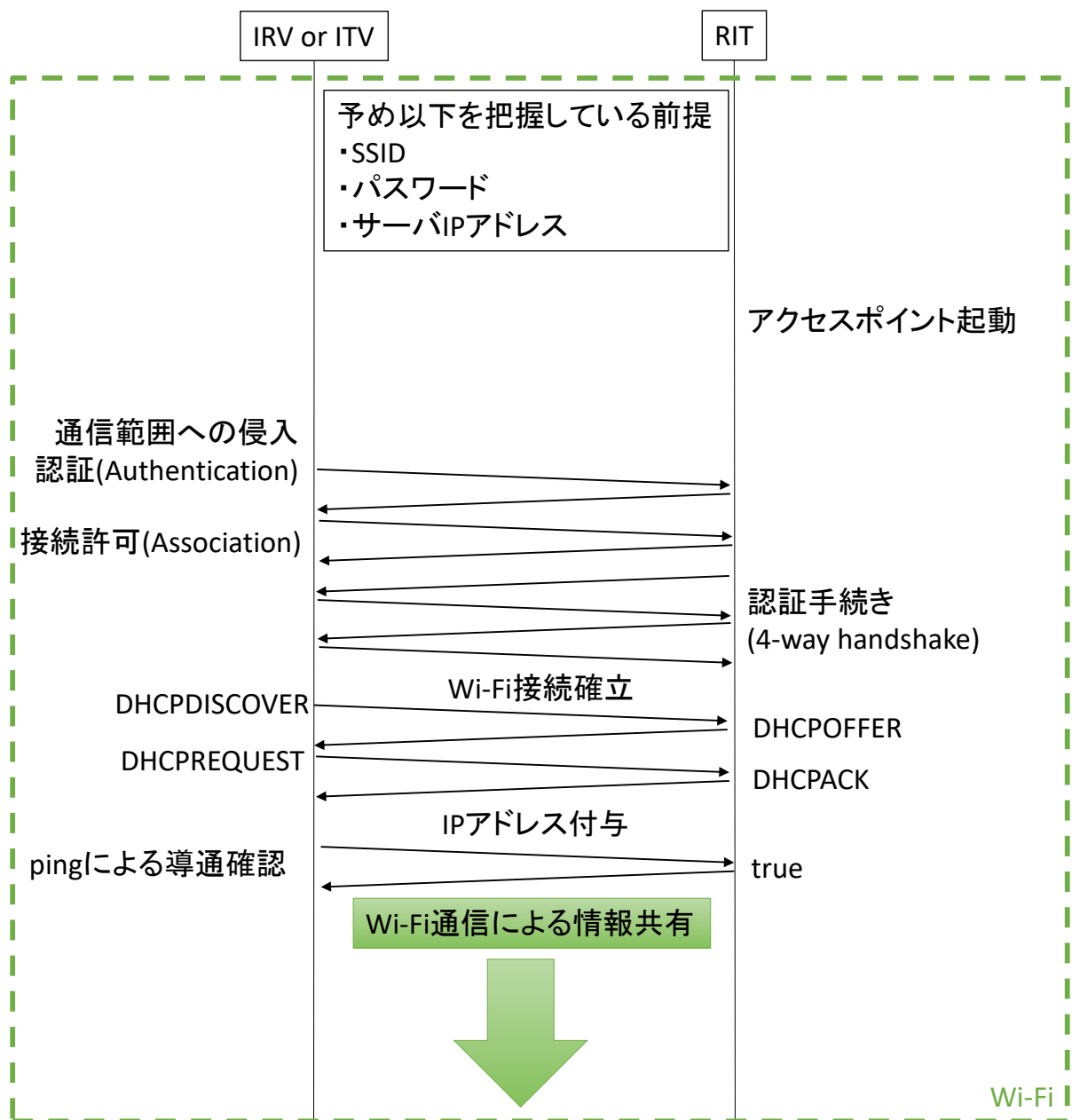


図 12 先行研究の場合の車路間通信接続フロー

与されるため，この手順にも時間がかかってしまう．

3.6.2 提案システムの車路間通信接続フロー

図 13 に提案システムの車路間通信接続フローを示す．IRV または ITV は Wi-Fi をオフにし，RIT はアクセスポイントを起動しておく．RIT は 920MHz 帯通信を用いて自身の端末情報をブロードキャストする．IRV または ITV は 920MHz 帯通信の範囲に侵入するとこのブロードキャストを受信し，相互に通信できるよう自身の端末アドレスを RIT に通知する．RIT はこの通知を受け取ると，Wi-Fi 接続情報を送信する．IRV または ITV はその

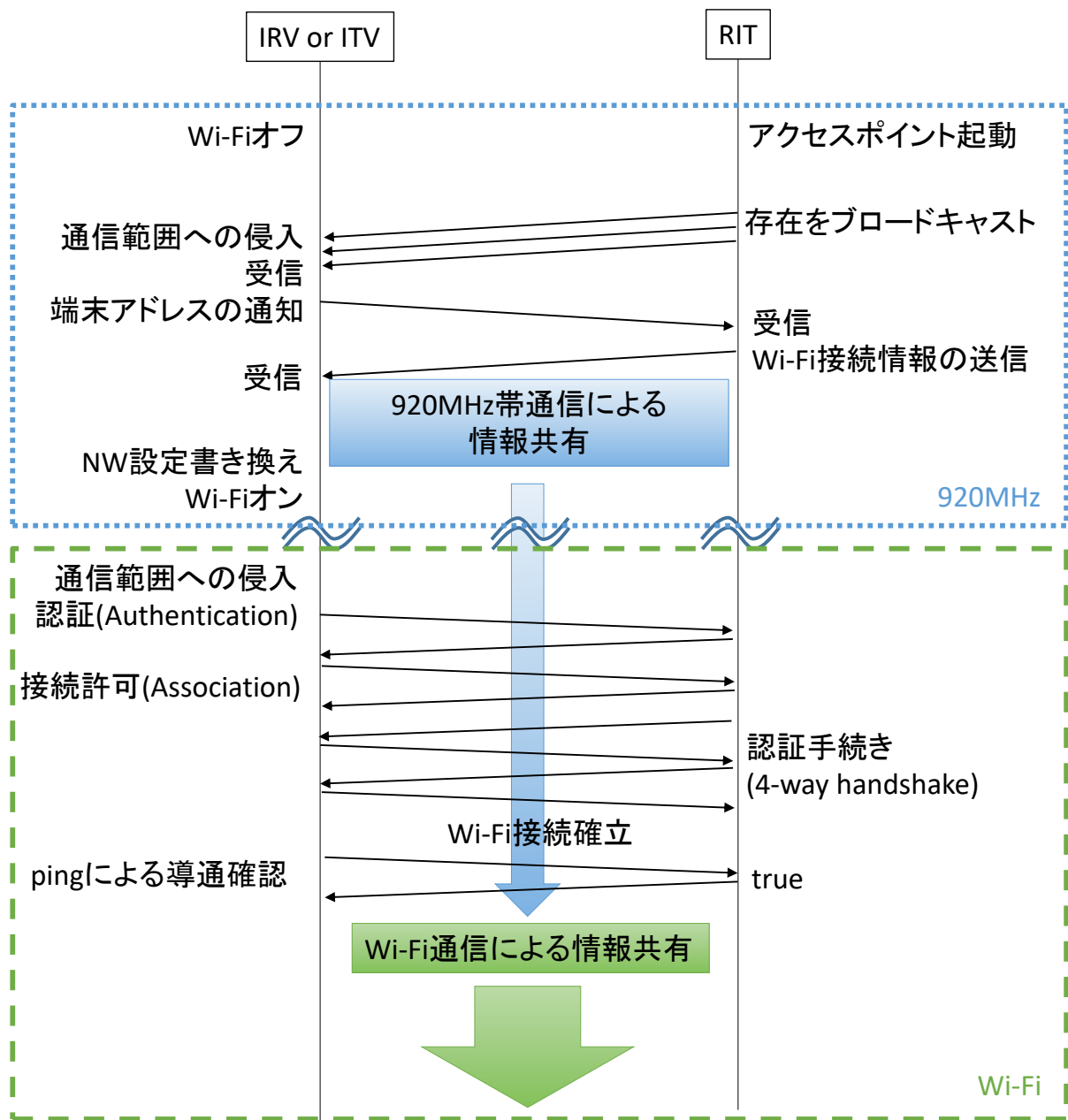


図 13 提案システムの車路間通信接続フロー

情報を受信すると、これを用いてネットワーク設定を更新し、Wi-Fi をオンにする。IRV または ITV が Wi-Fi 通信の範囲に侵入すると、認証手順を通して Wi-Fi 接続が確立される。先行研究の場合であればこの後 IP アドレス付与の手順が発生するが、920MHz 帯通信を用いて事前に Wi-Fi 接続情報を共有しているため、その手順は省略される。

3.6.3 提案システムの車車間通信接続フロー

図 14 に提案システムの車車間通信接続フローを示す。IRV または ITV は Wi-Fi をオフにし、RIT は Wi-Fi をネットワーク設定に基づいてアドホックモードで起動しておく。RIT

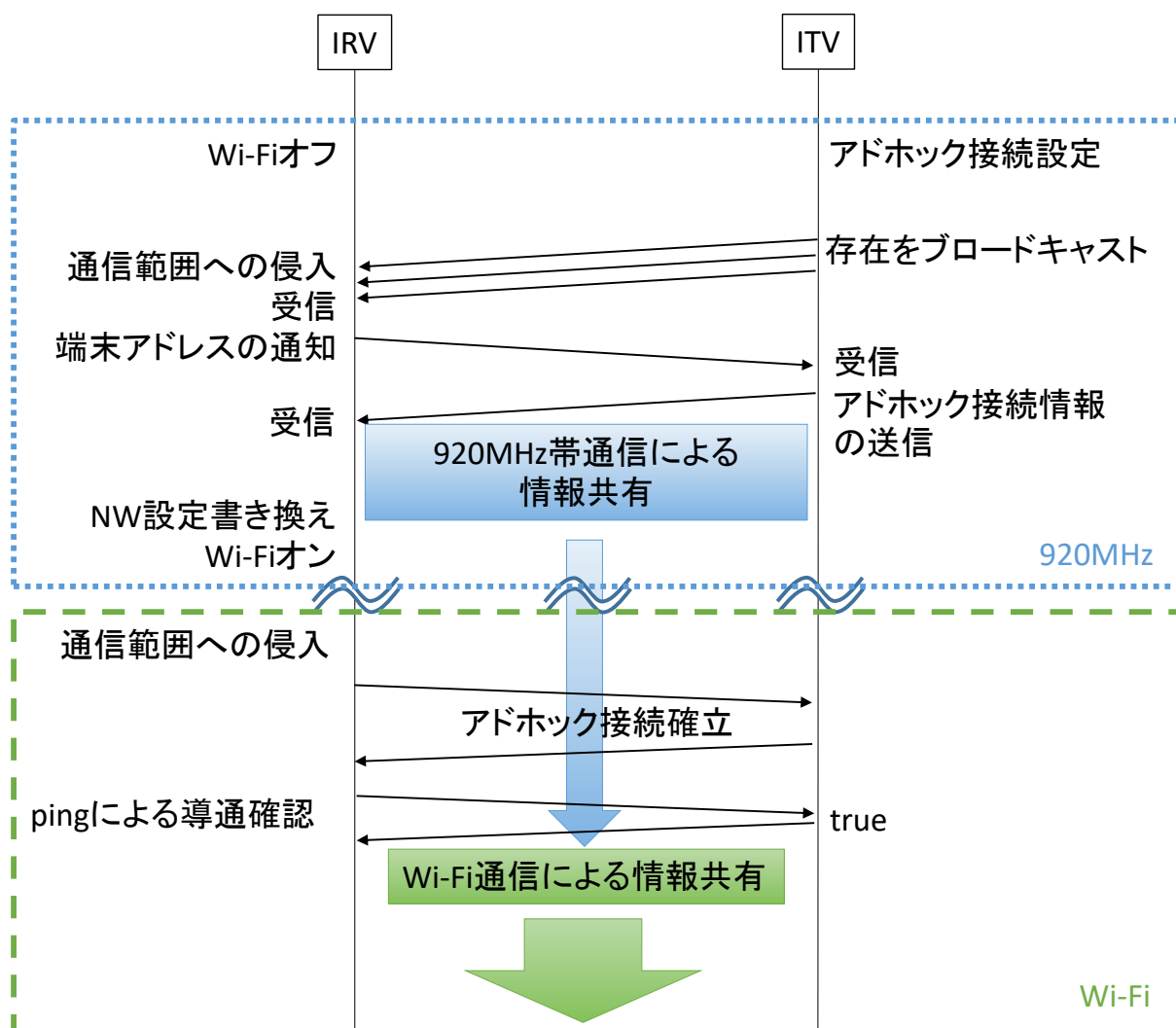


図 14 提案システムの車車間通信接続フロー

は 920MHz 帯通信を用いて自身の端末情報をブロードキャストする．IRV または ITV は 920MHz 帯通信の範囲に侵入するとこのブロードキャストを受信し，相互に通信できるよう自身の端末アドレスを RIT に通知する．RIT はこの通知を受け取ると，アドホック接続情報を送信する．IRV または ITV はその情報を受信すると，これを用いてネットワーク設定を更新し，Wi-Fi をオンにする．IRV または ITV が Wi-Fi 通信の範囲に侵入すると，認証手順を通してアドホック接続が確立される．920MHz 帯通信を用いて事前に Wi-Fi 接続情報を共有しているため，スムーズなアドホック接続確立が可能となっている．

3.6.4 920MHz 帯通信による端末情報共有フロー

図 15 に 920MHz 帯通信による端末情報共有フローを示す．本プロトタイプで使用する 920MHz 帯通信ユニットで扱うデータフォーマットは，送信時は左から送信コマンド，チャンネル，変調方式，ACK 要求，宛先アドレス，送信データ，となっており，受信時は左

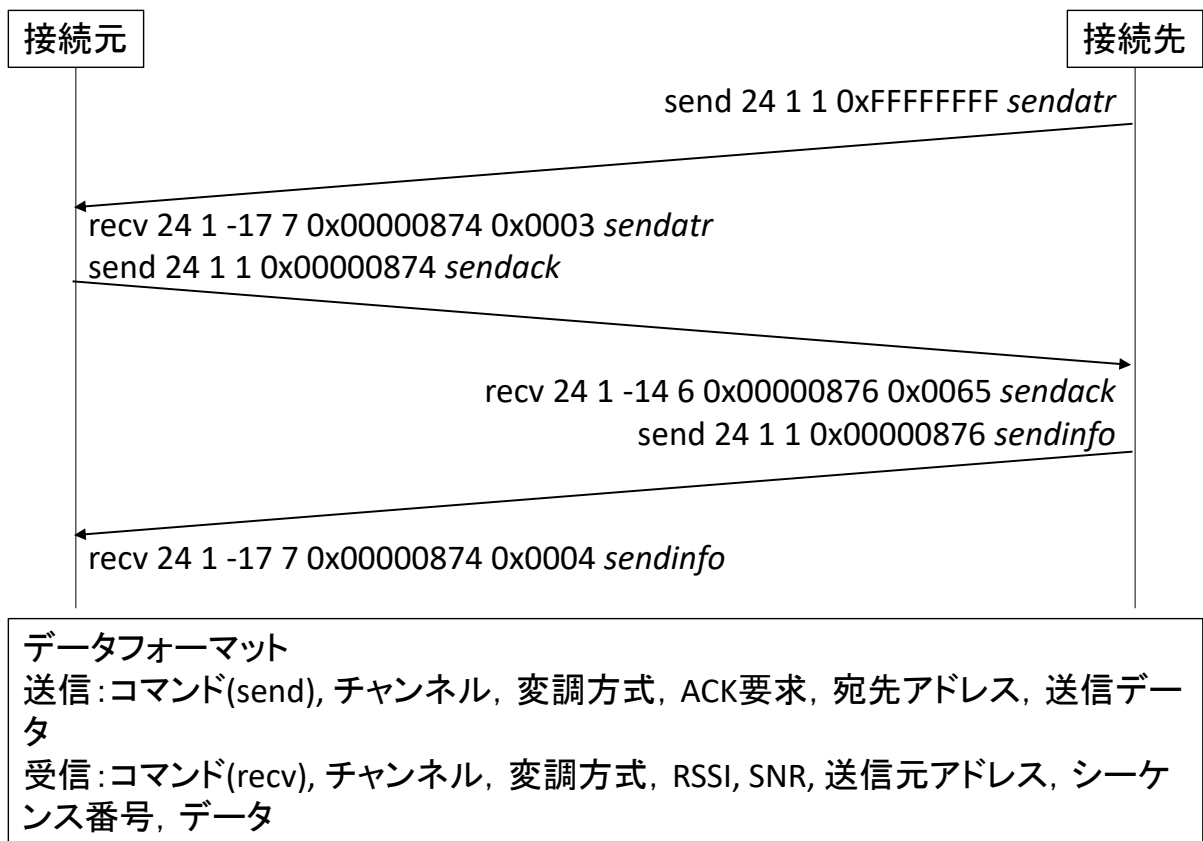


図 15 920MHz 帯通信による端末情報共有フロー

から受信コマンド, チャンネル, 変調方式, RSSI, SNR, 送信元アドレス, シーケンス番号, データ, となっている. 接続先は接続元へ *sendatr* を送信する. *sendatr* には接続先の状態が含まれており接続元が接続先の設置場所や走行車線などの状態を把握するために用いる. *sendatr* を受信した接続元は接続先へ *sendack* を送信する. *sendack* には接続元が *sendatr* を正しく受信できたかどうかの応答を含む. *sendack* を受信した接続先は接続元へ *sendinfo* を送信する. *sendinfo* には共有する接続先情報が含まれている. 接続元が接続先の状態を把握することによって, 事前にインフラストラクチャーモードかアドホックモード, どちらかの通信モードに基づいたネットワーク設定が可能となっている.

3.7 通信接続確立の自動化機能

3.7.1 使用ドングル選択方法

図 16 に使用ドングル選択方法を示す. RIT は盛岡側か宮古側, どちらに設置されているか 920MHz 帯通信を用いてブロードキャストする. 車両は RIT から受信した情報をもとに RIT に近い側の Wi-Fi USB ドングルを使用するようにネットワーク設定を行う. 例

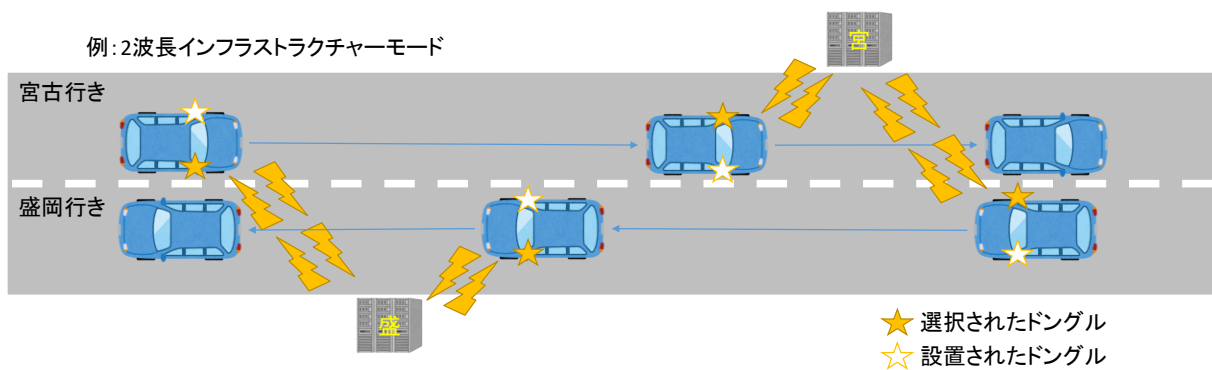


図 16 使用ドングル選択方法

として宮古行きの車両を挙げる．宮古行きの車両ははじめに盛岡側 RIT と接近する．盛岡側 RIT は盛岡行きの車線側に設置されているため，その情報を受け取った宮古行きの IRV または ITV は盛岡側 RIT に近い右側のドングルを選択する．次に宮古行きの IRV または ITV が宮古側 RIT に接近したとき，宮古側 RIT は宮古行きの車線側に設置されているため，その情報を受け取った宮古行きの IRV または ITV は宮古側 RIT に近い左側のドングルを選択する．

3.7.2 通信接続情報設定フロー

2 波長インフラストラクチャーモードにおける通信接続情報設定フローを図 17 に示す．2 波長インフラストラクチャーモードにおける接続情報は SSID，パスワード，サーバ IP アドレス，割当 IP アドレス，ネットワークアドレス，ネットマスク，ブロードキャスト，端末名，端末パスワードである．RIT はこれらの情報をコロンで区切った一続きの文字列を生成し，920MHz 帯通信の送信データ部がバイナリ形式のため，接続情報の文字列を 16 進数の文字列に変換，*sendinfo* とする変換後の文字列を送信データ部へ挿入する．RIT と IRV または ITV 間でデータの送受信が行われた後，IRV または ITV は受信したデータから接続情報に該当する文字列を抽出し，通常の文字列に再変換する．接続情報となる文字列はコロンで区切られているため，コロンで分割し配列へ格納する．分割後の情報について，サーバ IP アドレスは通信を行う関数の引数として使用され，端末名と端末パスワードはデータ転送を行う FTP 接続時の引数として使用する．SSID とパスワードはアクセスポイントへの接続を管理する *wpa_supplicant* の設定ファイルへ書き込まれる．割当 IP アドレス，ネットワークアドレス，ネットマスク，ブロードキャストはネットワークインターフェースの設定ファイルに書き込まれる．

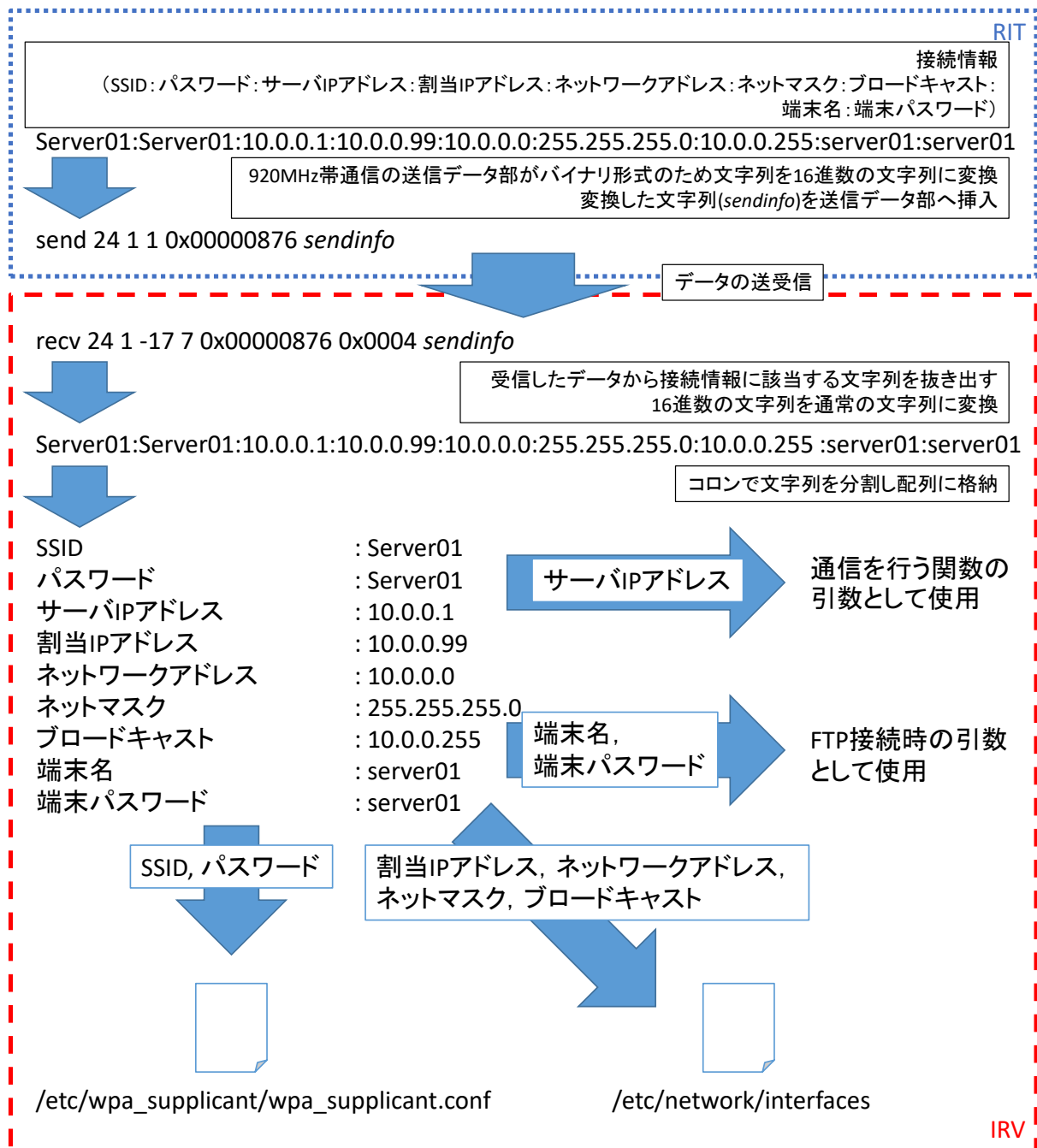


図 17 2 波長インフラストラクチャーモードにおける通信接続情報設定フロー

2 波長アドホックモードにおける通信接続情報設定フローを図 18 に示す。2 波長アドホックモードにおける接続情報は割当 IP アドレス、ネットマスク、サーバ IP アドレス、チャンネル、モード、ESSID、パスワード、端末名、端末パスワードである。接続情報を配列へ格納する手順までは 2 波長インフラストラクチャーモードと同じである。サーバ IP アドレスは通信を行う関数の引数として使用され、端末名と端末パスワードはデータ転送を行う FTP 接続時の引数として使用する。割当 IP アドレス、ネットマスク、チャンネル、

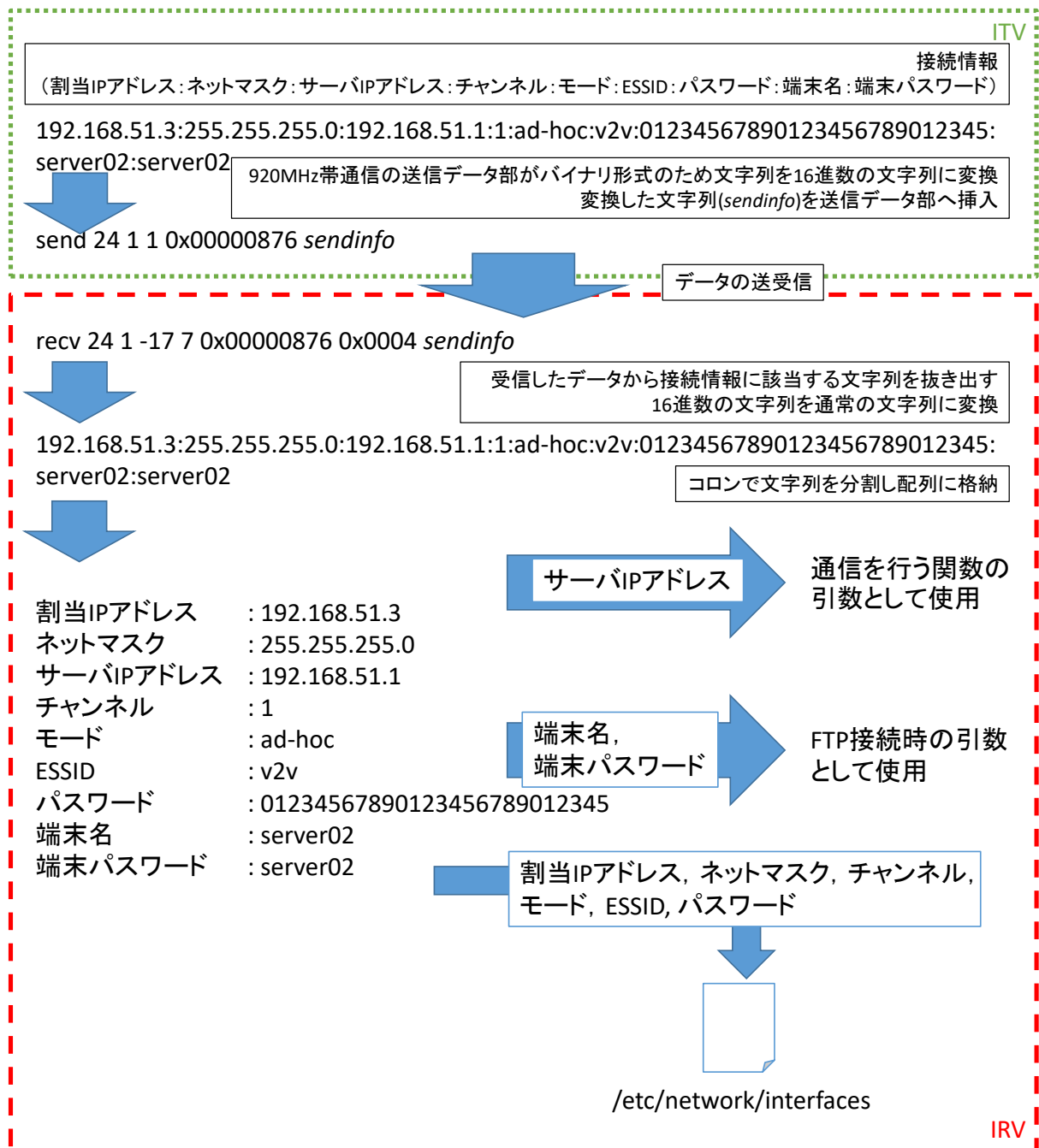


図 18 2 波長アドホックモードにおける通信接続情報設定フロー

モード, ESSID, パスワードはネットワークインターフェースの設定ファイルに書き込まれる。

このフローを行うことによって, 受信した情報を自動で必要な設定ファイルに書き込んだり, プログラムの引数として使用したりすることができる。

3.7.3 接続先情報設定フロー

図 19 に接続先情報設定フローを示す。IRV は Wi-Fi をオフにし, 920MHz 帯通信を待

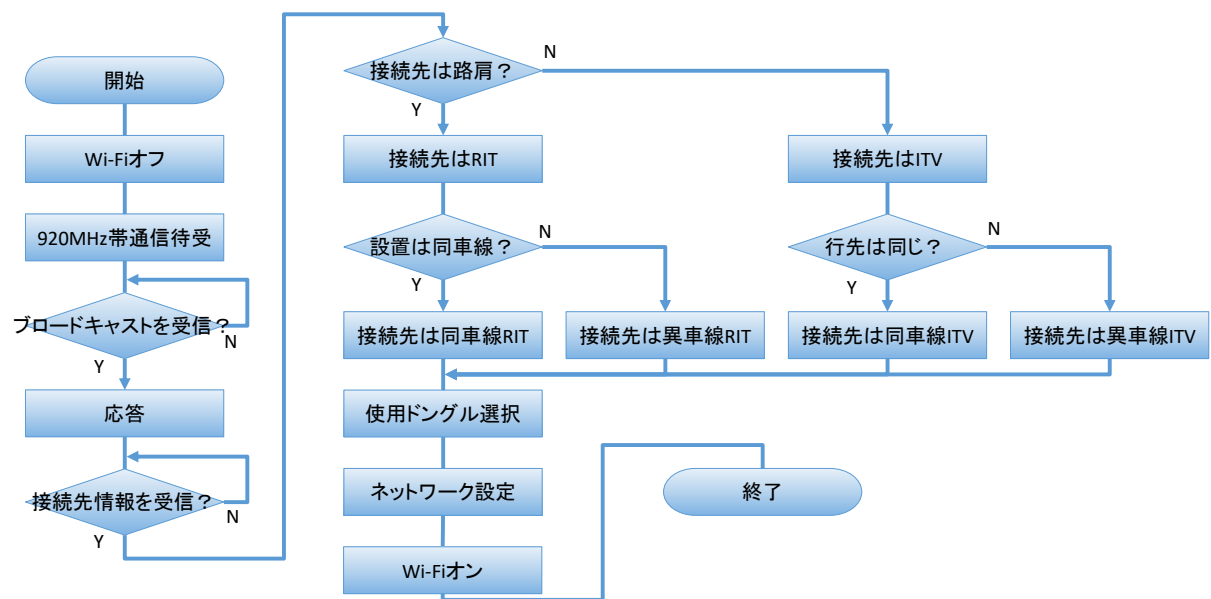


図 19 接続先情報設定フロー

ち受ける．IRV はブロードキャストを受信したらそのブロードキャスト元の端末に対して応答する．IRV はブロードキャスト元の端末から接続先情報を受信したら接続先の判別を行う．接続先は路肩かどうか、路肩ならば設置は同じ車線側かどうか、車両ならば行き先が同じかどうか、によって最終的に 4 パターンの中から接続先が決定される．決定された接続先に基づいて IRV は使用するドングルを選択し、ネットワーク設定を行い、Wi-Fi をオンにする．

3.8 プロトタイプシステム

本研究で実装するプロトタイプシステムについて、システム構成図を図 20 に示す．システム構成図について、車両の場合、電源はシガーソケットからインバーターを介して供給される．Wi-Fi USB ドングルはサーバから USB 延長ケーブルを介して車外に設置される．また、920MHz ユニットは USB-RC232C 変換ケーブルを介してサーバへ接続される．920MHz アンテナは車外に設置される．路肩の場合、電源はポータブル電源から供給される．配線は車両と同じである．

サーバの構成は共通で、端末は Ubuntu 16.04 LTS をインストールした Intel NUC5i5RYH^[29]を用い、メモリは 8GB、ストレージは 1TB の HDD である．車車間・車路間通信の USB Wi-Fi ドングルには Buffalo WI-U2-300D^[30]を用いる．本プロトタイプでは通信規格は IEEE802.11g に設定し、最大スループットは 54Mbps である．このドングルを車外または路肩に設置するため、2m の USB 延長ケーブルを使用する．920MHz 帯

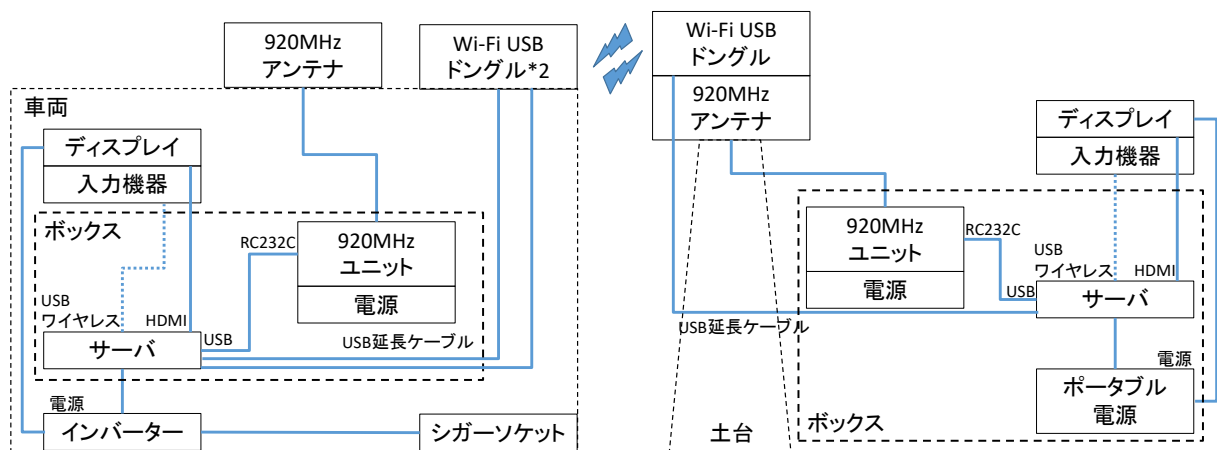


図 20 プロトタイプシステム構成

通信ユニットには大井電気株式会社の OiNET-923^{[31][32]}を用いる。現在の設定では、最大スループットは 5.469kbps である。実装は、通信部分を Ruby で、電界強度の取得部分を C 言語でそれぞれ行った。

RIT の機材構成を図 21 に、 IRV または ITV の機材構成を図 22 にそれぞれ示す。RIT の機材構成は、ボックスの中にサーバやポータブル電源、920MHz 帯通信ユニットを格納し、 Dongle と 920MHz 帯通信アンテナは三脚にマウントしている。

IRV または ITV の機材構成は、ボックスの中にサーバや 920MHz 帯通信ユニットを格納し、 Dongle はサイドミラーに、920MHz 帯通信アンテナは屋根の上にそれぞれマウントする。

3.8.1 プロトタイプシステムセットアップ手順

この節では、プロトタイプシステムの構築に最低限必要な設定等を示す。

- OS インストール時の設定

- 言語は日本語を選択

- 名前の設定について、サーバ(RIT, ITV)は上から順に Serverxx, Serverxx, serverxx, serverxx, クライアント (IRV)は上から順に Clientxx, Clientxx, clientxx, clientxx, と入力

xx は任意のナンバリング

- インストール作業等初期設定

日本語ディレクトリ名から英語ディレクトリ名へ変更

```
$ LANG=C xdg-user-dirs-gtk-update
```

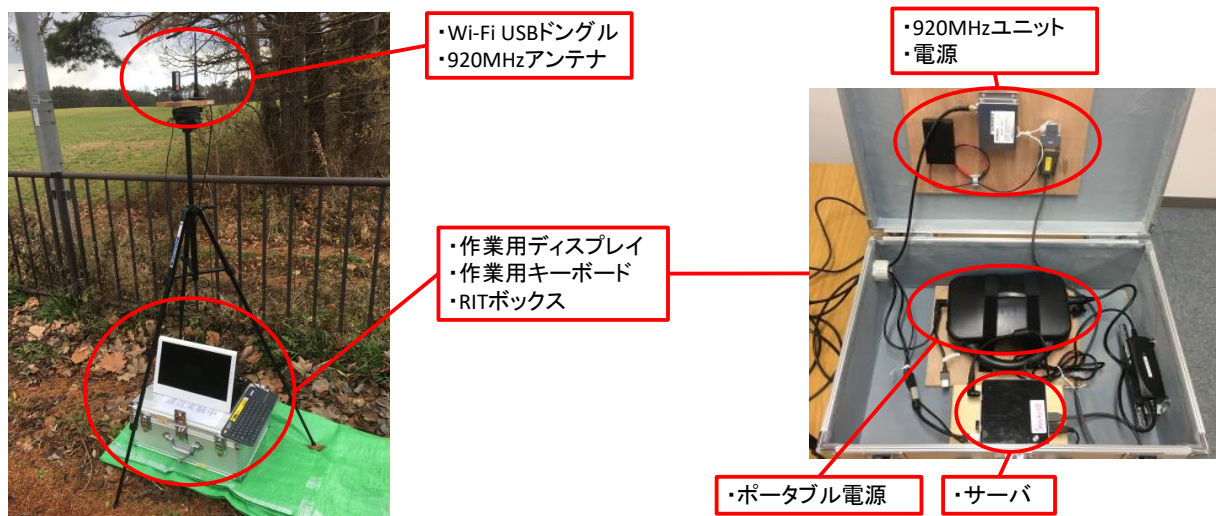


図 21 RIT 機材構成



図 22 IRV, ITV 機材構成

- root のパスワード設定

```
$ sudo passwd root
```

上記で設定したパスワードと同じものを設定

以下, root でログインして作業

```
$ su -
```

- 各種設定ファイルへの記述のため, Wi-Fi USB Dongleを認識させ, デバイス名を確認

```
# ifconfig
```

本来であれば wlan0, wlan1, wlan2, ...のようにデバイス名がつけられるが、現在の構成では例のようなデバイス名がつけられる（例：wlxcce1d53970f0）

同じ場所の USB ポートに接続すればデバイス名は変わることはない

Wi-Fi USB ドングルのデバイス名と MAC アドレス（ハードウェアアドレス）を記録

- appstreamcli 関連のエラーが出る場合、以下を実行

```
# cd /tmp/

# wget https://launchpad.net/ubuntu/+archive/primary/+files/
appstream_0.9.4-1ubuntu1_amd64.deb

# wget https://launchpad.net/ubuntu/+archive/primary/+files/
libappstream3_0.9.4-1ubuntu1_amd64.deb

# mv /etc/apt/apt.conf.d/50appstream /etc/apt/apt.conf.d/
50appstream.disabled

# dpkg -i *.deb

# mv /etc/apt/apt.conf.d/50appstream.disabled /etc/apt/apt.conf.d/
50appstream
```

- vim のインストール

```
# apt-get update

# apt-get install vim
```

root 直下に vim のオプション設定ファイルである.vimrc ファイルを作成

```
# vim .vimrc

-----.vimrc 記述例-----
```

```
set number

set title

set encoding=utf-8

set tabstop=2

set expandtab

set shiftwidth=4
```

```
"set smartindent
set whichwrap=b,s,[,],<,>
set backspace=indent,eol,start
-----記述例ここまで-----
```

- ruby, gem などのインストール

```
# apt-get install ruby ruby-dev gem rubygems
```

- シリアルポートのインストール, 設定

```
# gem install serialport
```

USB シリアルのルール設定

```
# cp /lib/udev/rules.d/50-udev-default.rules /etc/udev/rules.d/
```

```
# vim /etc/udev/rules.d/50-udev-default.rules
```

-----ファイルへの追記-----

```
KERNEL=="tty[A-Z]*[0-9]*|ppox[0-9]*|ircomm[0-9]*|noz[0-9]*|rfcomm[0-9]*", GROUP="dialout"
```

の次の行に以下を記述

```
KERNEL=="ttyUSB*" MODE="0666"
```

-----追記ここまで-----

```
# service udev restart
```

- RIT への hostapd の導入

- hostapd, 最新版の hostapd をコンパイルする環境, dhcp サーバのインストール

```
# apt-get update
```

```
# apt-get install hostapd libnl-genl-3-dev libssl-dev isc-dhcp-server
```

- apt-get で入手できる hostapd のバージョンが古く, Ubuntu16.04 では不具合が発生してしまうため, 最新版の hostapd(執筆時点では 2.6)を下記コマンドを実行してダウンロード

```
# wget http://w1.fi/releases/hostapd-2.6.tar.gz
```

もしくは上記 URL から直接ダウンロードし、root 直下へコピー

- ダウンロードファイル解凍(解凍したファイルはコンパイルが必要)

```
# tar xvf hostapd-2.6.tar.gz
```

- 解凍したファイルのコンパイル

```
# cd hostapd-2.6/hostapd
```

```
# cp defconfig .config
```

```
# echo CONFIG_LIBNL32=y >> .config
```

```
# make
```

- コンパイルして作成した実行ファイルとバージョンの古い実行ファイルを置き換え

```
# mv /usr/sbin/hostapd /usr/sbin/hostapd.org
```

```
# mv hostapd /usr/sbin/
```

- 各種設定ファイル記述

```
# vim /etc/dhcp/dhcpd.conf
```

-----ファイル末尾に追加-----

```
INTERFACES="【Wi-Fi USB ドングルのデバイス名】";
```

```
option domain-name "";
```

```
subnet 10.0.0.0 netmask 255.255.255.0 {
```

```
    range 10.0.0.11 10.0.0.99;
```

```
    option routers 10.0.0.1;
```

```
    option broadcast-address 10.0.0.255;
```

```
}
```

-----追記ここまで-----

```
# vim /etc/hostapd/hostapd.conf
```

-----新規ファイルのためはじめてから記述-----

```
interface=【Wi-Fi USB ドングルのデバイス名】
```

```
driver=nl80211
```

```
ssid=【使用する SSID】
```

```
hw_mode=g
```

```
channel=6
```

```
wpa=2
```

```
wpa_passphrase=【使用するパスワード】
```

```
wpa_key_mgmt=WPA-PSK
```

```
rsn_pairwise=CCMP
```

```
-----記述ここまで-----
```

```
# vim /etc/network/interfaces
```

```
-----ファイル末尾に追記-----
```

```
auto 【Wi-Fi USB ドングルのデバイス名】
```

```
iface 【Wi-Fi USB ドングルのデバイス名】 inet static
```

```
address 10.0.0.1
```

```
netmask 255.255.255.0
```

```
network 10.0.0.0
```

```
broadcast 10.0.0.255
```

```
-----追記ここまで-----
```

- 以下の 2 行はここで実行しても問題ないが、reboot すると設定が飛んでしまうようなので、必要なときに実行する

```
# ifconfig wlan0 10.0.0.1 netmask 255.255.255.0 up
```

```
# /etc/init.d/isc-dhcp-server start
```

- 本来であれば、自動起動のために/etc/init.d/hostapd 内に
DAEMON_CONF=/etc/hostapd/hostapd.conf を記述するのだが、今回の方法では手動起動が前提であり、設定してしまうと reboot 後 hostapd が起動しなくなるので注意

- hostapd 起動までの設定

```
=====初回セットアップ時のみ、下記の手順を実行=====
```

```
WiFi の off
```

```
# nmcli nm wifi off
```

```
Wi-Fi USB ドングルの状態の確認
```

```
# rfkill list
```

-----下記のような状態になっているかどうか確認-----

```
0: phy0: Wireless LAN
```

```
Soft blocked: yes
```

```
Hard blocked: no
```

-----確認ここまで-----

ブロックを解除

```
# rfkill unblock wifi
```

Wi-Fi USB ドングルの状態の確認

```
# rfkill list
```

-----下記のような状態になっているかどうか確認-----

```
0: phy0: Wireless LAN
```

```
Soft blocked: no
```

```
Hard blocked: no
```

-----確認ここまで-----

NetworkManager で Wi-Fi USB ドングルを管理しないように設定

```
# vim /etc/NetworkManager/NetworkManager.conf
```

-----ファイル末尾に追記-----

```
[Keyfile]
```

```
unmanaged-devices=mac: 【Wi-Fi USB ドングルの MAC アドレス（ハードウェアアドレス）】
```

-----追記ここまで-----

端末再起動

```
# exit
```

```
$ sudo shutdown shutdown -r 0
```

再起動後の Wi-Fi USB ドングルの状態の確認

```
# rfkill list
```

-----下記のような状態になっているかどうか確認-----

```
0: phy0: Wireless LAN
```


Soft blocked: yes

Hard blocked: no

-----確認ここまで-----

ブロックを解除

rfkill unblock wifi

Wi-Fi USB ドングルの状態の確認

rfkill list

-----下記のような状態になっているかどうか確認-----

0: phy0: Wireless LAN

Soft blocked: no

Hard blocked: no

-----確認ここまで-----

無線 LAN の設定と dhcp サーバの起動

```
# ifconfig 【Wi-Fi USB ドングルのデバイス名】 10.0.0.1 netmask
255.255.255.0 up
```

```
# /etc/init.d/isc-dhcp-server start
```

hostapd の起動

```
# hostapd /etc/hostapd/hostapd.conf
```

=====初回セットアップ時の手順ここまで=====

上記の手順を一度手動で行ったら、次回以降はシェルスクリプト等を用いて自動化しても良い

-----例(setting.sh)-----

```
#!/bin/sh
```

```
rfkill list
```

```
rfkill unblock wifi
```

```
rfkill list
```

```
ifconfig 【Wi-Fi USB ドングルのデバイス名】 10.0.0.1 netmask 255.255.255.0
up
```

```
/etc/init.d/isc-dhcp-server start
```

hostapd /etc/hostapd/hostapd.conf

-----ここまで-----

hostapd の停止は Ctrl+C で行う

停止後，端末をシャットダウンまたは再起動する場合，以下を実行

/etc/init.d/isc-dhcp-server stop

● RIT, ITV への vsftpd の導入

➤ vsftpd のインストール，設定

apt-get install vsftpd

vim /etc/vsftpd.conf

-----ファイルの修正，追記-----

コメントアウトを解除する行数：31, 99, 100, 122, 123, 125, 131

以下を末尾に追記

local_root=/home/【ユーザ名】/Downloads

allow_writeable_chroot=YES

-----修正，追記ここまで-----

vim /etc/vsftpd.chroot_list

-----空ファイルの作成-----

systemctl restart vsftpd

3.8.2 プロトタイプシステムファイル構成

この節では，プロトタイプシステムの稼働に必要なファイル構成を示す．各ファイルの役割を表 2 に，IRV のファイル構成を図 23 に，RIT のファイル構成を図 24 に，ITV のファイル構成を図 25 にそれぞれ示す．

表 2 各ファイルの役割

ファイル名	役割
IRV	
FTPOnboardClient.rb	このファイルは 920MHz 帯通信による接続情報の事前共有や，共有した接続情報を各設定ファイルに記述，各計測プログラムの呼び出し，FTP によるデータ転送を行う．

OnboardClient.rb, infrastructure.rb, wifitimer.rb	これらのファイルは FTPOnboardClient.rb を実装するに至るまでに通信実験に使用していたファイルである。OnboardClient.rb は FTP によるデータ転送部分を ping による測定に置き換えたファイル, infrastructure.rb は先行研究で用いていた Wi-Fi 通信のみの場合を再現するためのファイル, wifitimer.rb は Wi-Fi 通信のみの場合の通信接続確立の時間を測定するためのファイルである。
.【使用 Dongle 名】	このファイルは IRV に搭載している Wi-Fi USB Dongle の分だけ作成しておく。2 波長通信あれば 2 つのファイルを生成しておく。接続情報の事前共有を行った後に、接続相手の状態を把握することができ、どの Dongle を使用するかを決定することができるので、選択された Dongle に該当するファイルを後述する interfaces ファイルとして適用し、接続情報を記述する。
【日時】_920log_【車線】.txt, 【日時】_RSSIlog_【車線】.txt, 【日時】_tcpdump.pcap, (【日時】_pinglog_【車線】.txt)	これらのファイルは通信状態の把握を行うためのログファイルである。現在は【日時】_pinglog_【車線】.txt 以外のファイルを用いている。
【ファイル名】.txt	このファイルは FTP によるデータ転送を行う際の送信元のデータとなるファイルである。現在は中身が空でファイルサイズのみ指定しているダミーファイルとなっているが、将来的にはセンサ情報等のデータが格納されたファイルを用いる。
wpa_supplicant.conf	このファイルには、図 20 で述べたように、接続情報の中から SSID とパスワードが記述される。FTPOnboardClient.rb では、接続情報を受信するたびに以前の wpa_supplicant.conf を上書きする実装となっている。

interfaces	<p>このファイルには、図 17, 図 18 で述べたように、接続情報の中から 2 波長インフラストラクチャーモードの場合は割当 IP アドレス、ネットワークアドレス、ネットマスク、ブロードキャストを、2 波長アドホックモードの場合は割当 IP アドレス、ネットマスク、チャンネル、モード、ESSID、パスワードをそれぞれ記述する。</p> <p>FTPOnboardClient.rb では、接続情報の事前共有が行われた後、以前の設定が記述されている interfaces ファイルを当該フォルダから移動し、接続情報の事前共有によって選択されたドングルに対応する。【使用ドングル名】を interfaces にリネームして当該フォルダに移動、受信した情報を記述する実装となっている。</p>
RIT	
RoadsideServer.rb	<p>このファイルは 920MHz 帯通信による接続情報の事前共有を行う。自身の状態が含まれているデータをブロードキャストし、それに応答してきた端末に対して自身の接続情報を送信する。この手順を終え一定時間経過した後、再度ブロードキャストを開始する。</p>
setting.sh	<p>このファイルはアクセスポイント起動を行う。DHCP サーバの立ち上げや hostapd の起動を自動で行う。</p>
dhcpd.conf	<p>このファイルには DHCP サーバの設定が記述されている。現在は接続元の端末に固定 IP アドレスを付与しているため現在は使用していない。</p>
hostapd.conf	<p>このファイルにはアクセスポイントを起動するために必要な設定が記述されている。SSID やパスワード、規格、チャンネルなどの設定を行う。</p>
interfaces	<p>このファイルにはアクセスポイントとなるネットワークインターフェースに対して、IP アドレスなどの情報が記述されている。</p>

ReceptionFile【日時】.txt	このファイルには FTP 通信によって受信したデータが格納されている。
ITV	
OnboardServer.rb	このファイルの動作は RoadsideServer.rb とほぼ同じである。
interfaces	このファイルにはアドホック通信を行うネットワークインターフェースに対して、 ESSID やパスワード、チャンネル、動作モードなどの情報が記述されている。

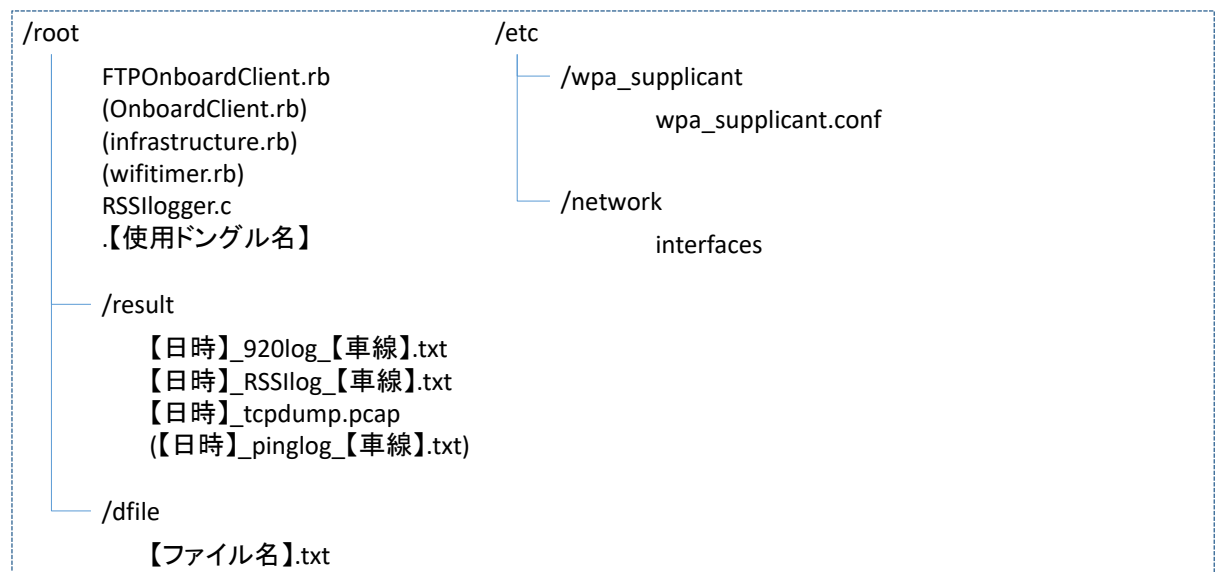


図 23 IRV ファイル構成

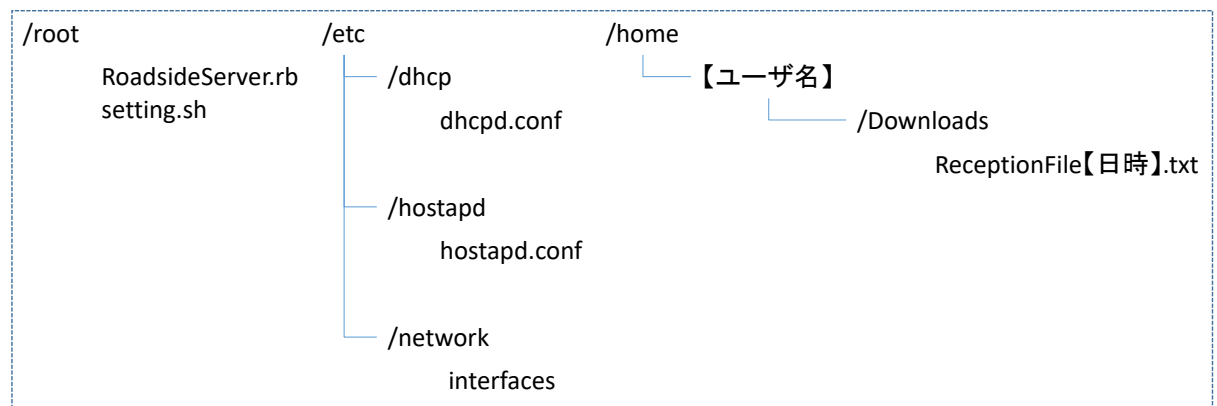


図 24 RIT ファイル構成

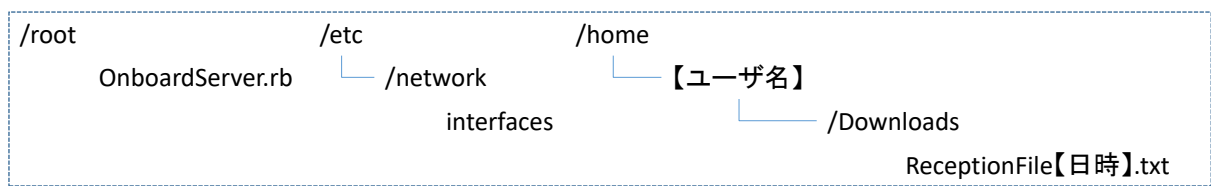


図 25 ITV ファイル構成

第4章. 通信実験

4.1 先行研究における実証実験

本節では，先行研究で行っていた実証実験について説明する．

4.1.1 理想的な環境における Wi-Fi 通信の通信距離

この実験は図 26 に示す，大学周辺の外乱のない直線が続く道路で行った．車両が停止した状態と走行している状態，それぞれについて Wi-Fi 通信の通信距離を確認した．測定方法については，あらかじめ 20m 毎の目印となるコーンを設置し，車両が停止した状態ではそのコーン毎に ping を 30 回実行し，車両が走行している状態ではコーンの末端と RIT との間を時速 40km で 5 分間往復する間 ping を実行し続けて測定を行った．実験結果を図 27 と図 28 にそれぞれ示す．実験結果より，外乱のない理想的な通信環境であれば停止状態，走行状態共に 550m 程度は通信接続が行われていることが分かった．しかし，通信が接続されているからといってデータ送信ができるわけではなく，全体の通信距離に対してデータ通信はどこまで可能なのか把握する必要がある．



図 26 4.1.1 節における実験環境

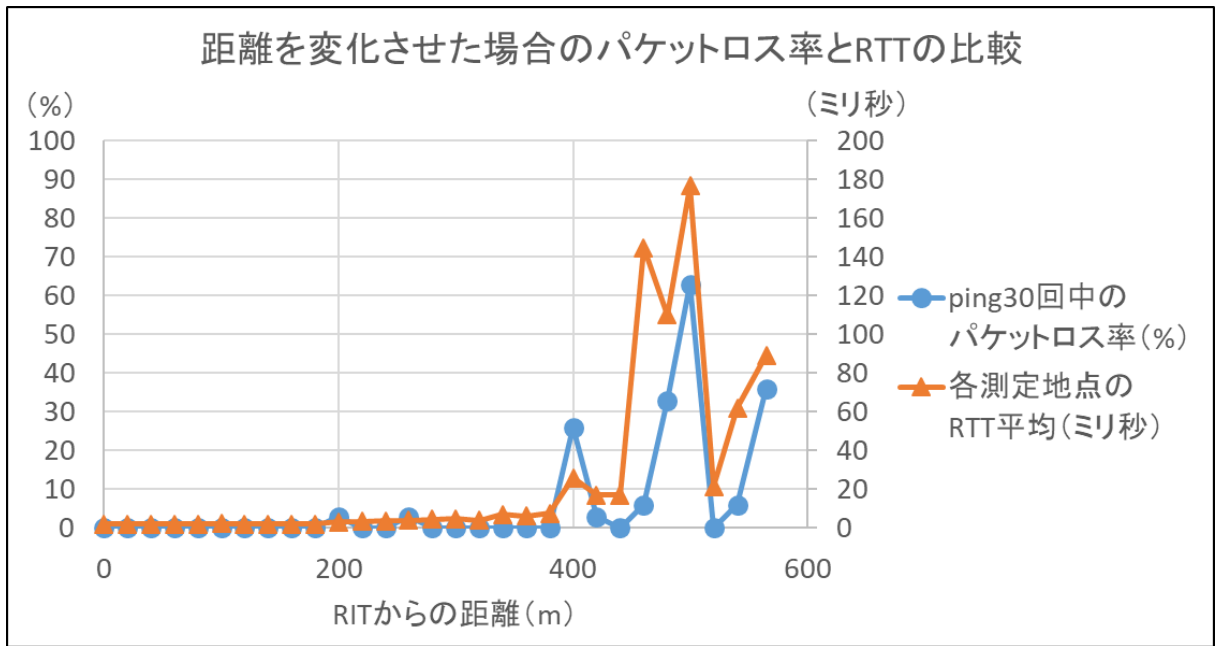


図 27 距離を変化させた場合のパケットロス率と RTT の比較

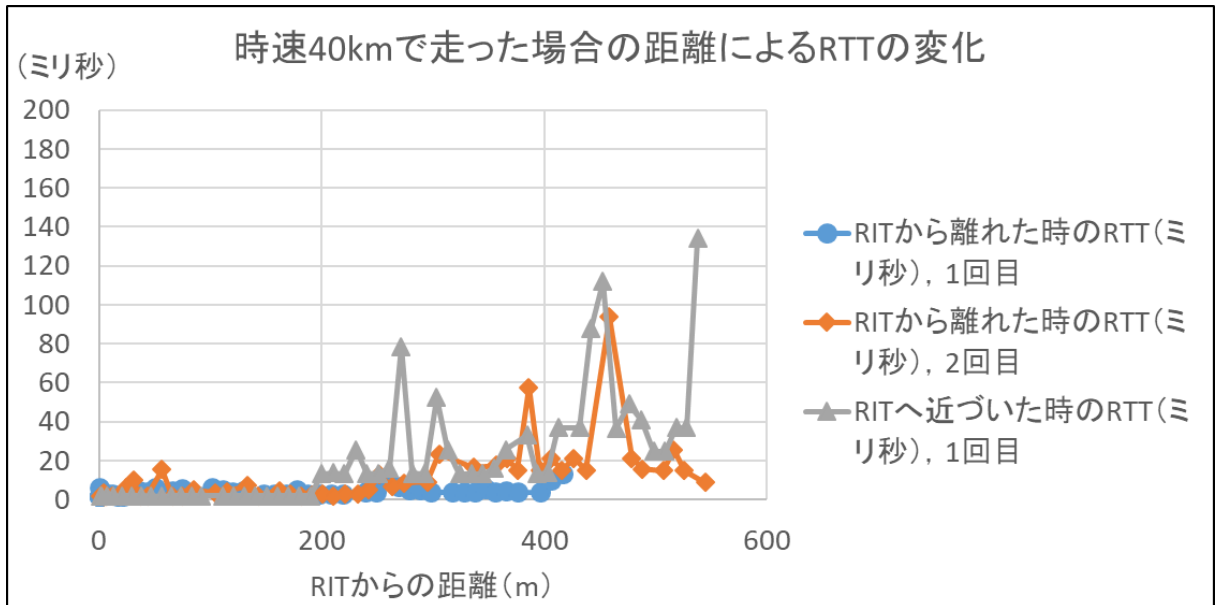


図 28 時速 40km で走った場合の距離による RTT の変化

4.1.2 Wi-Fi 通信による車路間通信時の通信状態変化

この実験は図 29 に示す，大学周辺の一般的な道路で行った．RIT を路肩に設置し，時速 40km から 50km で走行中に，電界強度とデータ往復時間の変化を測定した．データ往復時間を測定するために用いたデータのサイズは 10KB, 30KB, 60KB である．実験結果より，電界強度は-90dBm 周辺から測定可能であるが，実際にデータ通信が開始されているのは-76dBm 周辺である．検証を進める必要はあるが，電界強度が取得されている状態，

つまり Wi-Fi 接続が行われているとしても、電界強度がある一定の値まで増加しないとデータ通信が開始されないことが分かった。また、実験結果をまとめると、いくつかの傾向を確認することができた。一つ目は図 30 と図 31 に示す、RIT に近づきながら接続確立が行われた場合である。この場合 RIT を通過する前にデータ通信を行うことができるので、ある程度まとまったデータを共有することができる。二つ目は図 32 と図 33 に示す、RIT とすれ違う直前または直後に接続確立が行われた場合である。この場合データ通信を行うことができる場合もあるが、データ通信が開始されるのは RIT を通り過ぎた後になるので、ほとんどデータを共有することができない。三つ目は図 34 と図 35 に示す、RIT を完全に通り過ぎた後に接続確立が行われた場合である。この場合はデータ通信を行うことができる電界強度の値を下回っているためか、データ通信は全く行うことができない。このように、通信接続が確立されるタイミングにズレが生じ、接続が不安定となっている。

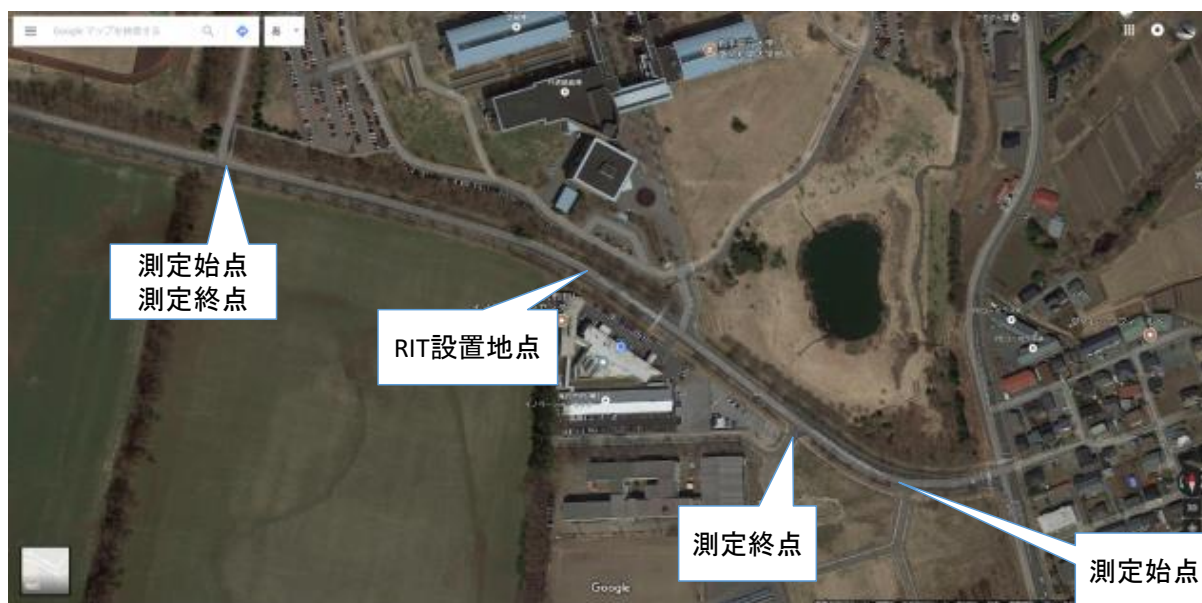


図 29 4.1.2 節における実験環境

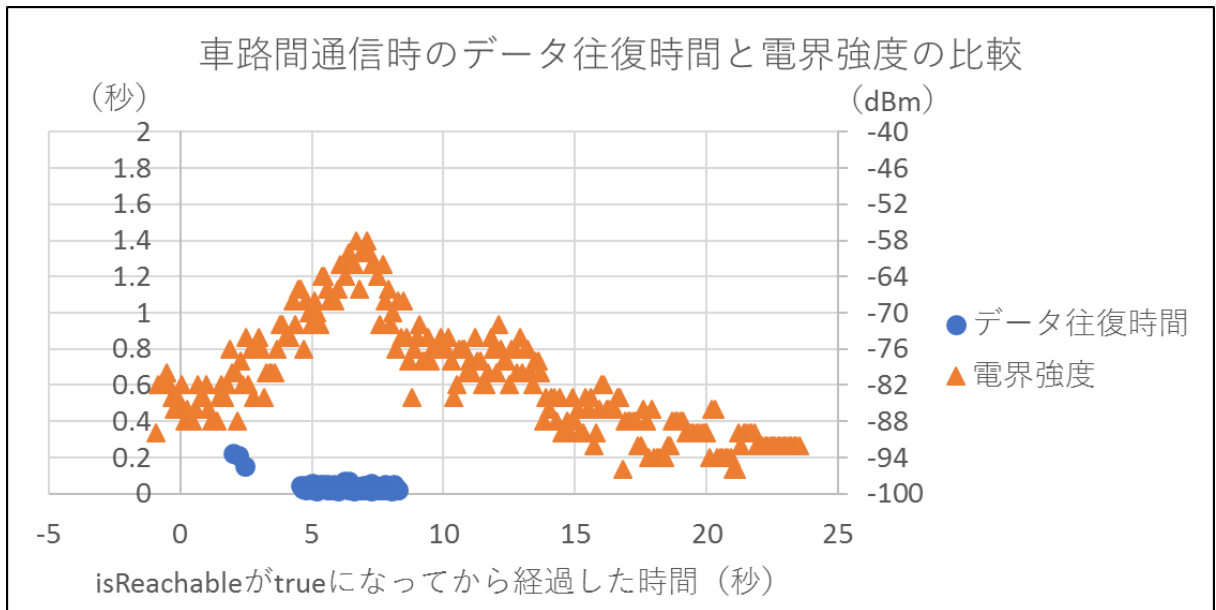


図 30 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#1

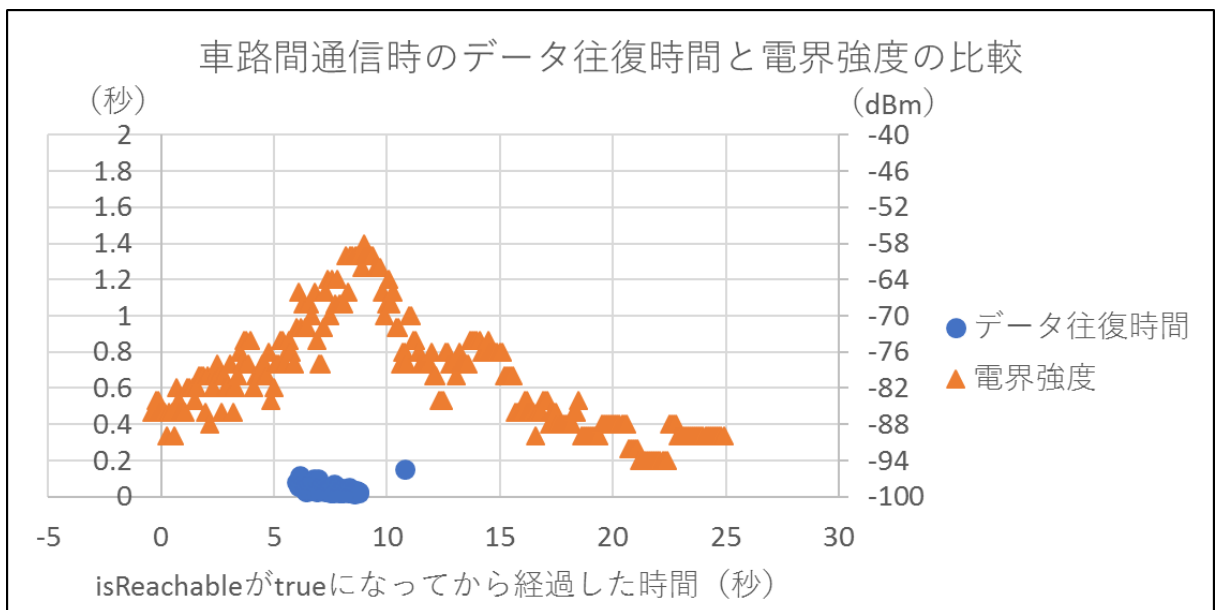


図 31 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#2

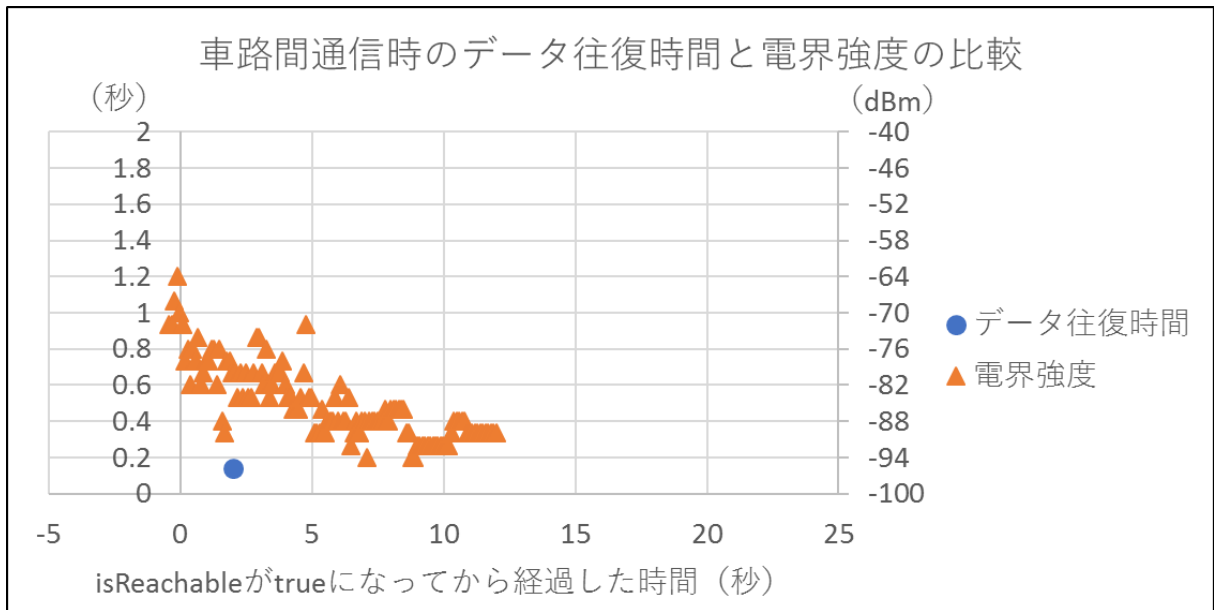


図 32 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#3

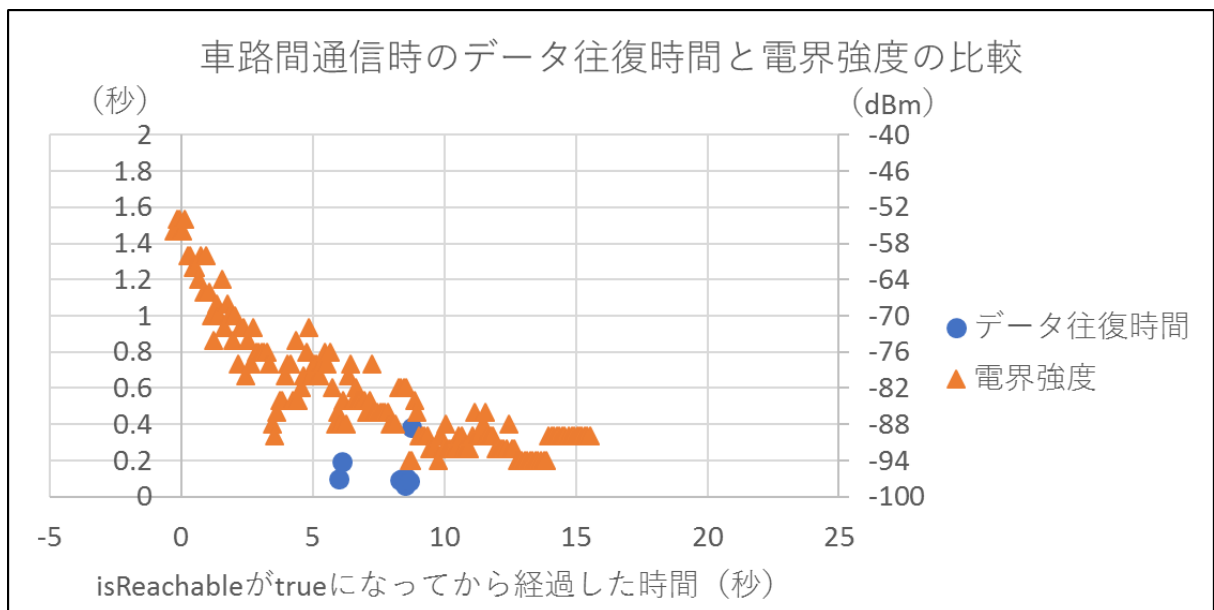


図 33 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#4

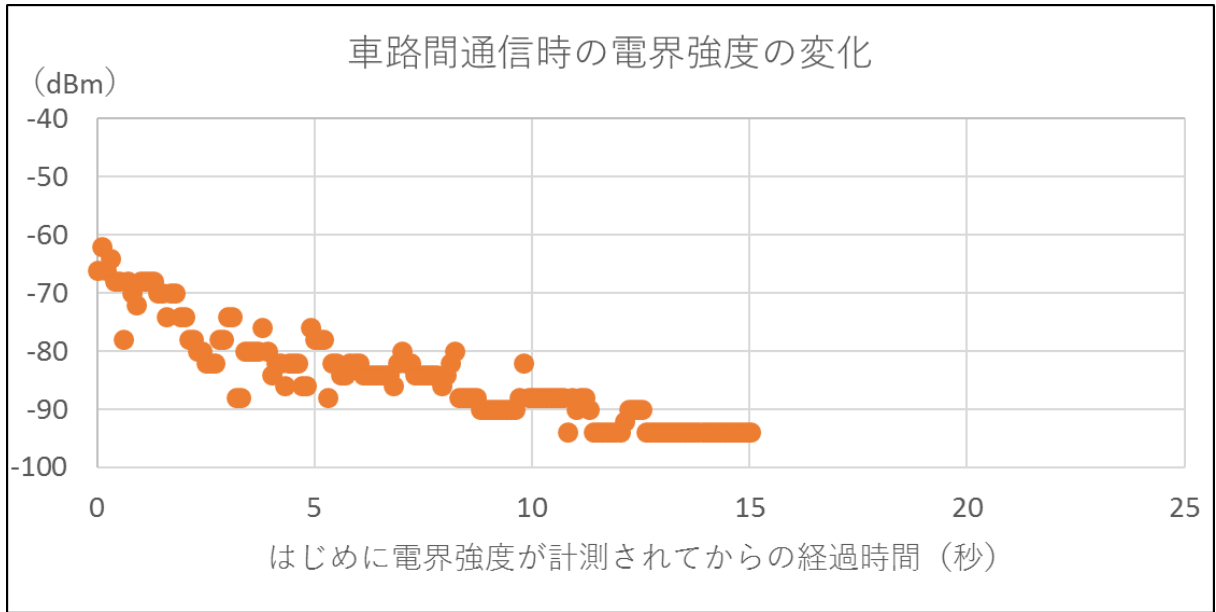


図 34 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#5

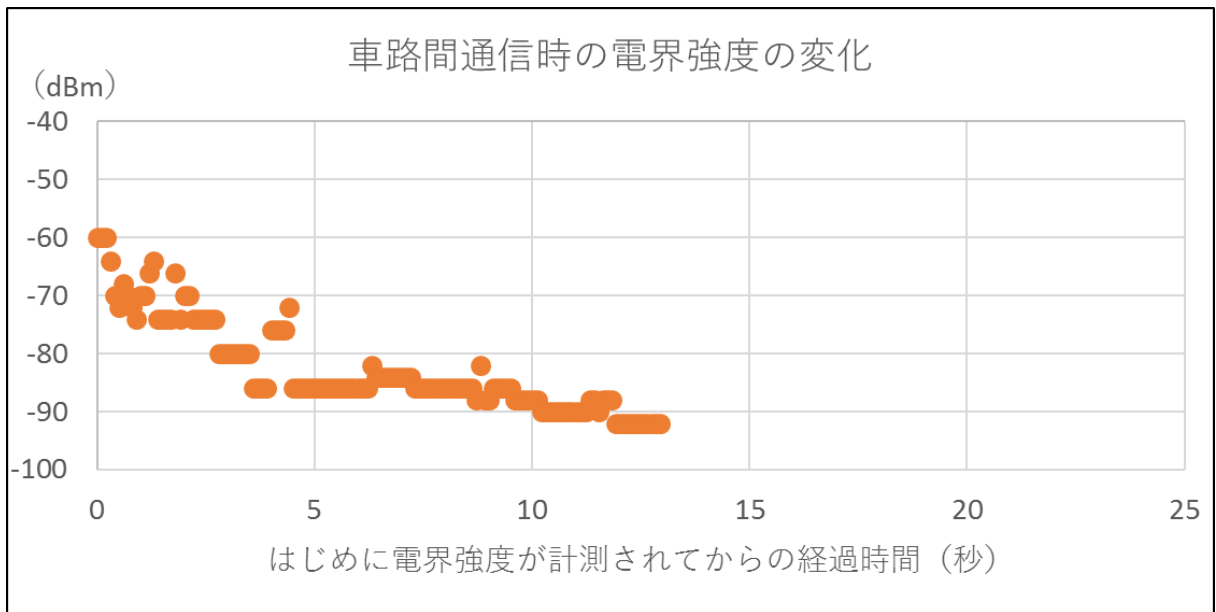


図 35 車路間通信時のデータ往復時間と電界強度の比較#6

4.2 本研究における実証実験

4.2.1 プロトタイプシステム実験環境

本研究におけるプロトタイプシステムの実験環境を図 36 に示す．4.1.2 節と同様に，大学周辺の一般的な道路を用い，東側が宮古，西側が盛岡だと仮定して実験環境を構築した．RIT は盛岡側を想定し設置した．盛岡行き測定開始地点と宮古行き測定開始地点との間を行ったり来たりして実験を行った．車両速度は，冬季以外の環境を想定する場合は時速 50 キロから 60 キロとし，冬季の環境を想定する場合は時速 40 キロとした．盛岡行き測定開

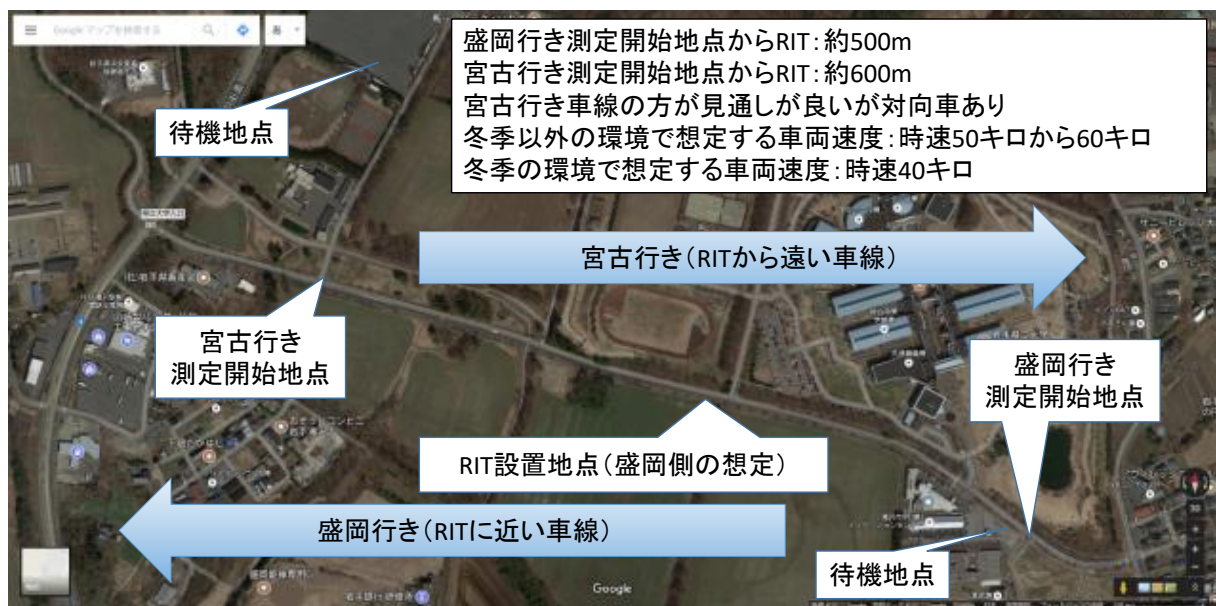


図 36 本研究における実験環境#1

始地点から RIT まで約 500m, 宮古行き測定開始地点から RIT まで約 600m となっている。宮古行きの車線の方が見通しはよいが、対向車が走行している場合がある。

4.2.2 通信実験測定開始のタイミング

通信実験測定開始のタイミングについて、Wi-Fi 通信のみの場合は図 37 に、2 波長通信の場合は図 38 に示すように、Wi-Fi 通信測定プログラムは ping による導通確認が完了したら、920MHz 帯通信測定プログラムは接続先情報の共有が完了したらそれぞれ実行する。

4.2.3 接続確立時間の比較実験

この実験は、3.6 節と 3.7 節で提案した各機能を適用した通信接続確立が、機能を適用していない Wi-Fi 通信のみの通信接続確立に比べ有効であるかどうか検証を行った。この実験は研究室内で各端末は隣同士に置き、各場合に対して通信接続断を繰り返し実行し、通信接続確立にかかる時間を測定した。Wi-Fi 通信のみの場合の実験結果を図 39 に、2 波長インフラストラクチャーモード時の実験結果を図 40 に、2 波長アドホックモード時の実験結果を図 41 にそれぞれ示す。結果として、提案した機能を適用することによって通信接続確立にかかる時間を短縮することができた。Wi-Fi 通信のみ場合では 2 波長インフラストラクチャーモードの場合よりも接続が速いこともあるが、IP アドレス付与にあたる DHCPDISCOVER から DHCPACK までの時間にばらつきがあるため、全体的には不安定である。2 波長インフラストラクチャーモードの場合、IP アドレスを事前に共有、設定しているため、ほぼ安定して接続されている。2 波長アドホックモードの場合、2 波長インフ

ラストラクチャーモードより短時間で接続されている．920MHz 帯通信の接続は Wi-Fi 通信接続より遠い距離で行われるため，920MHz 帯通信の接続確立時間は Wi-Fi 通信の接続確立時間に影響しない．

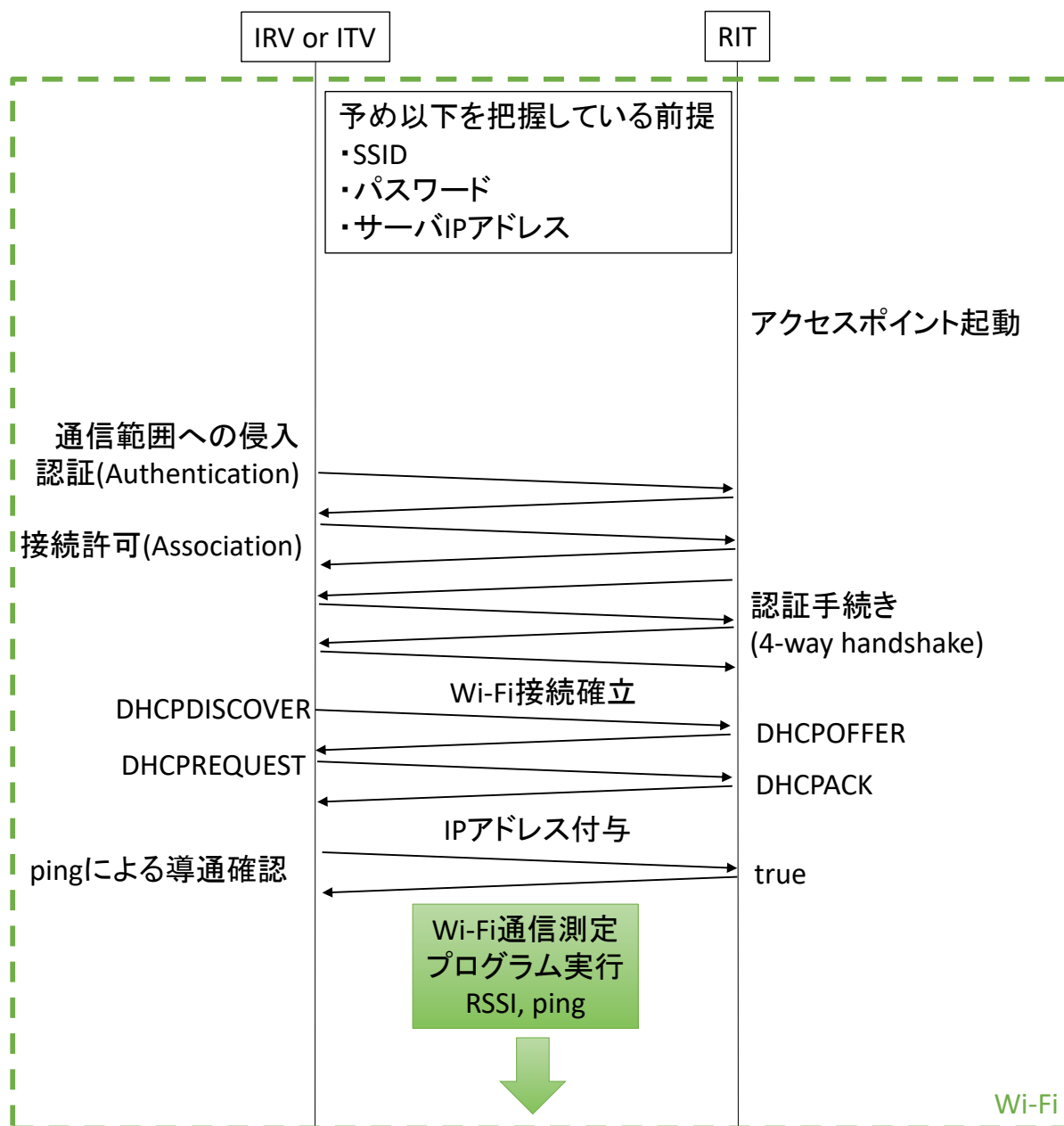


図 37 Wi-Fi 通信のみの場合の通信実験測定開始のタイミング

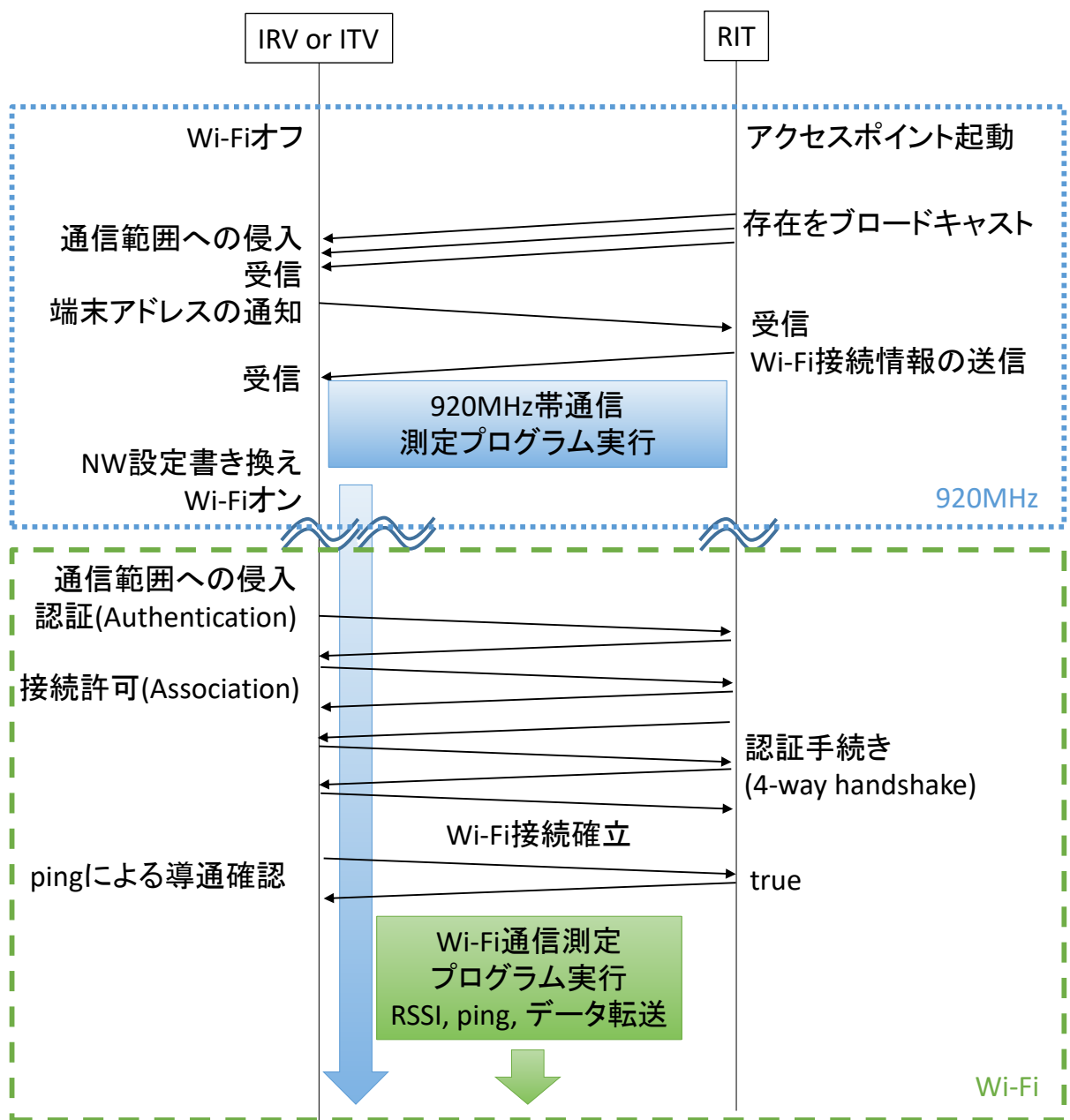


図 38 2 波長通信の場合の通信実験測定開始のタイミング

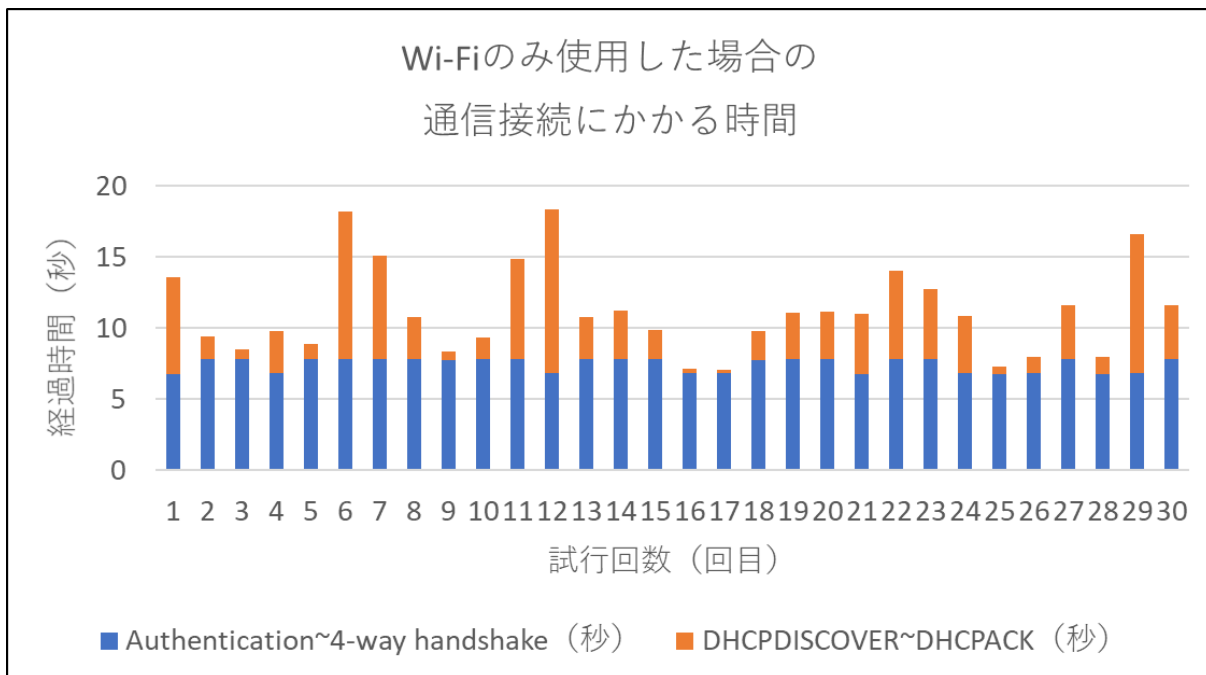


図 39 Wi-Fi 通信のみの場合の通信接続にかかる時間

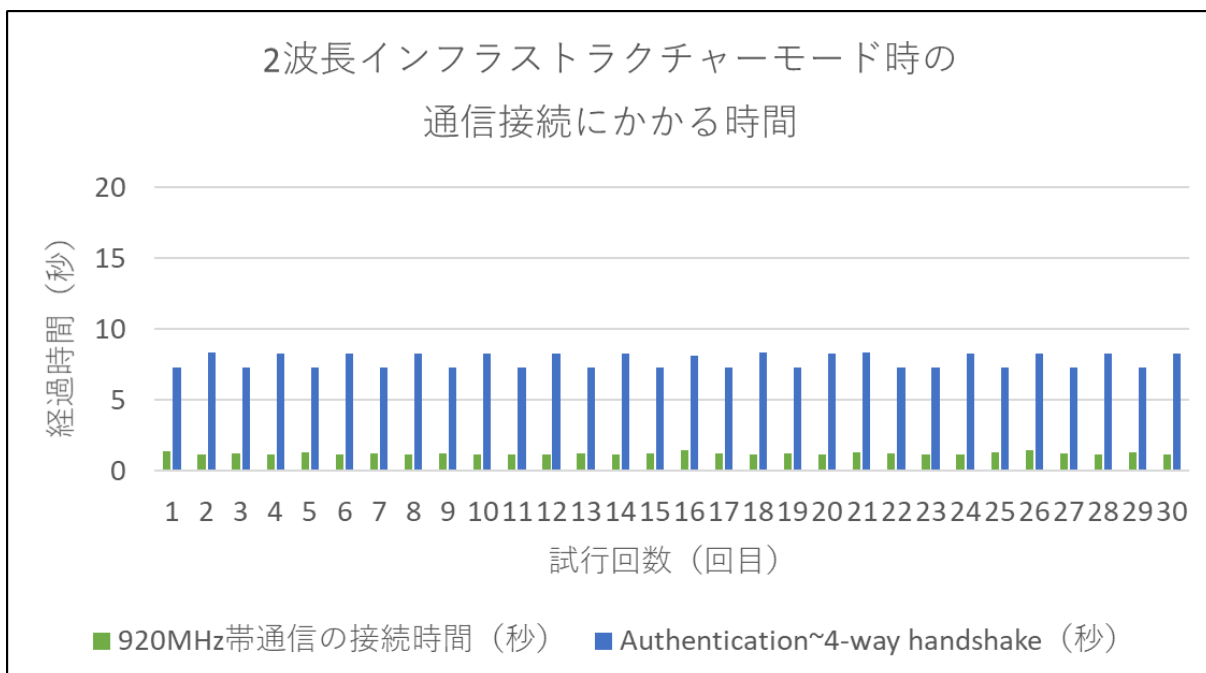


図 40 2 波長インフラストラクチャーモード時の通信接続にかかる時間

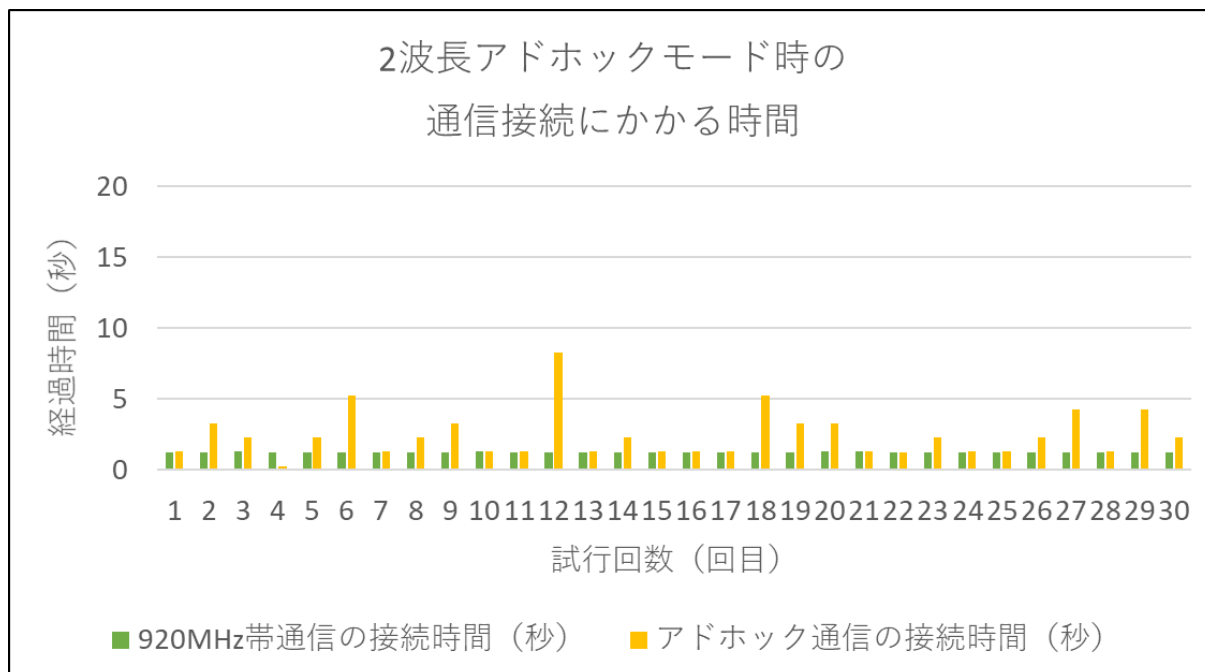


図 41 2 波長アドホックモード時の通信接続にかかる時間

4.2.4 Wi-Fi 通信のみによる車路間通信時の通信状態変化

この実験は、先行研究の通信実験と同様に、接続タイミングのズレが生じるかどうかを検証するために行った。測定項目として、電界強度は実装したプログラムを、スループットは ping を使用し、約 60 秒間測定した。この実験では、車両は冬季以外の環境を想定し、時速 50km から 60km で走行している。結果として、先行研究の通信実験と同様に接続タイミングにズレが生じ、車両が RIT を通り過ぎる前（図 42, 図 43）、通り過ぎている間（図 44, 図 45）、通り過ぎた後（図 46, 図 47）の 3 通りの傾向で通信接続が行われていた。車両が RIT を通り過ぎる前に通信接続が行われれば十分なデータ共有を行うことができるが、車両が RIT を通り過ぎている間または RIT を通り過ぎた後に通信接続が行われてしまうとほぼデータ共有を行うことができない。前節の接続確立時間の比較実験で示したように、IP アドレス付与にかかる時間のばらつきによって接続タイミングにズレが生じると考えられる。

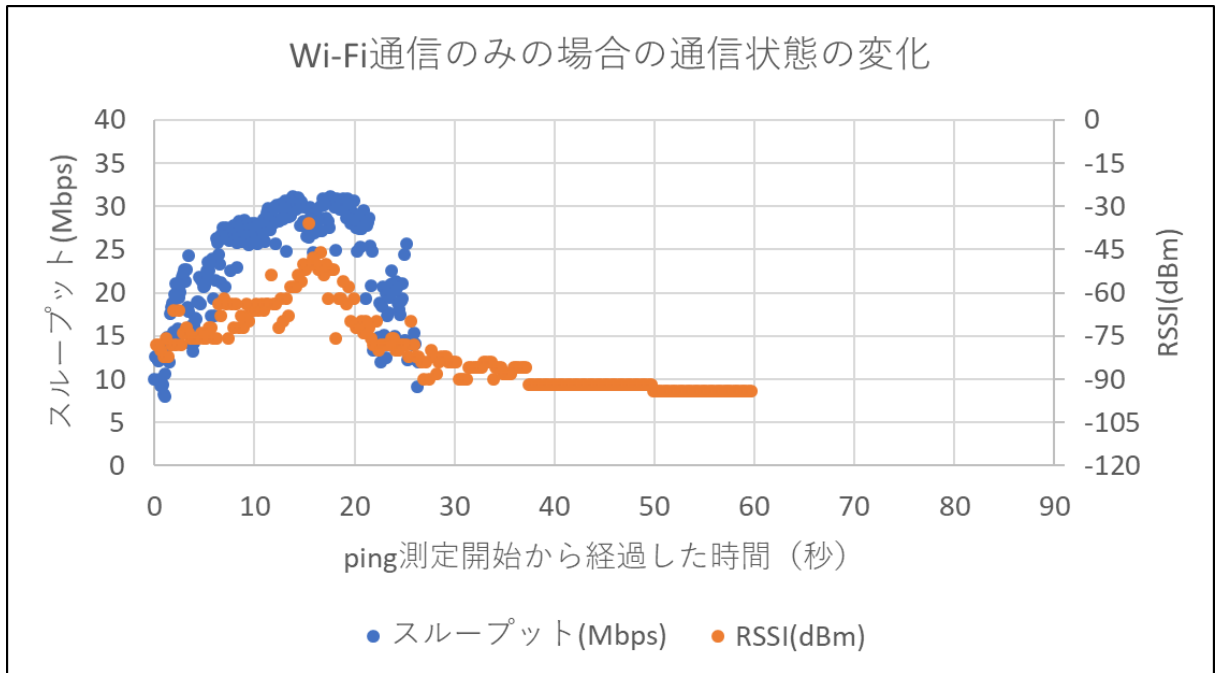


図 42 Wi-Fi 通信のみの場合の通信状態の変化#1

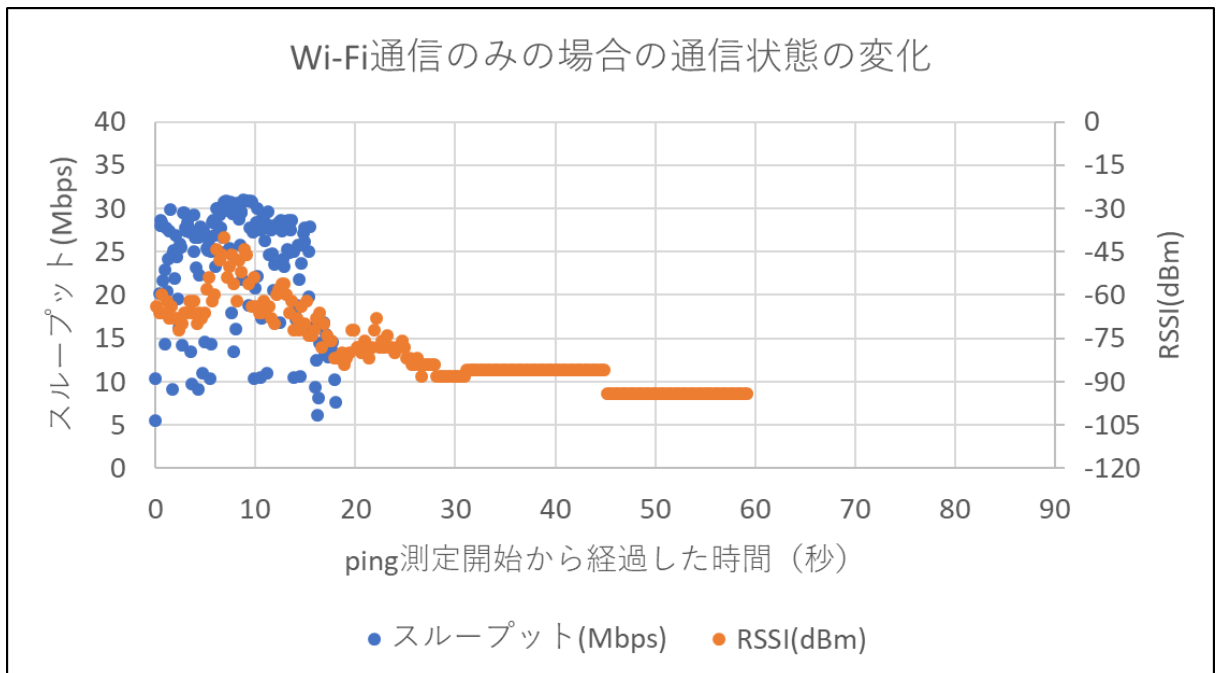


図 43 Wi-Fi 通信のみの場合の通信状態の変化#2

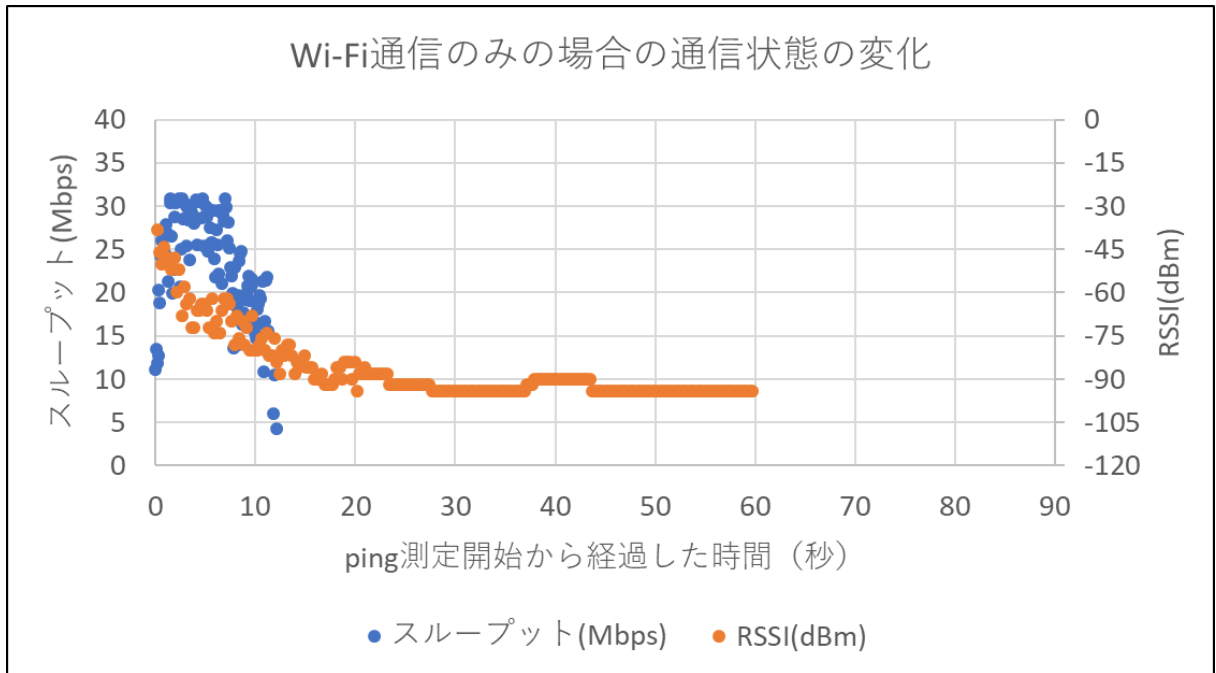


図 44 Wi-Fi 通信のみの場合の通信状態の変化#3

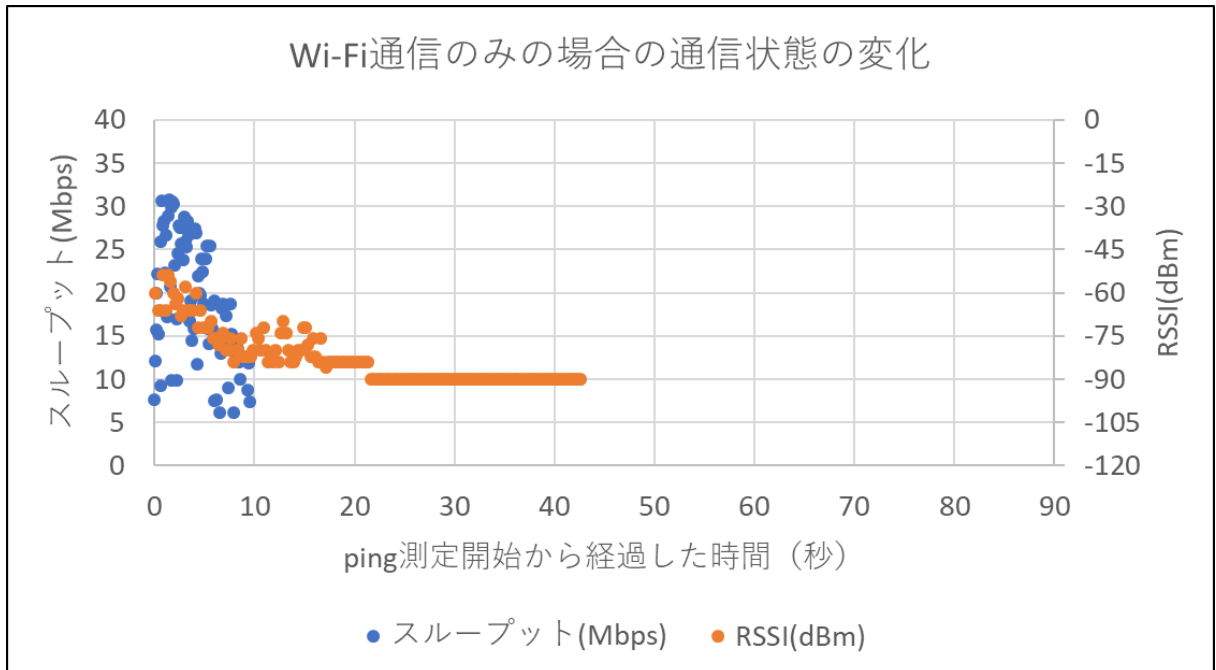


図 45 Wi-Fi 通信のみの場合の通信状態の変化#4

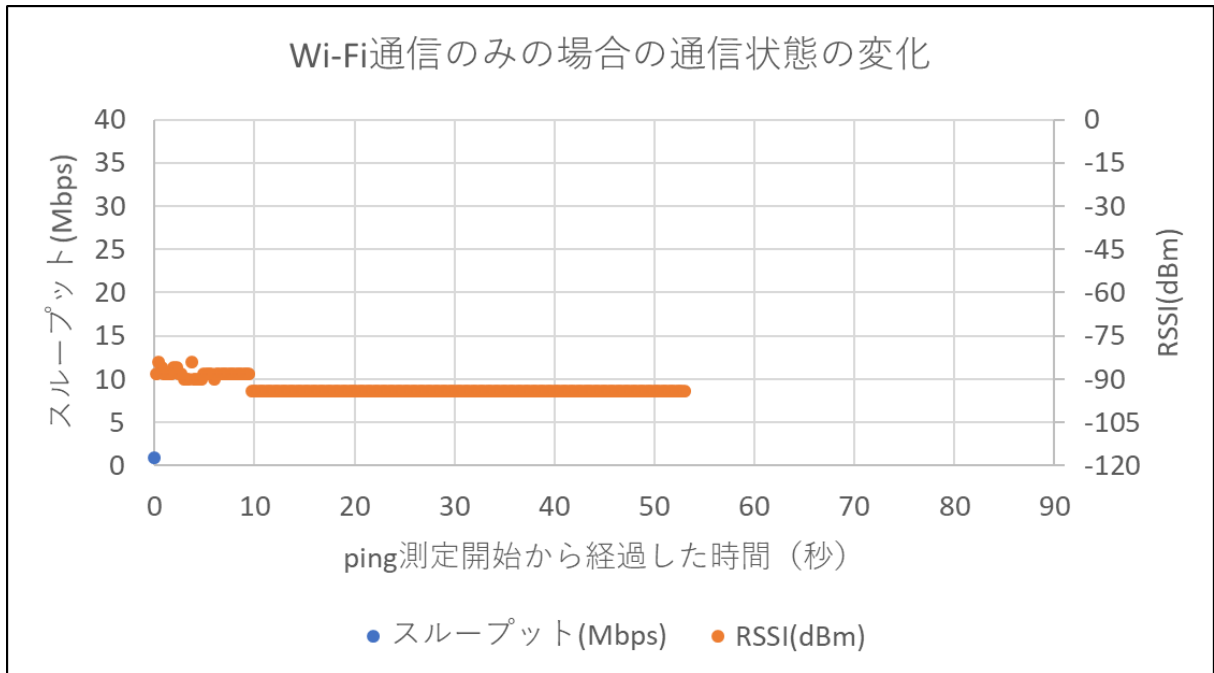


図 46 Wi-Fi 通信のみの場合の通信状態の変化#5

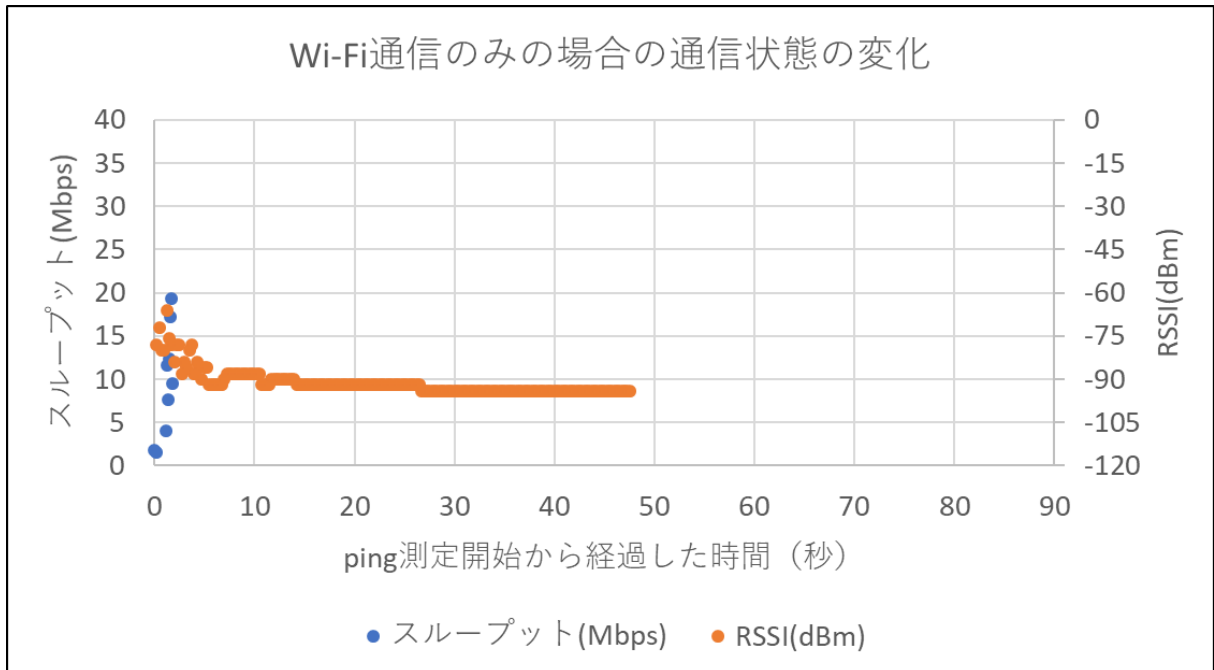


図 47 Wi-Fi 通信のみの場合の通信状態の変化#6

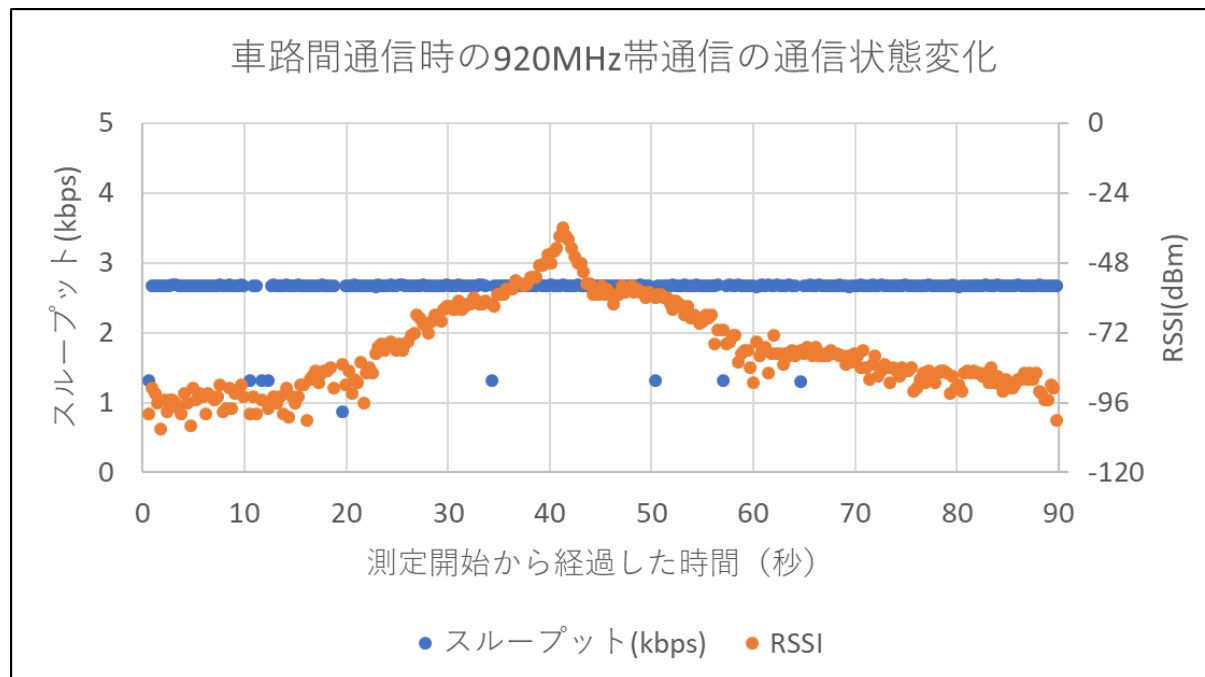
4.2.5 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化

この実験は、920MHz 帯通信の接続性や通信性能の検証のために行った。接続先情報共有の後、電界強度とスループットを約 120 秒間測定するプログラムを実行した。この実験は 4.2.6 節以降の実験と並行して行っているため、測定結果のグラフは 4.2.6 節以降のグ

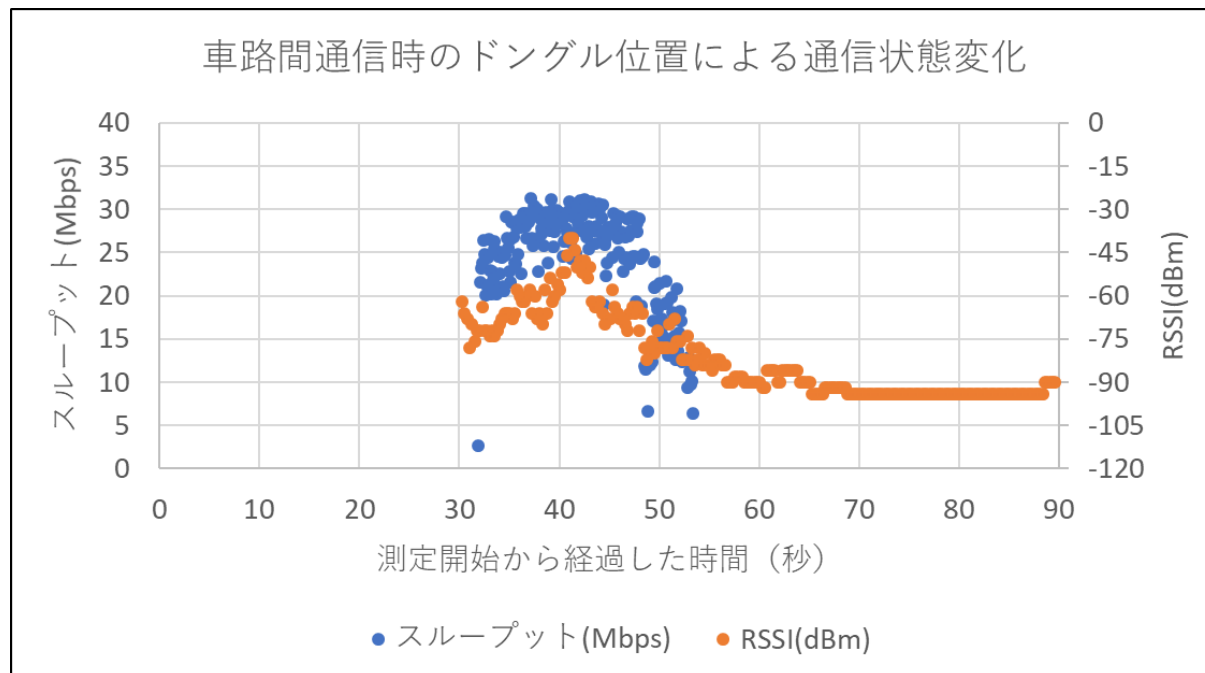
ラフと併せて示す．結果として，920MHz 帯通信は測定開始から終了まで終始接続は保たれており，距離によって電界強度は変化した，スループットはほぼ一定となっている．

4.2.6 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化

この実験は 3.7.1 節で提案したドングル選択方法が適切かどうか検証するために行った．ドングルは RIT に対して近い位置，遠い位置，屋根の上で測定を行った．測定項目として，実装したプログラムを用いて電界強度を，ping を使用してスループットをそれぞれ約 60 秒間測定した．車両は冬季以外の環境を想定し，時速 50km から 60km で走行している．結果として，RIT に対して近い位置のドングルを使用した際の通信状態変化について，RIT に対して近い車線を走行した場合を図 48 と図 49，RIT に対して遠い車線を走行した場合を図 50 と図 51 に，RIT に対して遠い位置のドングルを使用した際の通信状態変化について，RIT に対して近い車線を走行した場合を図 52 と図 53，RIT に対して遠い車線を走行した場合を図 54 と図 55 に，屋根の上のドングルを使用した際の通信状態変化について，RIT に対して近い車線を走行した場合を図 56 と図 57，RIT に対して遠い車線を走行した場合を図 58 と図 59 にそれぞれ示す．RIT に対して近い車線を走行した場合，RIT に対して近い位置のドングルを使用したほうが，他の位置のドングルを使用した場合よりも事前に Wi-Fi 接続を行うことができている．RIT に対して遠い車線を走行した場合，接続されるタイミングにほぼ違いはないが，RIT に接近したときに，RIT に対して近い位置のドングルを使用した場合以外では自車と対向車の車体が遮蔽物となるため，電界強度やスループットに影響が出ていると考えられる．よって，自車の車体の影響が出にくい，RIT に対して近い位置のドングルを使用することが適しており，提案したドングル選択方法が適していることを確認した．

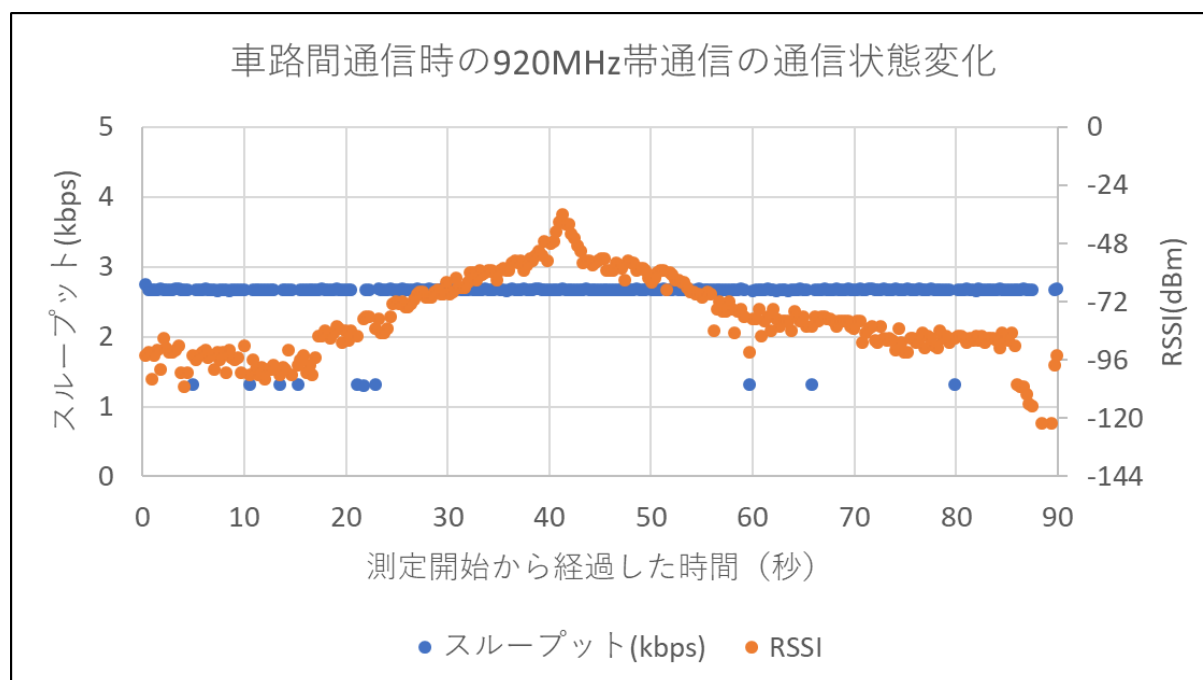


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#1

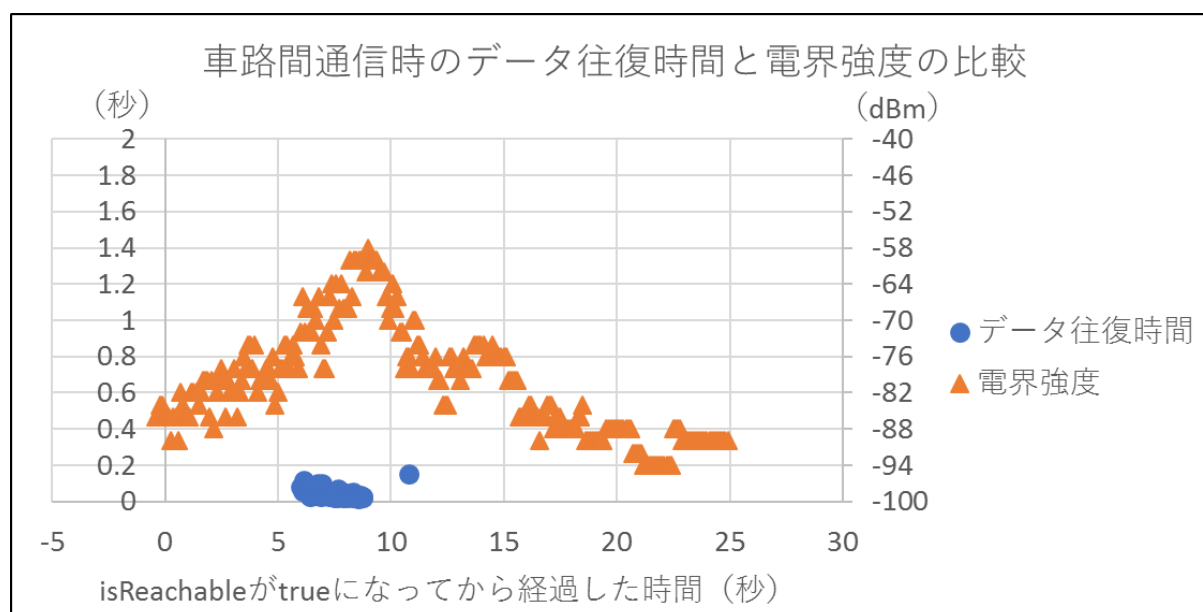


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#1

図 48 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#1

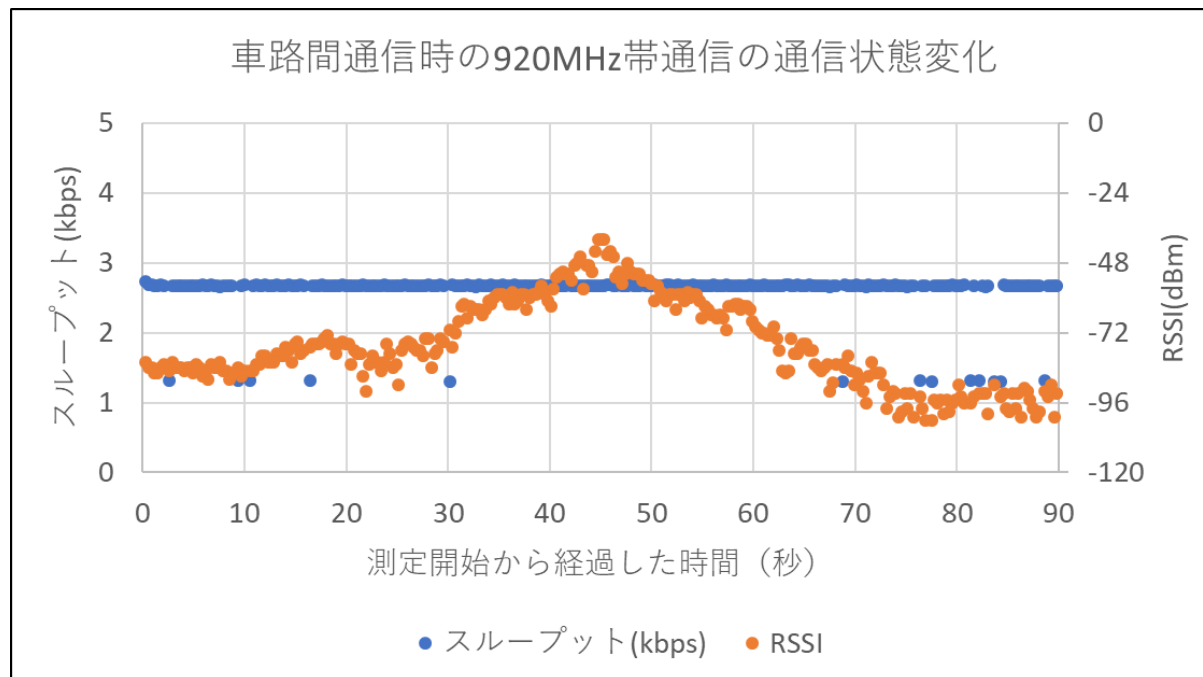


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#2

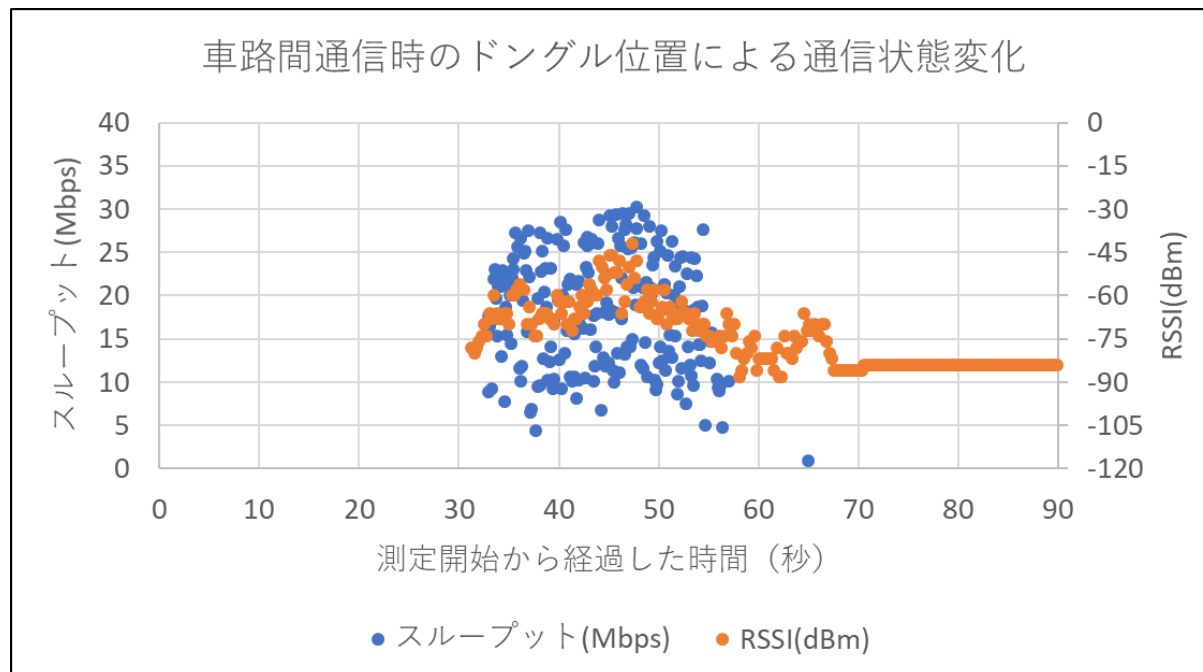


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#2

図 49 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#2

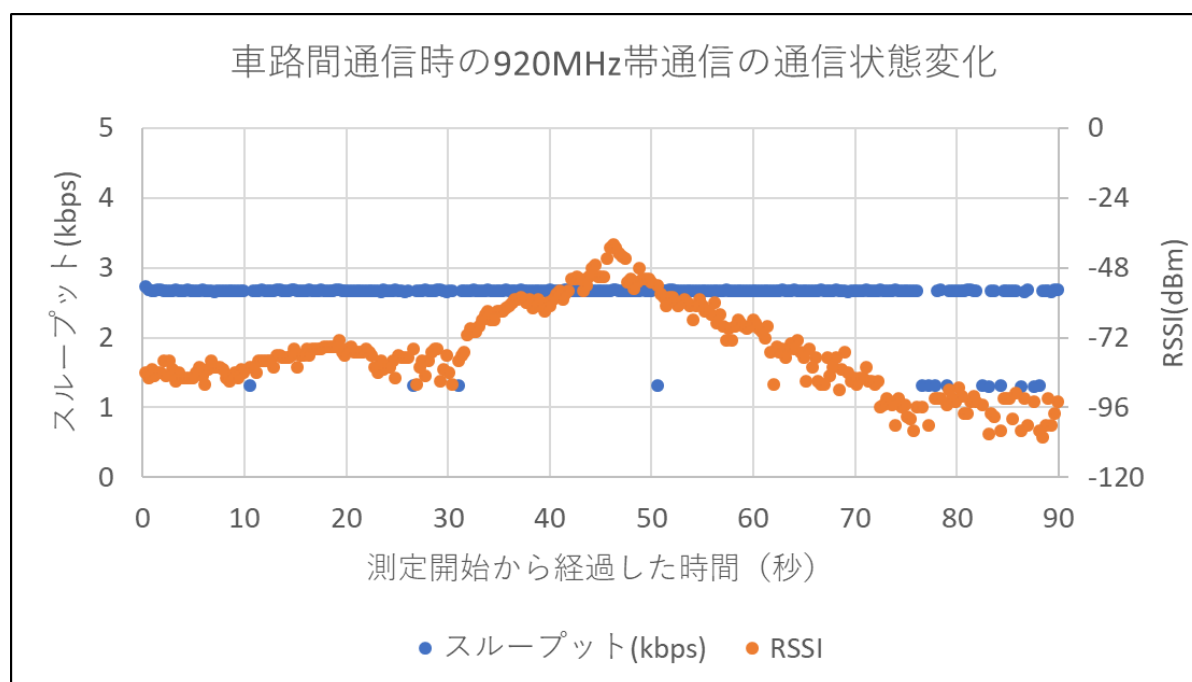


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#3

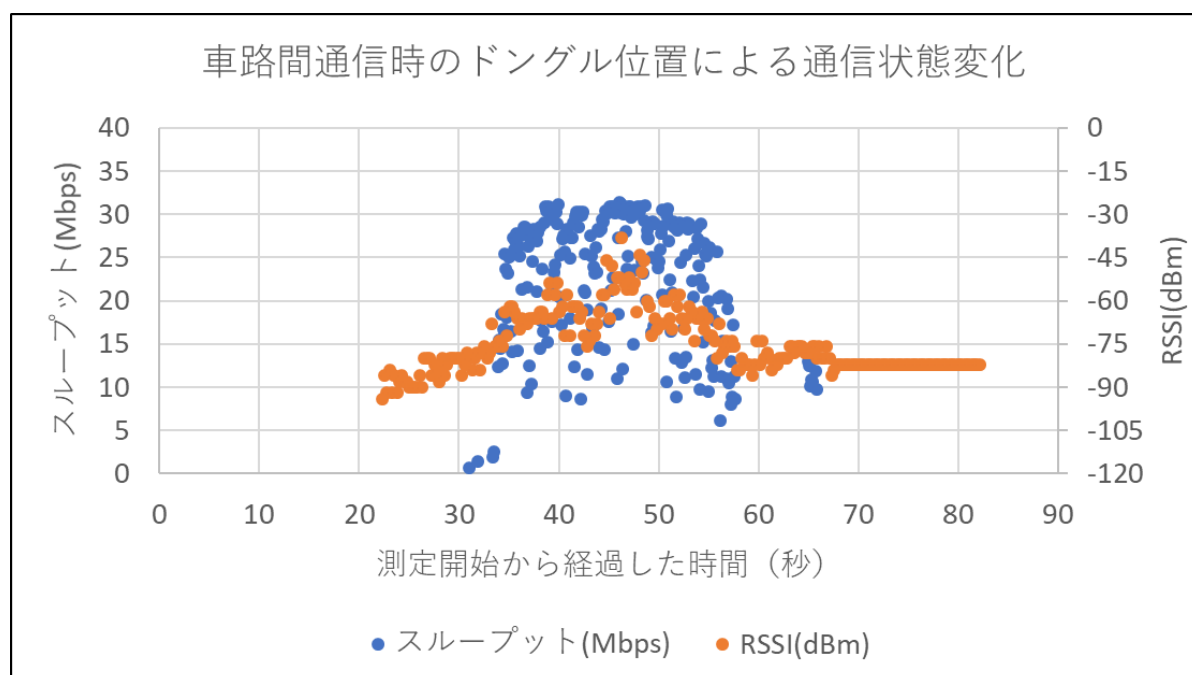


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#3

図 50 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#3

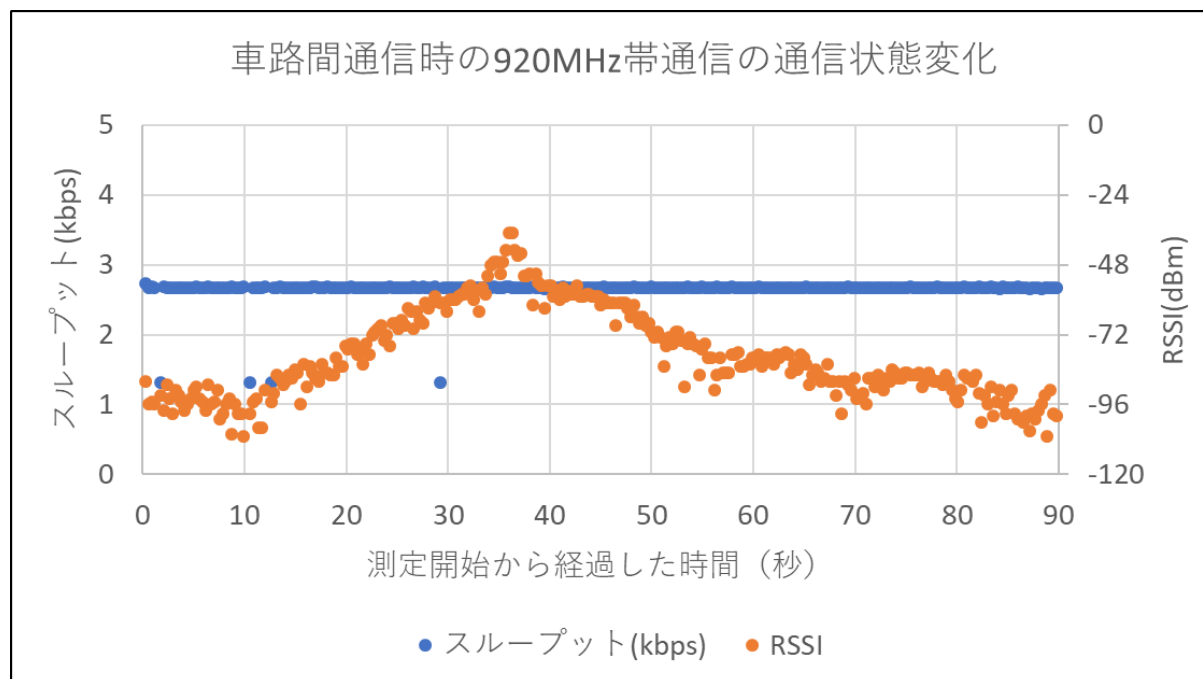


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#4

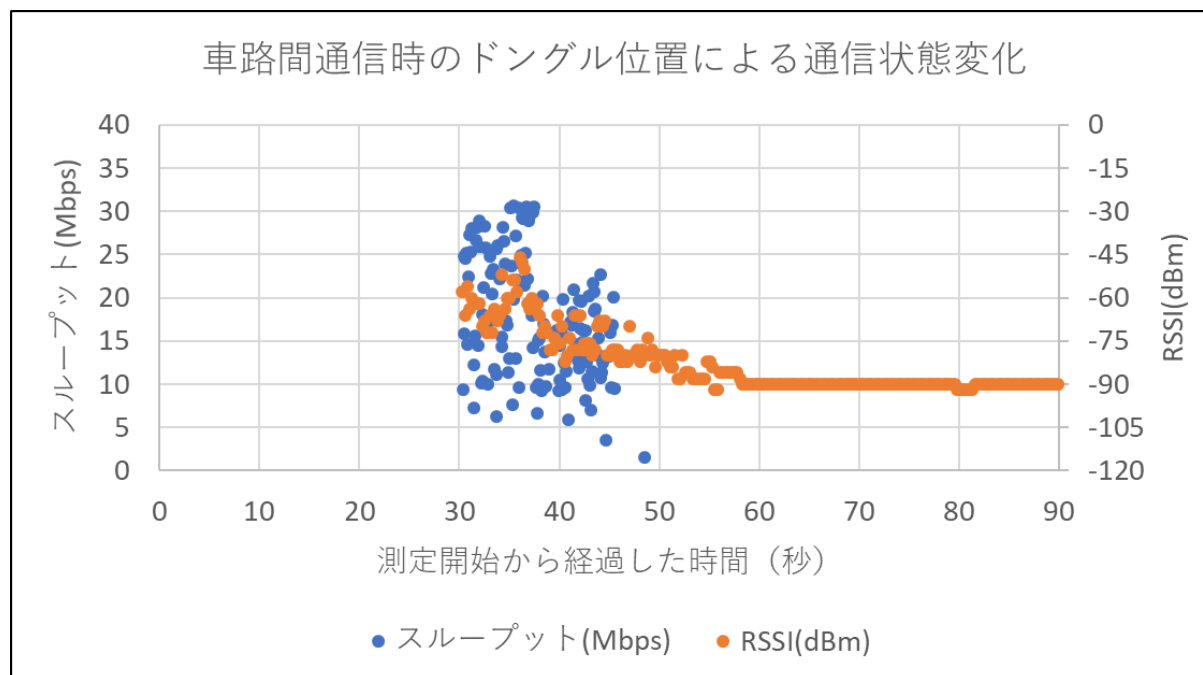


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#4

図 51 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#4

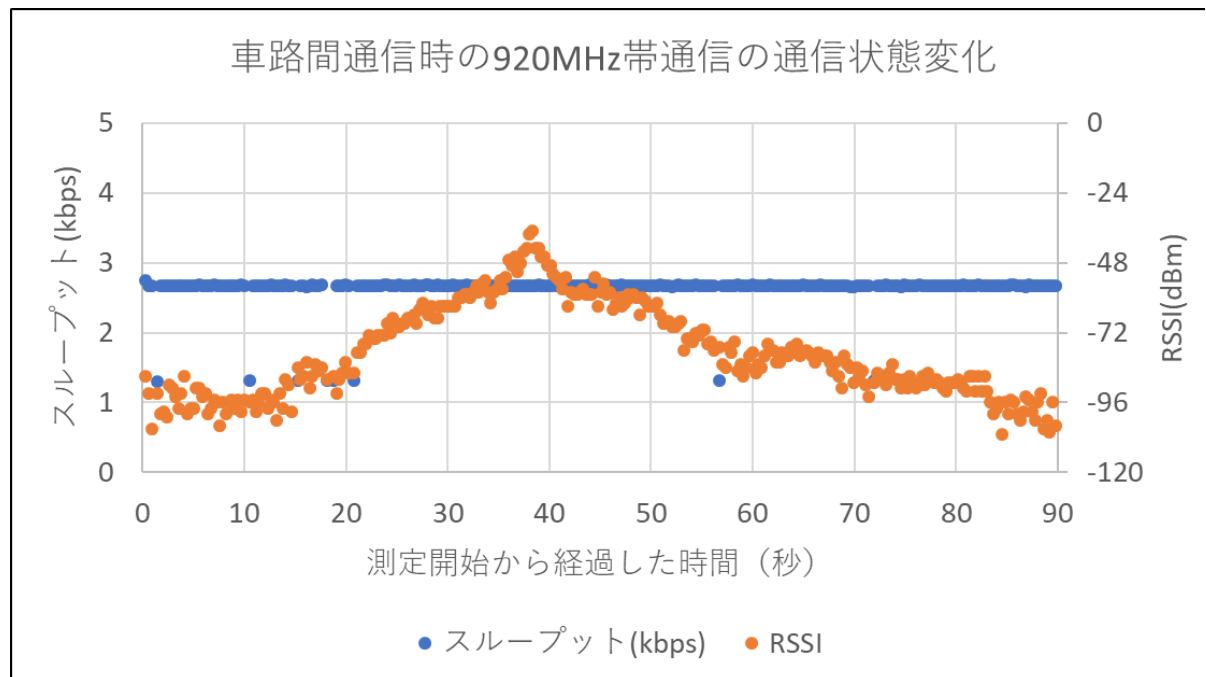


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#5

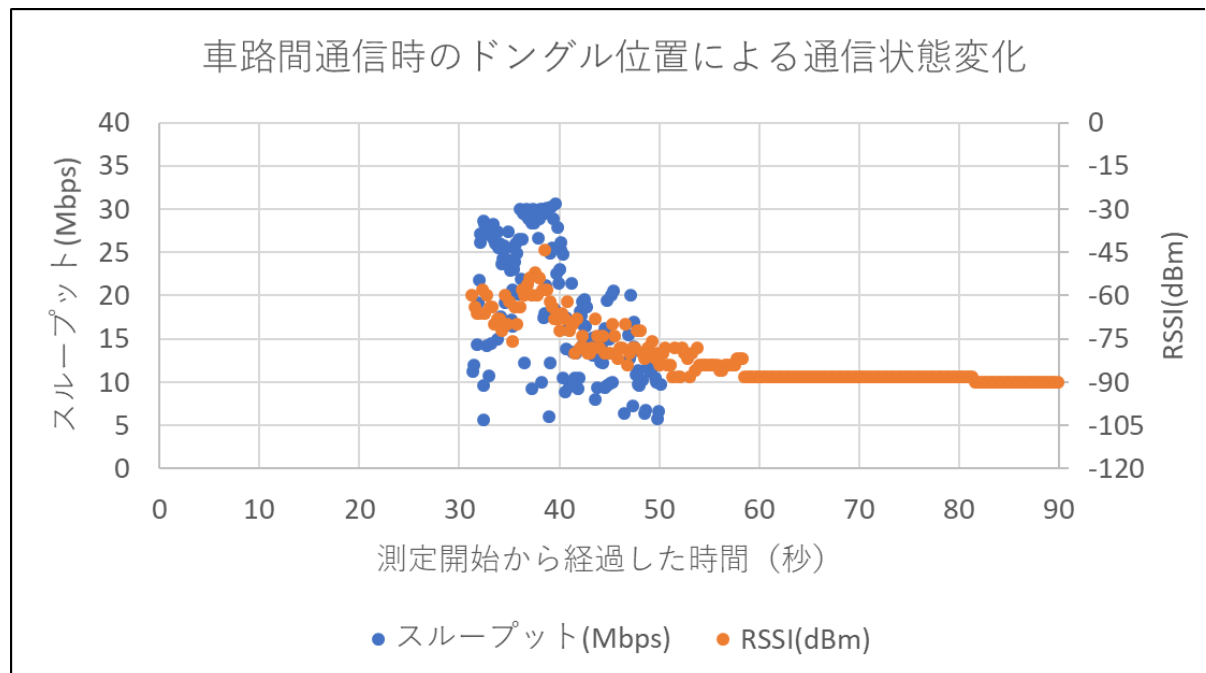


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#5

図 52 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#5

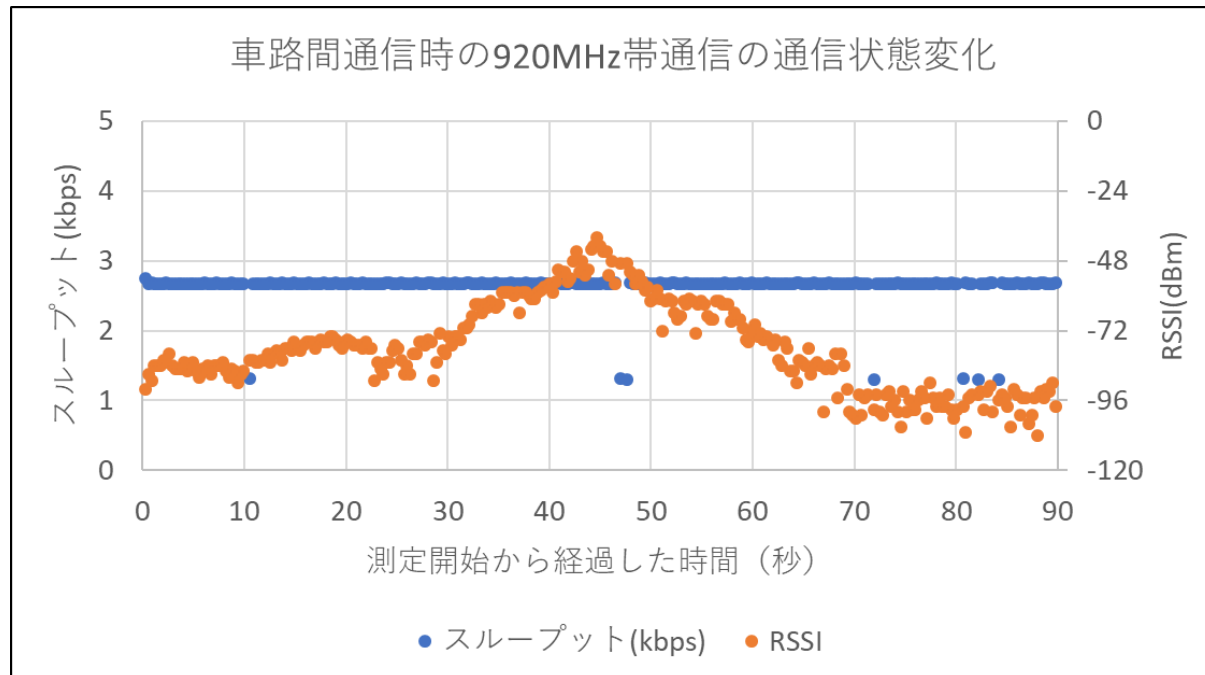


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#6

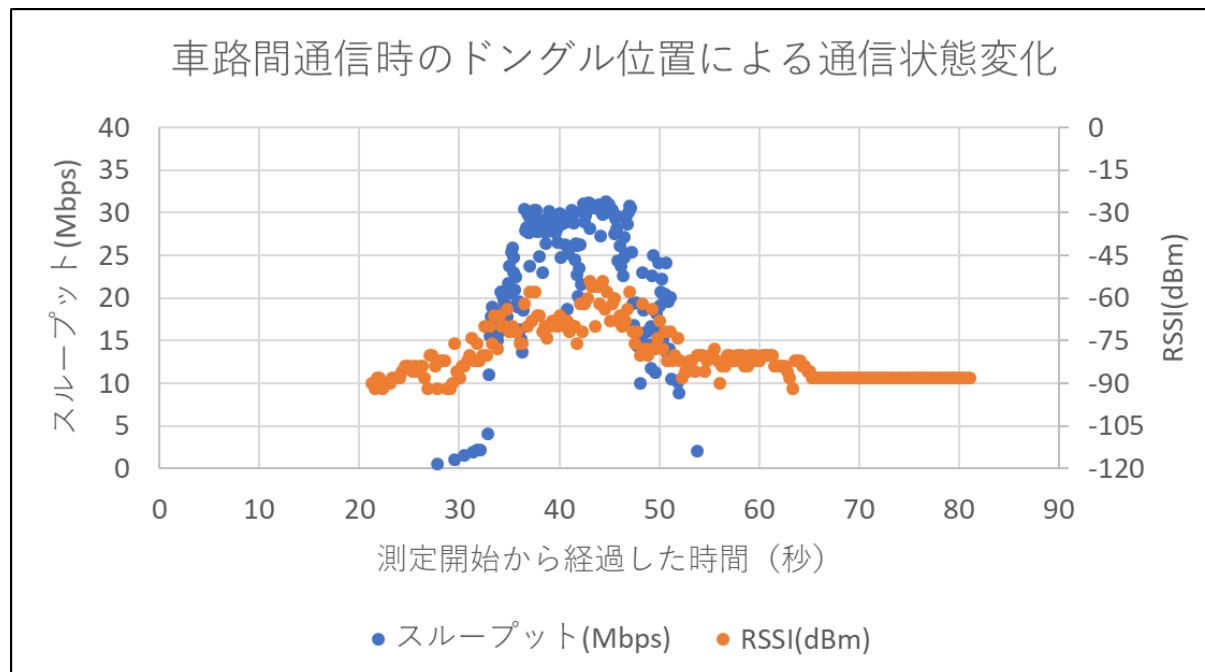


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#6

図 53 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#6

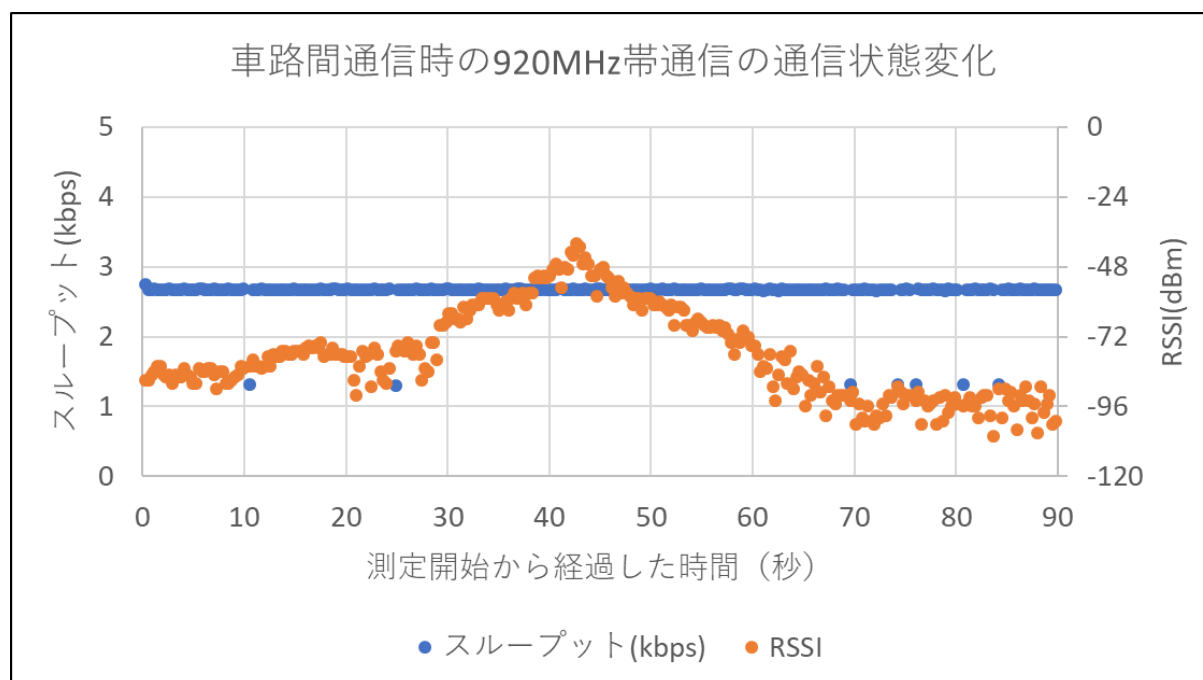


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#7

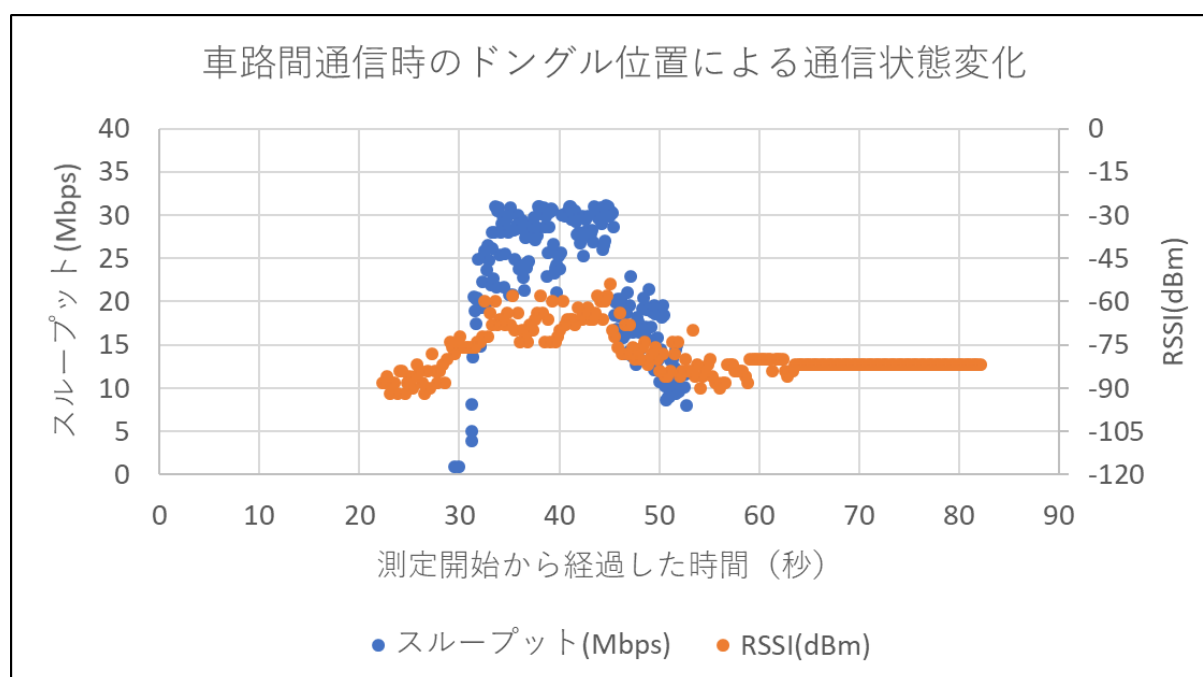


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#7

図 54 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#7

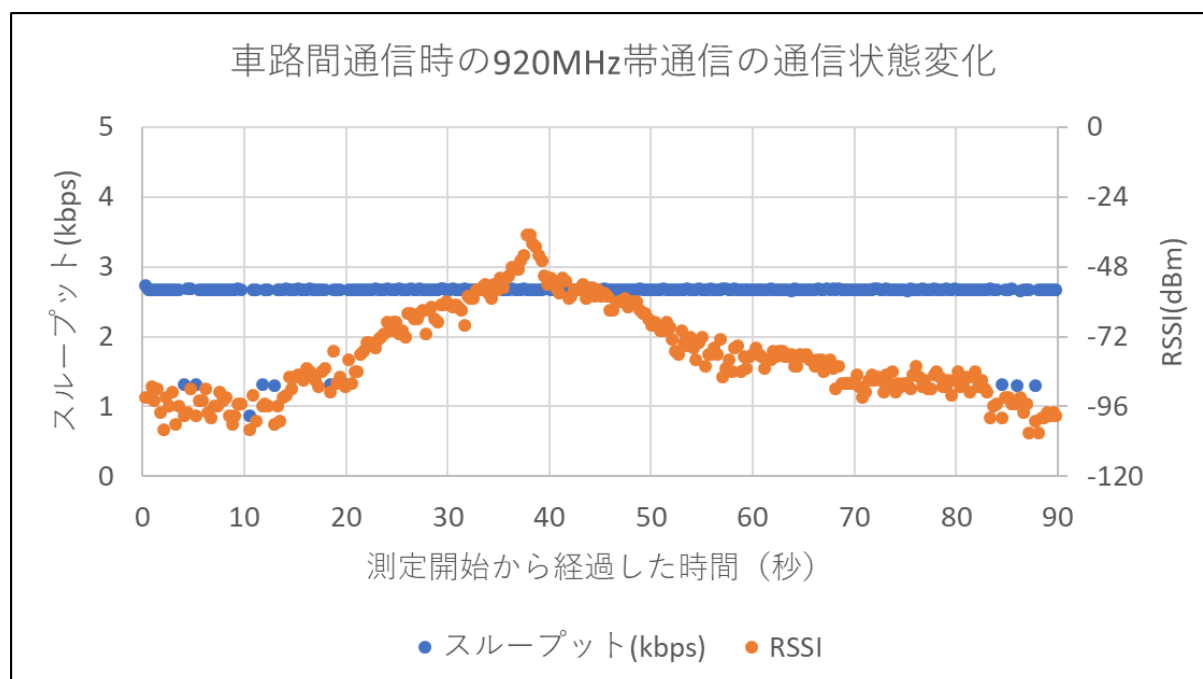


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#8

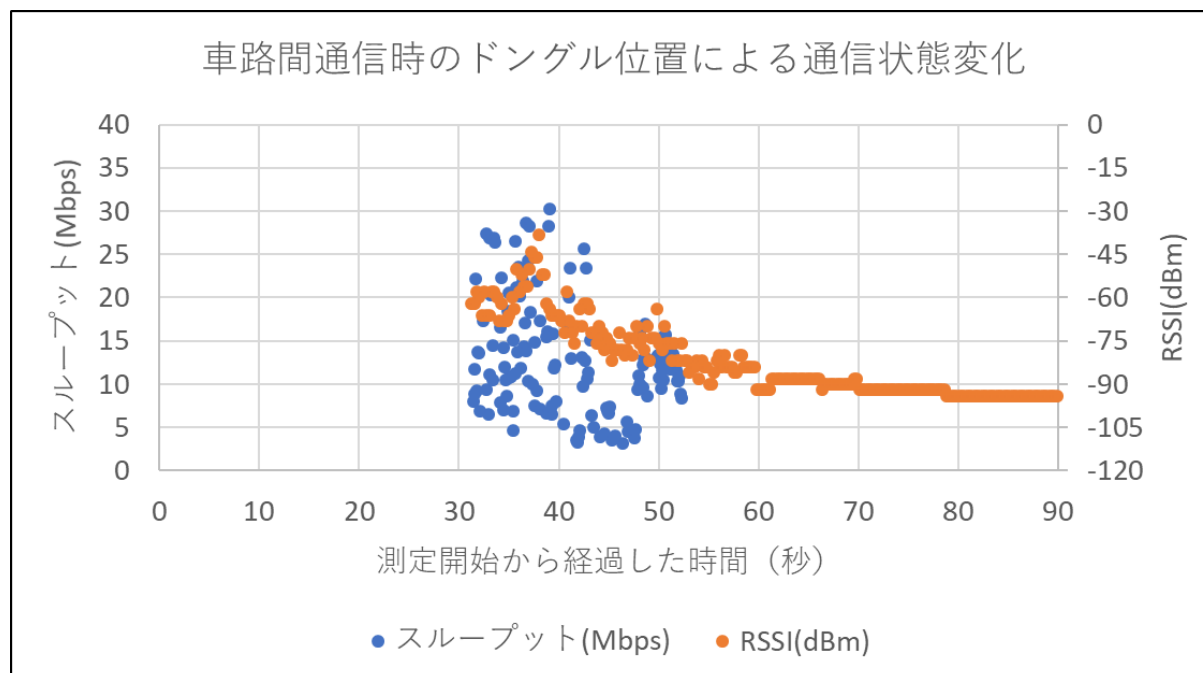


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#8

図 55 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#8

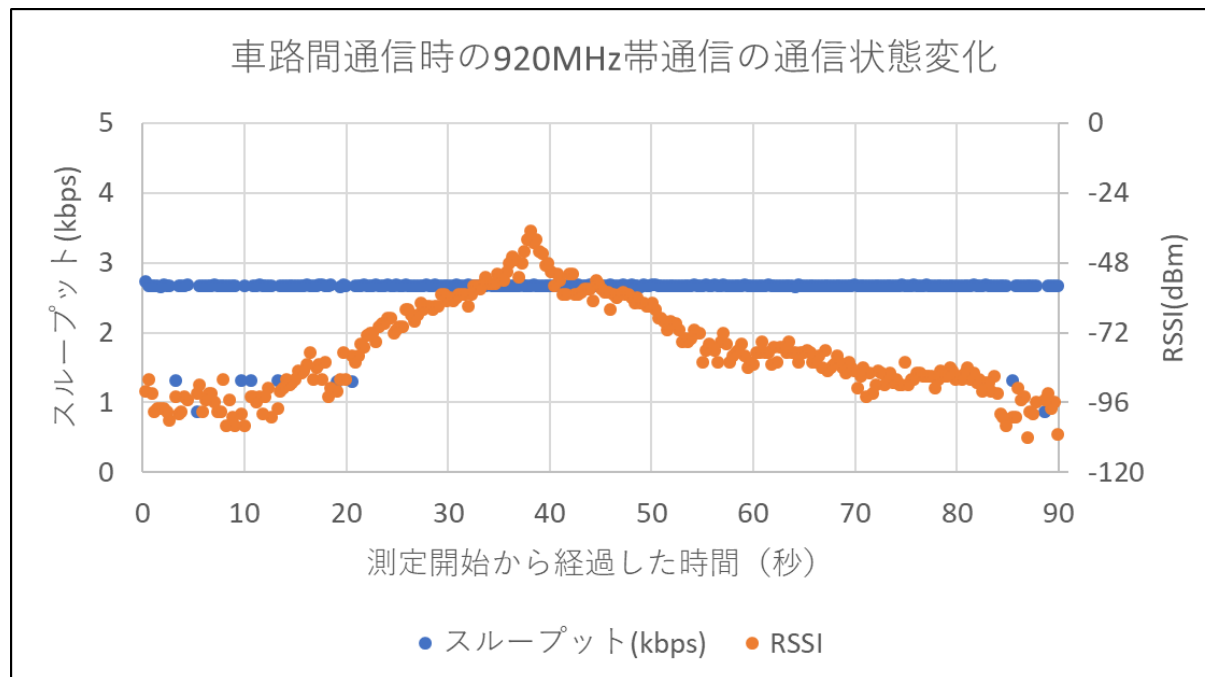


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#9

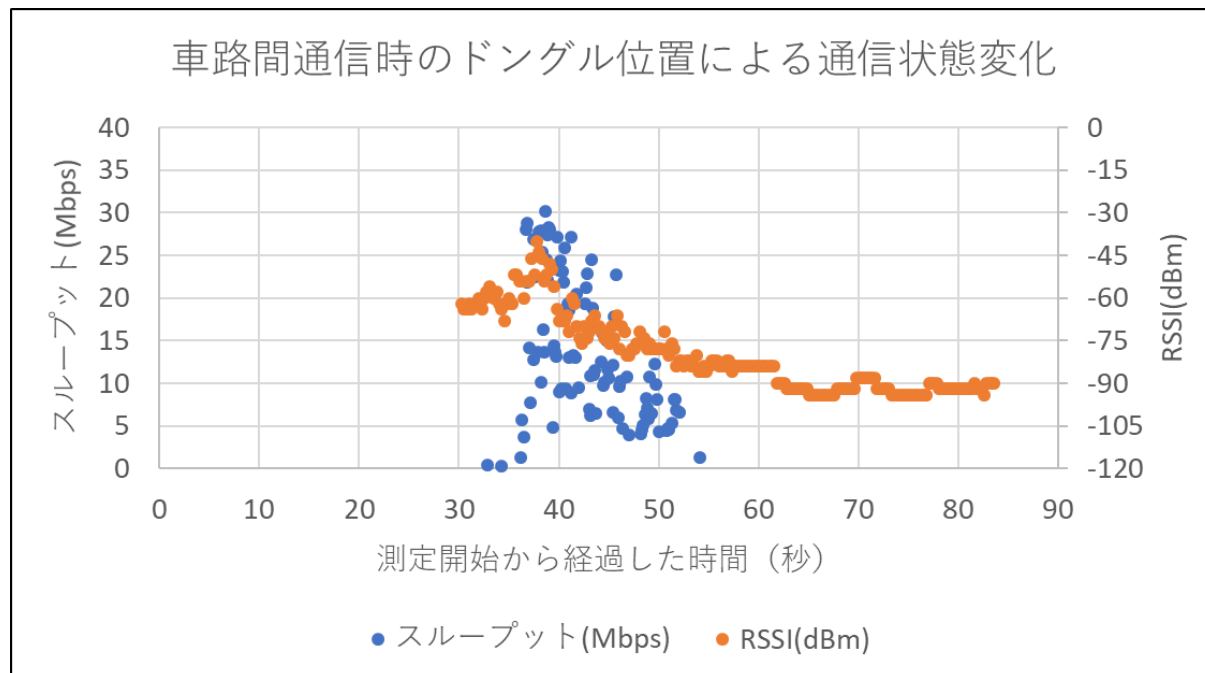


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#9

図 56 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#9

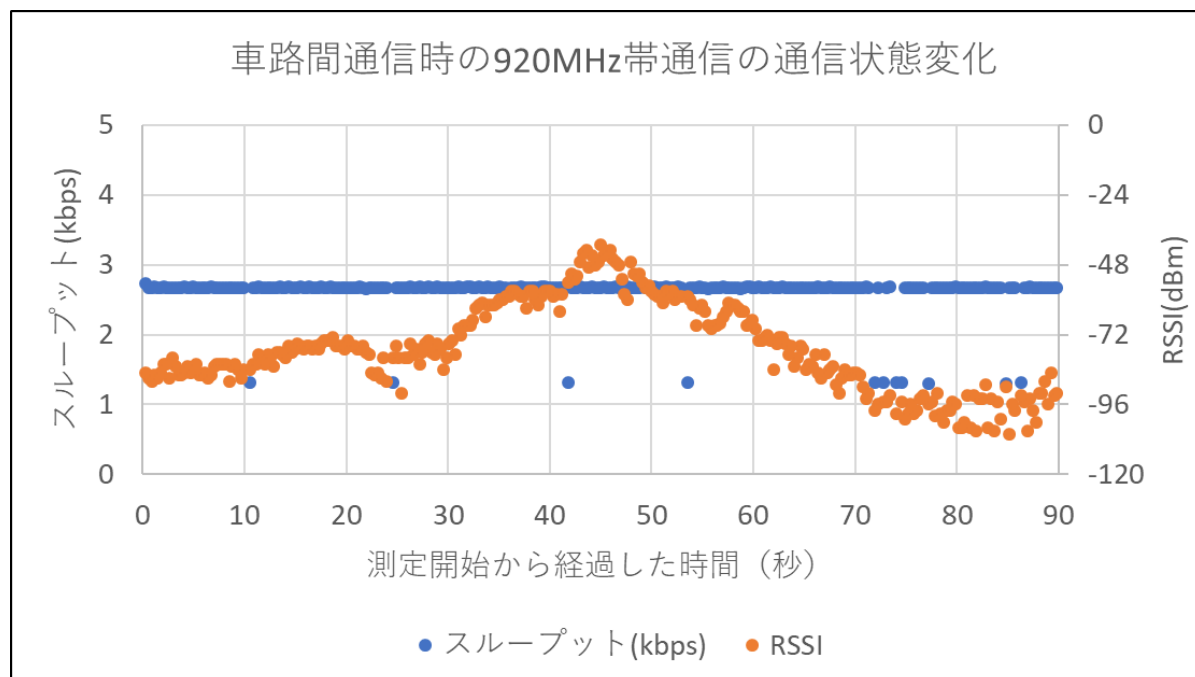


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#10

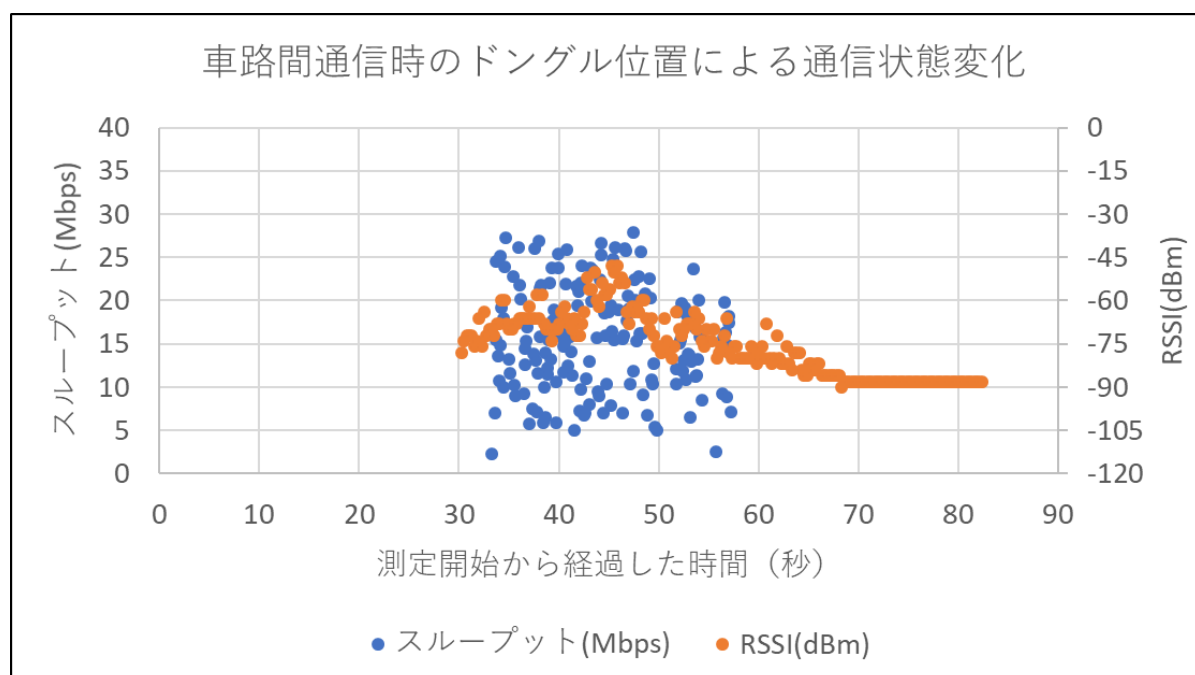


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#10

図 57 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#10

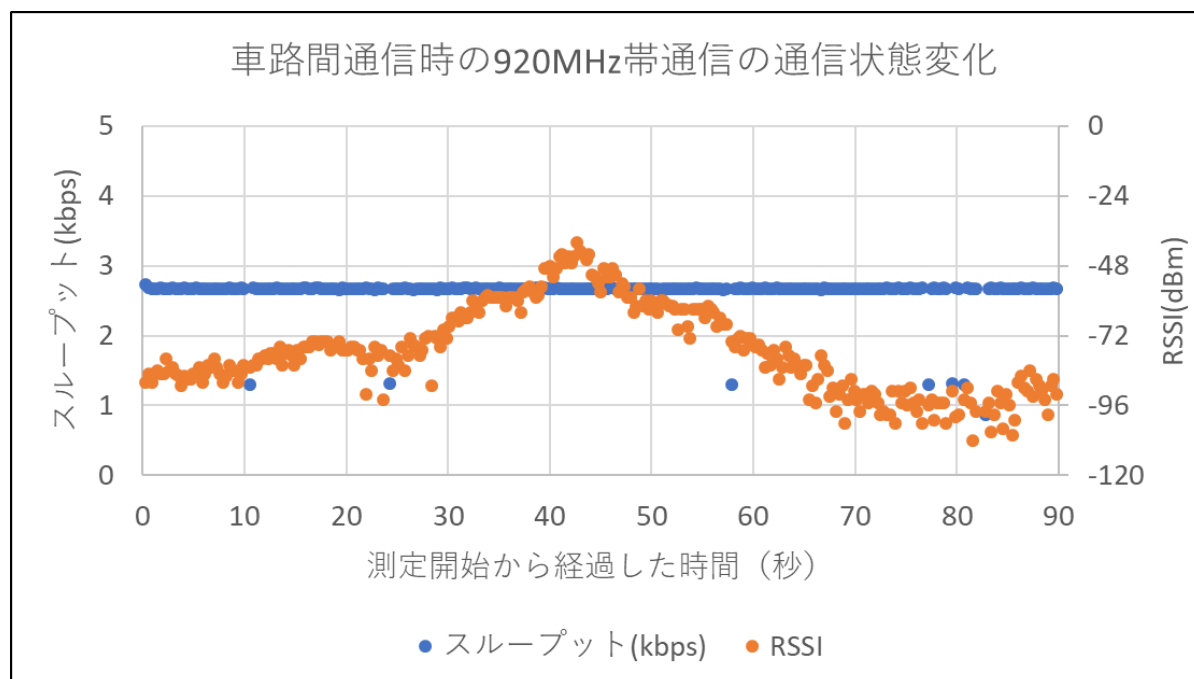


(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#11

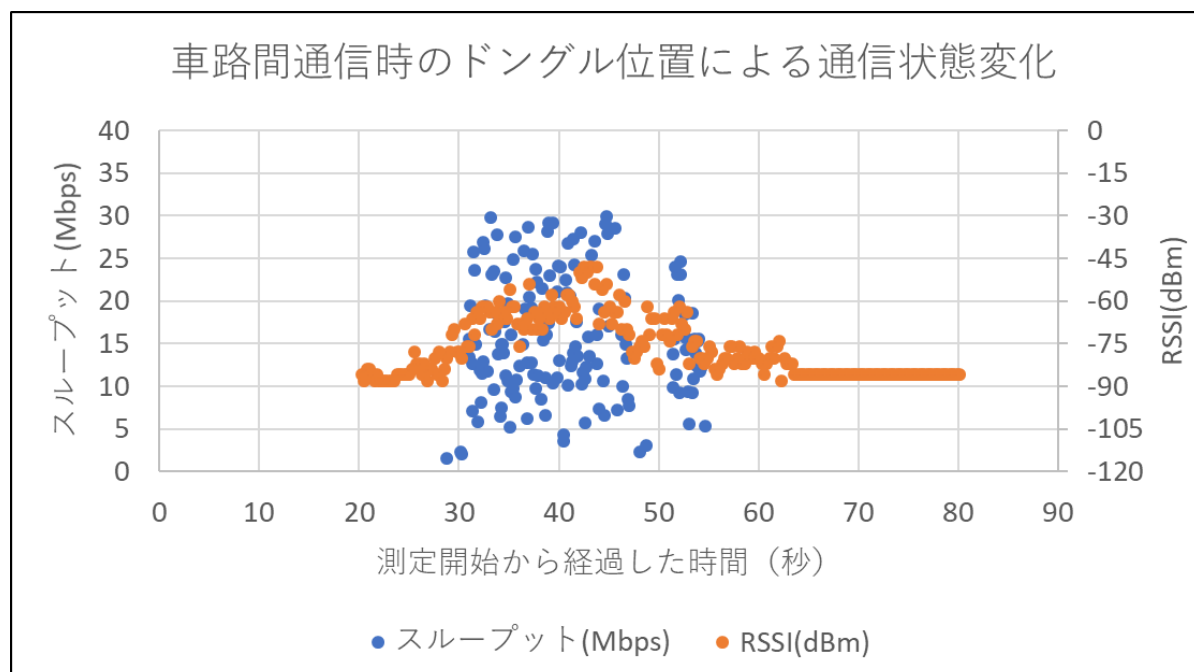


(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#11

図 58 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#11



(a) 車路間通信時の 920MHz 帯通信の通信状態変化#12



(b) 車路間通信時のドングル位置による通信状態変化#12

図 59 車路間通信時のドングル位置による Wi-Fi 通信の通信状態変化#12

4.2.7.2 波長通信の有無による比較

この実験は、Wi-Fi 通信のみの場合と比較し、2 波長通信を用いた車路間通信がどの程度有効か検証するために行った。ping を用いてデータ通信量とデータ通信可能距離について比較した。この実験では、車両は冬季以外の環境を想定し時速 50 キロから 60 キロで走

行している。データ通信量の比較を図 60 に、データ通信可能距離の比較を図 61 にそれぞれ示す。結果として、Wi-Fi 通信のみの場合に比べ、2 波長通信の方がデータ通信量、データ通信可能距離、安定性において優れ、920MHz 帯通信による接続情報の事前共有が有効であることを確認した。

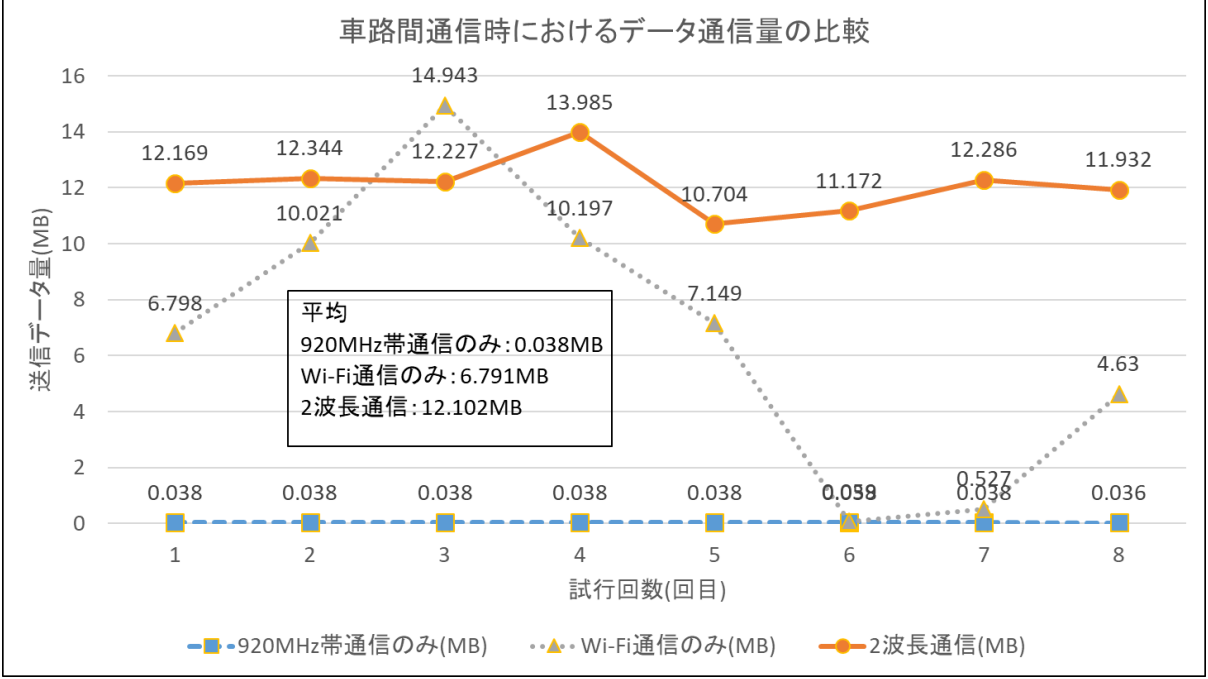


図 60 車路間通信時における 2 波長通信の有無によるデータ通信量の比較

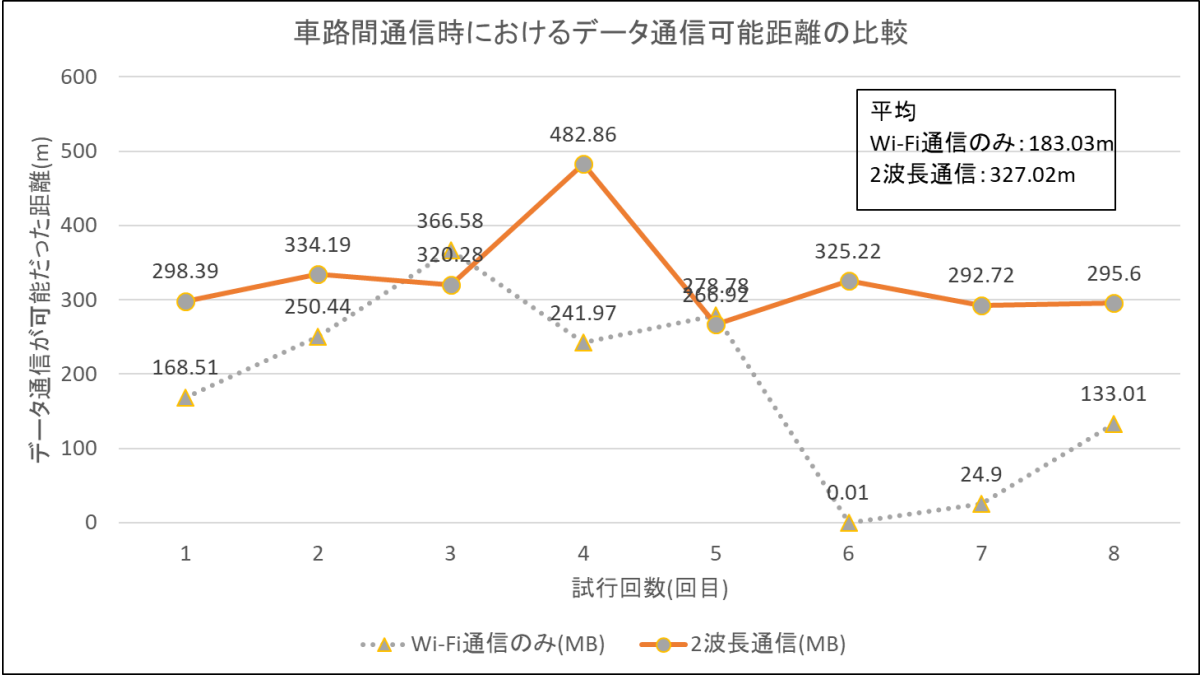


図 61 車路間通信時における 2 波長通信の有無によるデータ通信可能距離の比較

4.2.82 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送

この実験は、2 波長インフラストラクチャーモードを用いてどの程度のデータ転送を行うことができるか検証するために行った。センサ情報等が格納されていると仮定したファイルを用い、FTP によってデータ転送を行った。ファイルサイズは表 1 に示した想定する共有データから選択した。FTP によるデータ転送を用いて、想定したファイルを転送しきることができたかどうか、転送できた場合の経過時間はどの程度か、転送できなかった場合はどの程度の経過時間でどの程度のデータを転送することができたかをそれぞれ測定する。そのほかの測定項目として、920MHz 帯通信の総データ転送量と電界強度、Wi-Fi 通信の電界強度をそれぞれ実装したプログラムを使用し測定した。この実験では、車両は冬季以外の環境を想定し時速 50km から 60km で走行している。想定したファイルを転送できた場合の通信状態の変化を図 62 から図 66 に、想定したファイルを転送できなかった場合の通信状態の変化を図 67 と図 71 にそれぞれ示す。結果として、本実験環境における現在の冬季以外の環境を想定した車両速度では、平均 40MB 程度のデータ転送が可能だということを確認した。車両速度や通信接続確立が影響し転送データ量が変化すると考えられる。

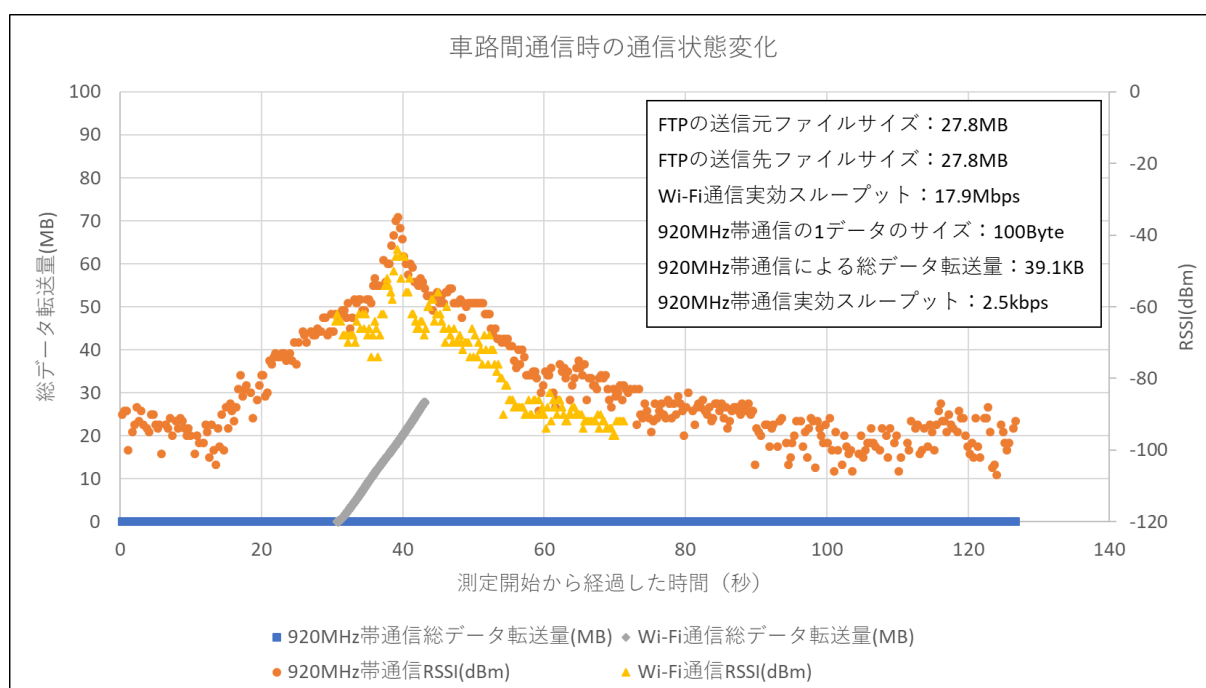


図 62 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#1

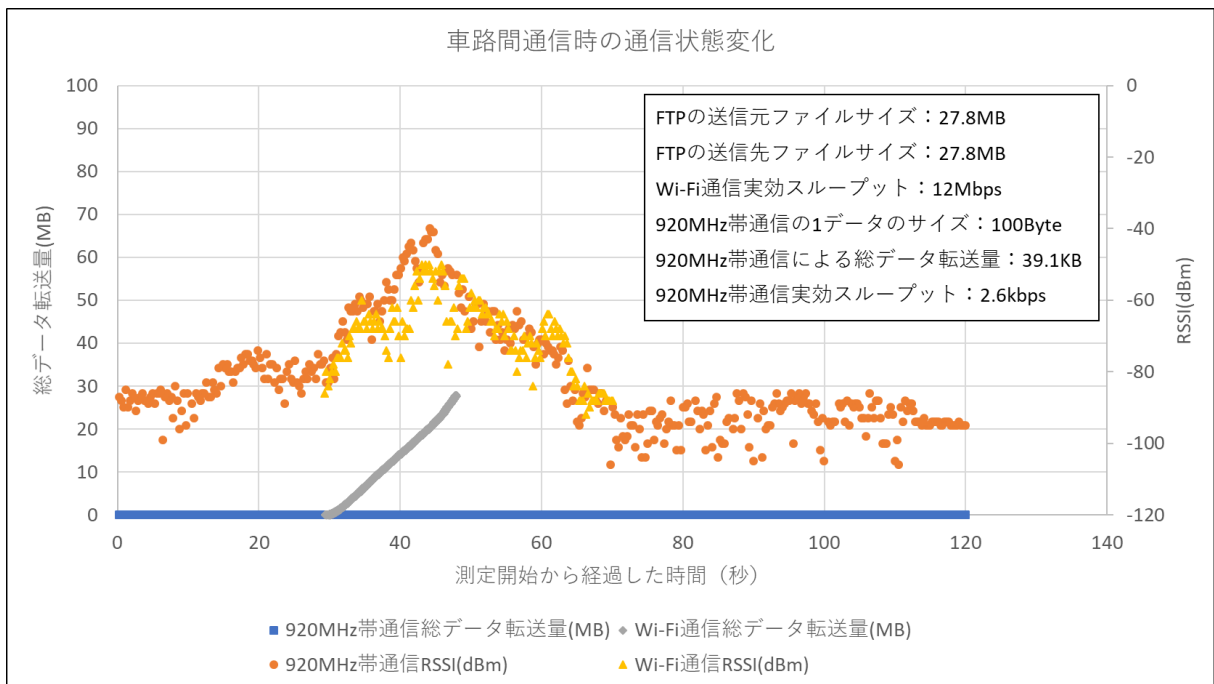


図 63 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#2

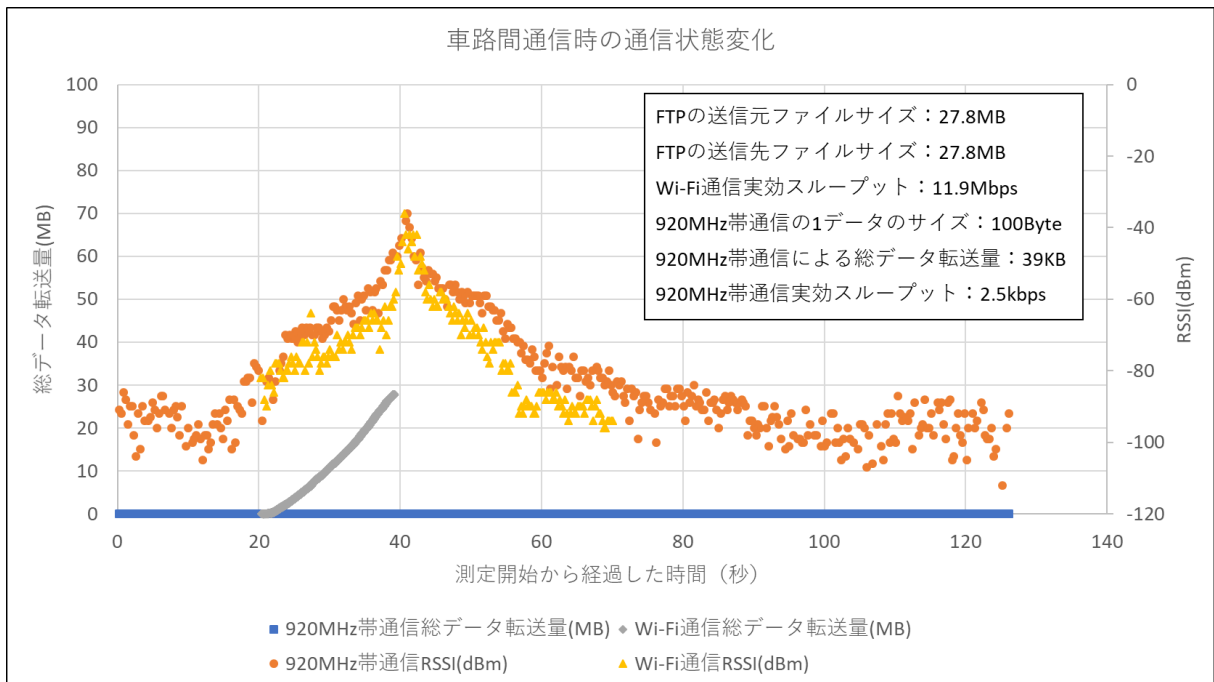


図 64 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#3

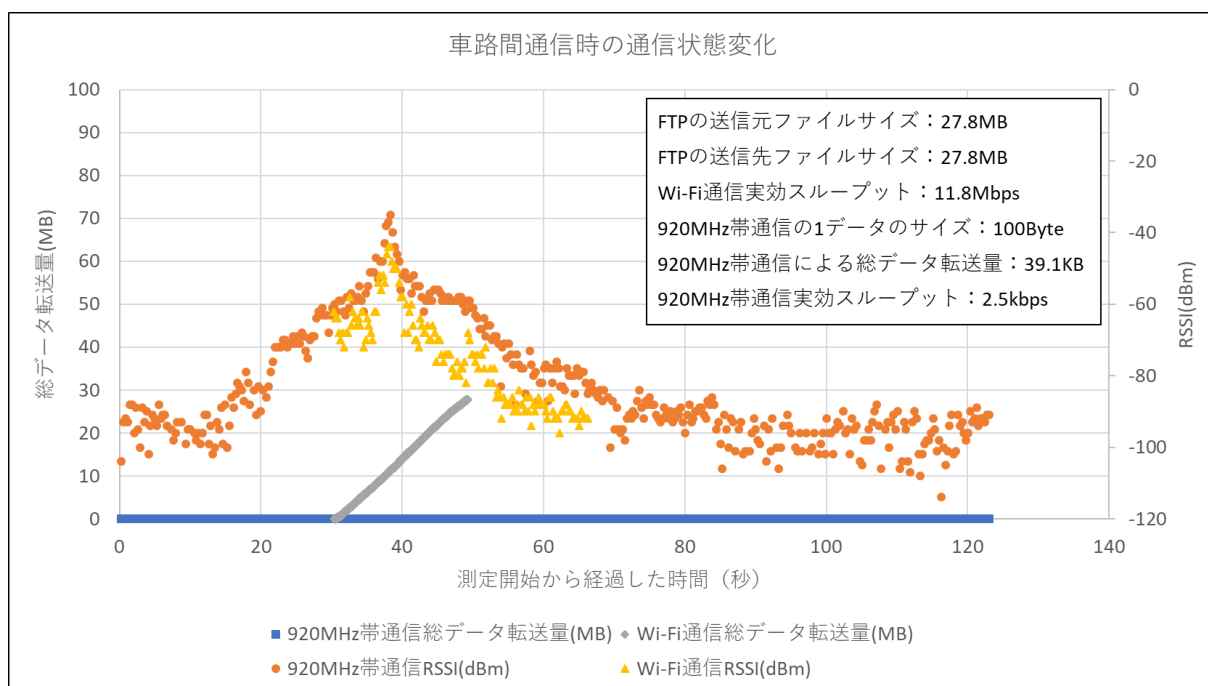


図 65 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#4

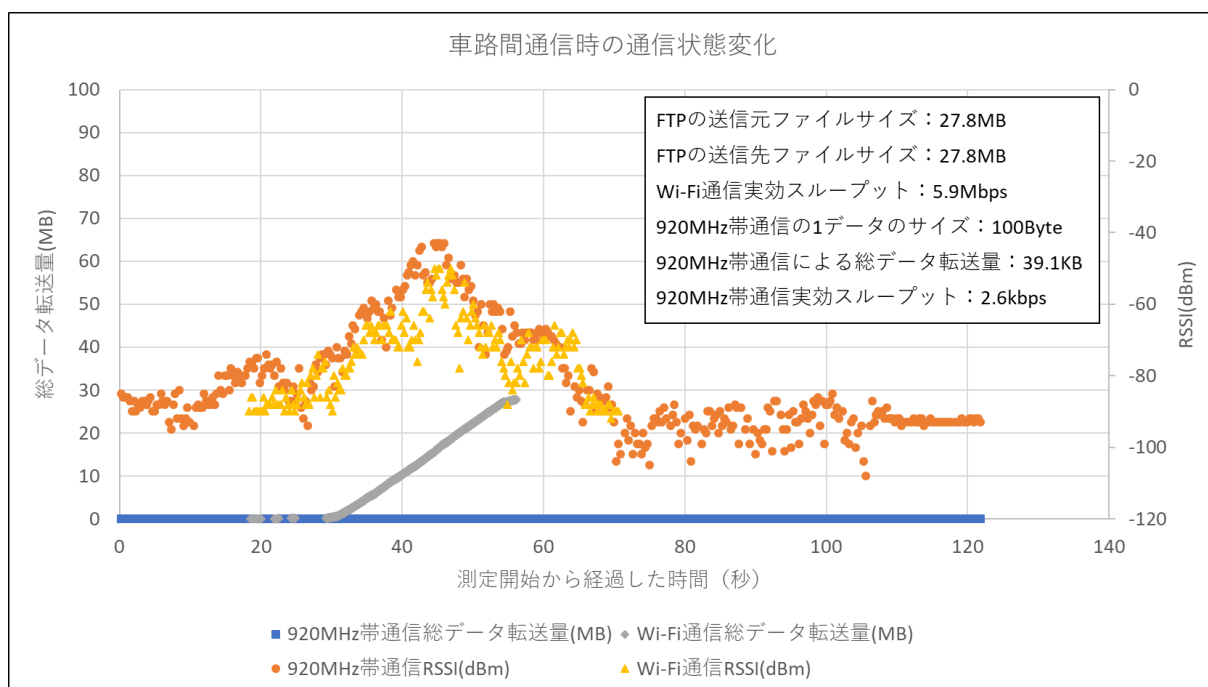


図 66 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#5

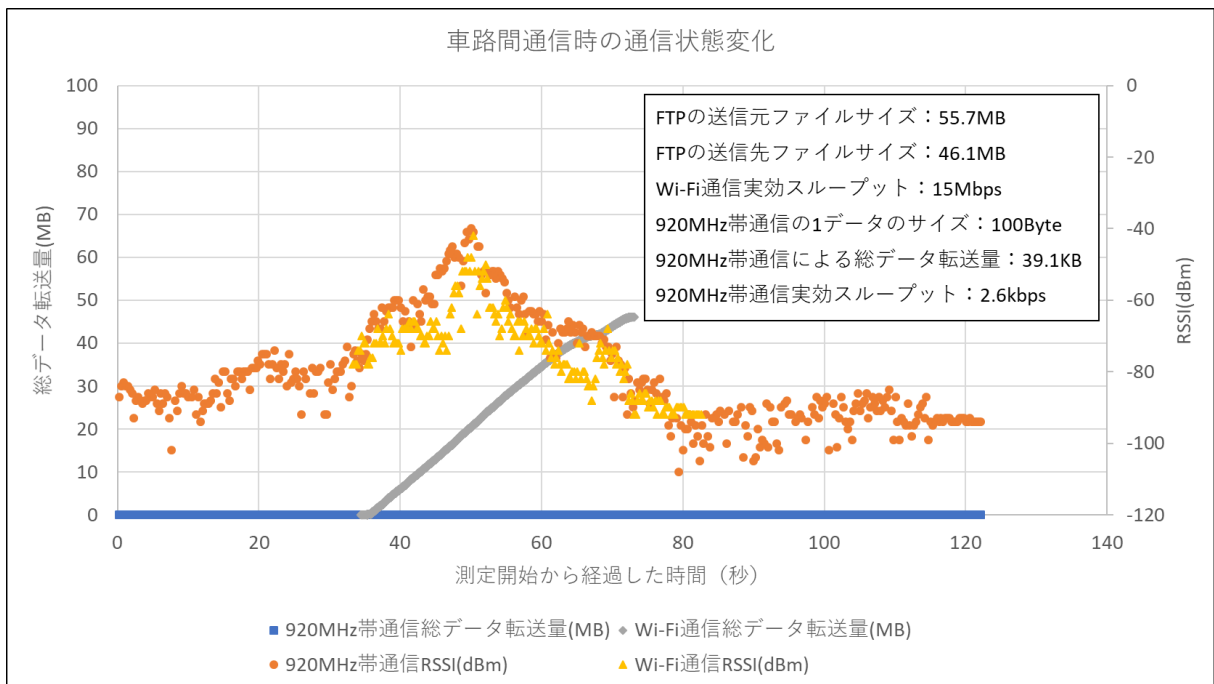


図 67 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#6

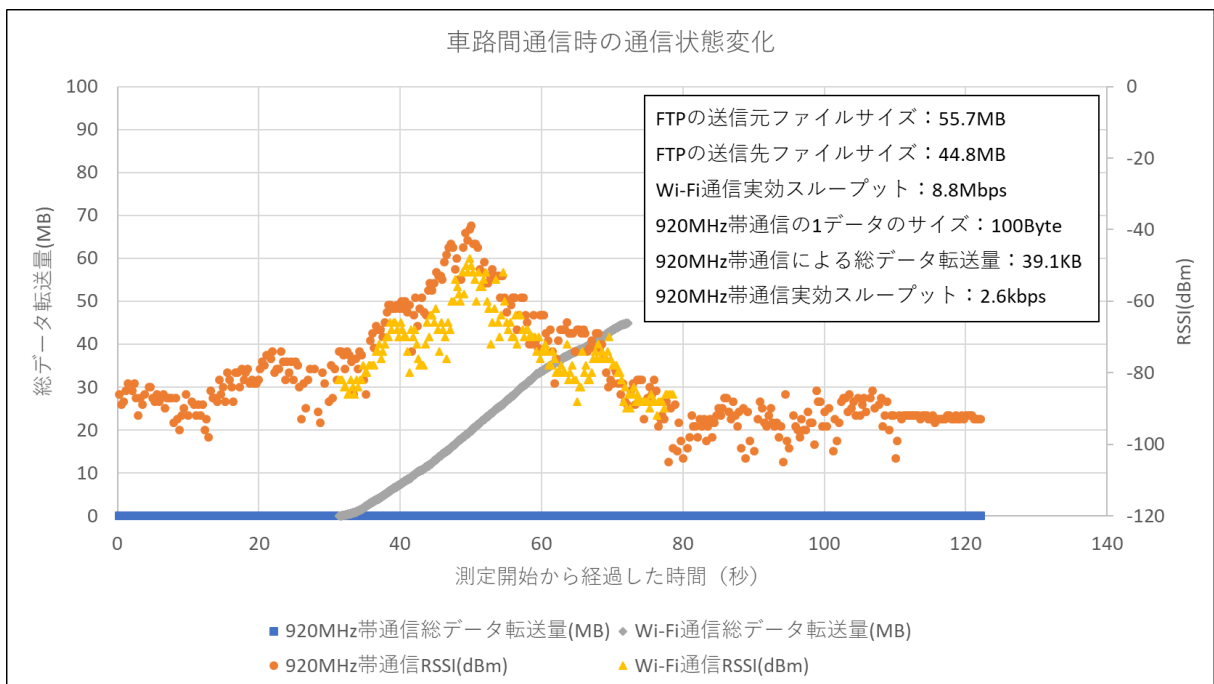


図 68 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#7

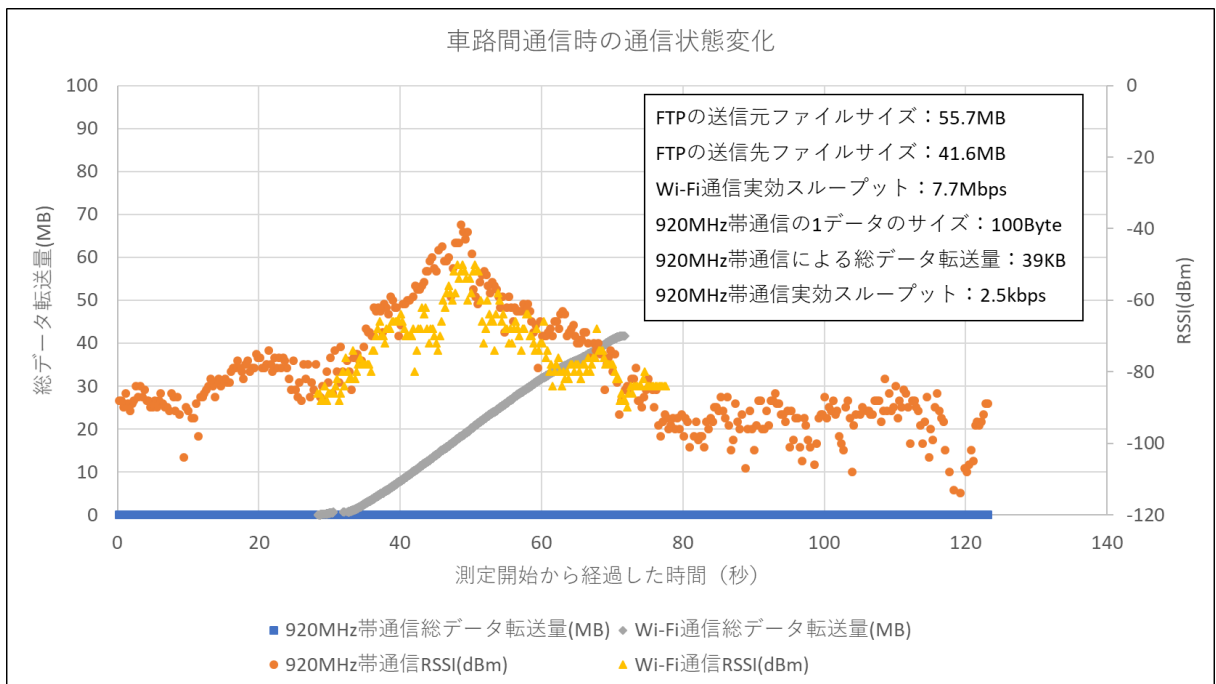


図 69 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#8

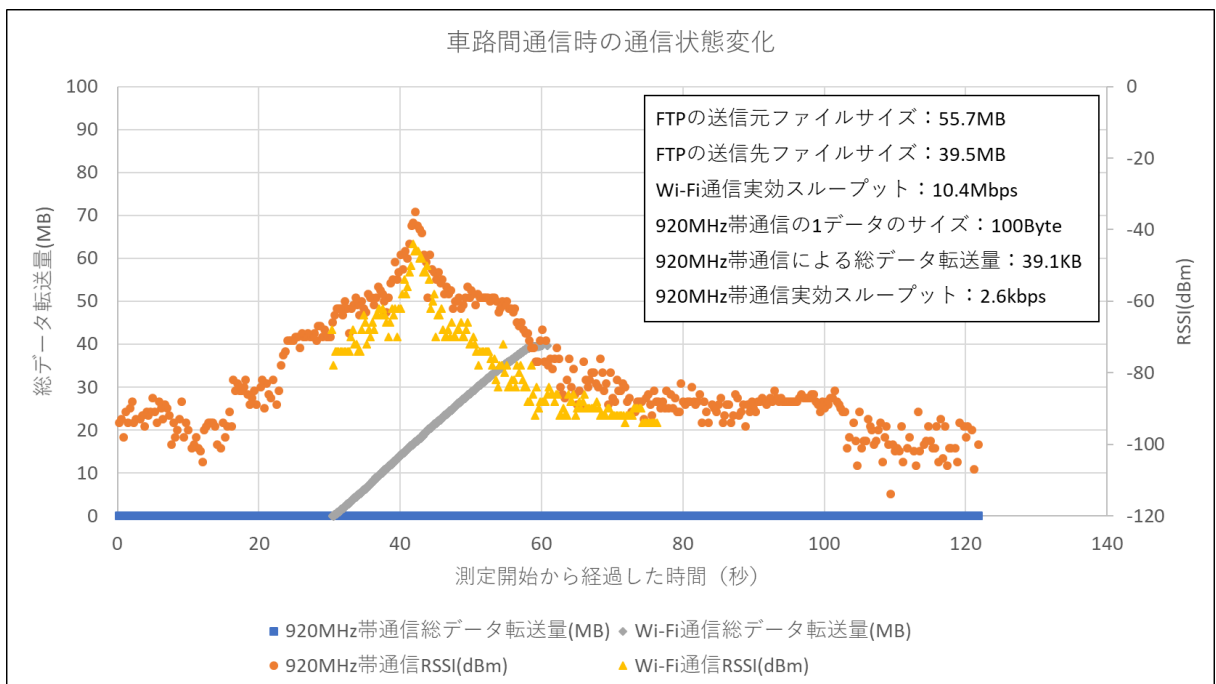


図 70 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#9

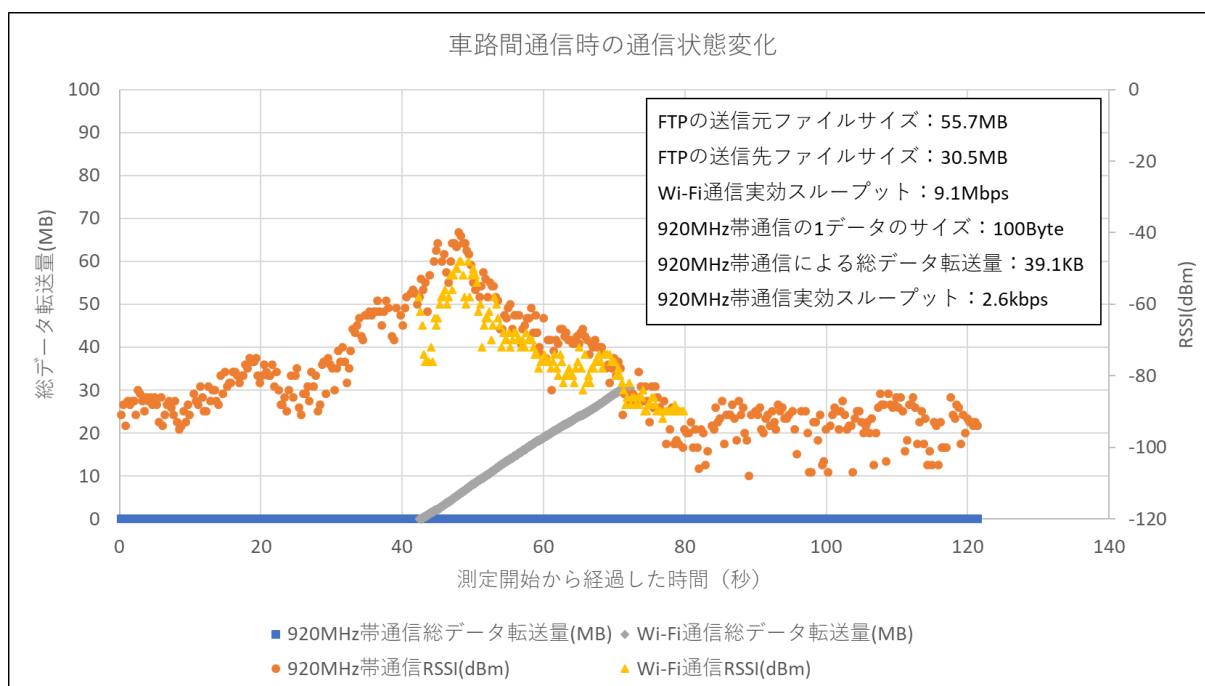


図 71 2 波長インフラストラクチャーモードによるデータ転送#10

4.2.9 2 波長アドホックモードによるデータ転送

この実験は、前節と同様の実験を車車間通信の環境で行い、2 波長アドホックモードが車車間通信に有効かどうか検証するために行った。前節の実験と同じプログラムを使用した。この実験では、各車両は時速 10 キロ、時速 20 キロ、時速 30 キロ、時速 40km で走行しており、相対速度はそれぞれ時速 20 キロ、時速 40 キロ、時速 60 キロ、時速 80km となっている。実験環境について、時速 30 キロと時速 40 キロの場合は図 36、時速 10 キロと時速 20 キロの場合は図 72 に示す環境でそれぞれ実験を行った。時速 40 キロで走行した際の車車間通信時の通信状態の変化を図 73 から図 76 に、各速度の実験結果のまとめを表 3 にそれぞれ示す。結果として、速度を遅くしたほうが Wi-Fi 通信による車車間通信が確立する可能性が高いことを確認した。車両速度が時速 10 キロの場合、全ての試行において Wi-Fi 通信が確立され、平均 15.9MB のデータ通信を行うことができた。車両速度が時速 20 キロの場合、Wi-Fi 通信接続が確立しデータ通信を行えた試行もあったが、Wi-Fi 通信接続のみ行われた試行や Wi-Fi 通信接続が行われなかった試行もあった。Wi-Fi 通信接続のみ行われた試行は車両同士が完全にすれ違ってから通信接続が確立されており、データ通信まで行えなかったと考えられる。時速 30 キロの場合、Wi-Fi 通信接続が確立しデータ通信を行えた試行もあったが、Wi-Fi 通信接続が行われなかった試行もあった。時

速 40 キロの場合，Wi-Fi 通信を確立することはできなかった．一方で，920MHz 帯通信による通信は可能であり，そのデータ転送量は約 25KB である．



図 72 本研究における実験環境#2

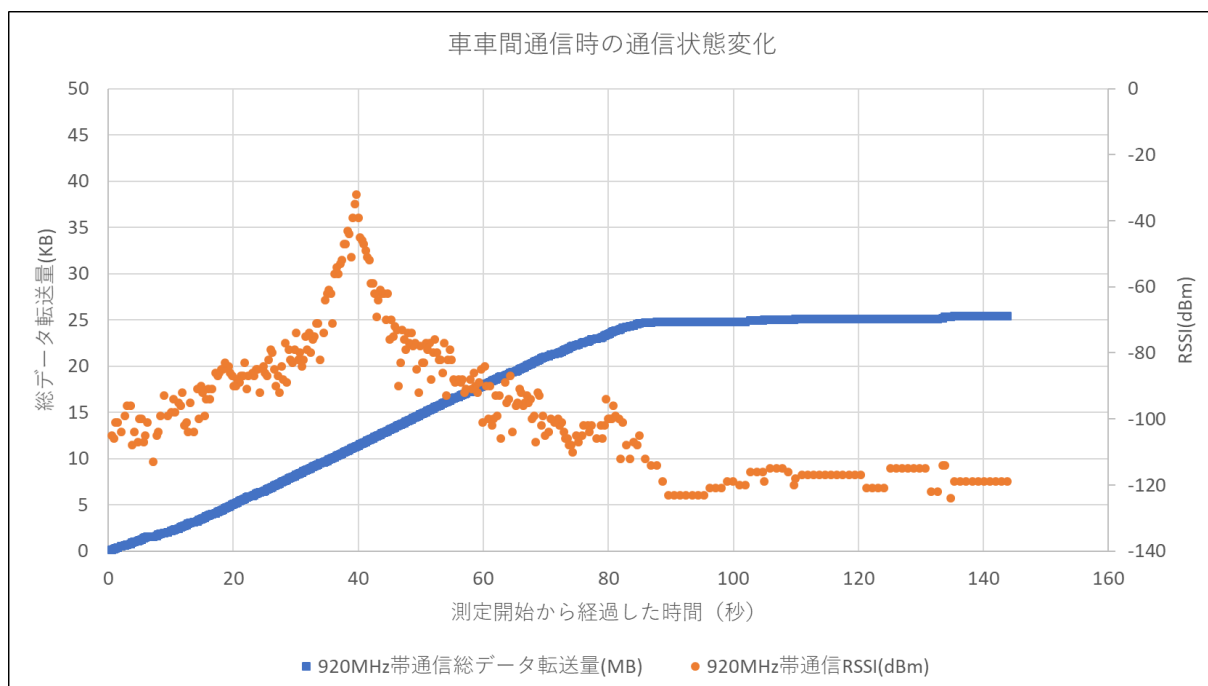


図 73 2 波長アドホックモードによるデータ転送#1

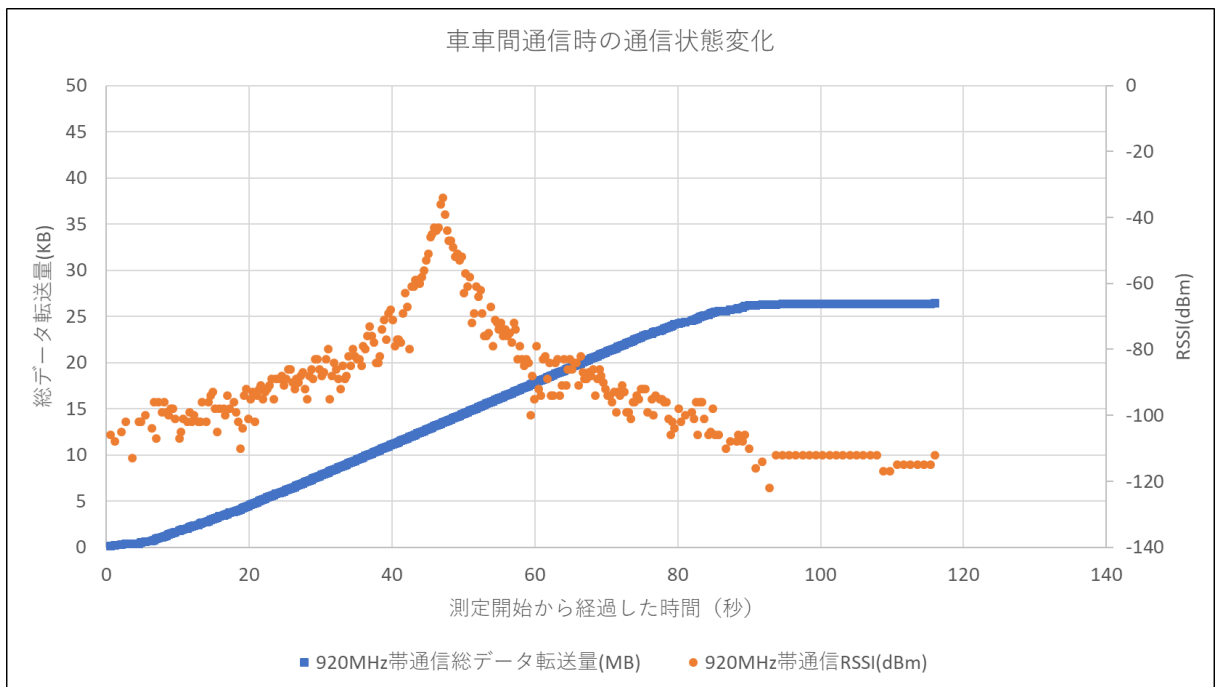


図 74 2 波長アドホックモードによるデータ転送#2

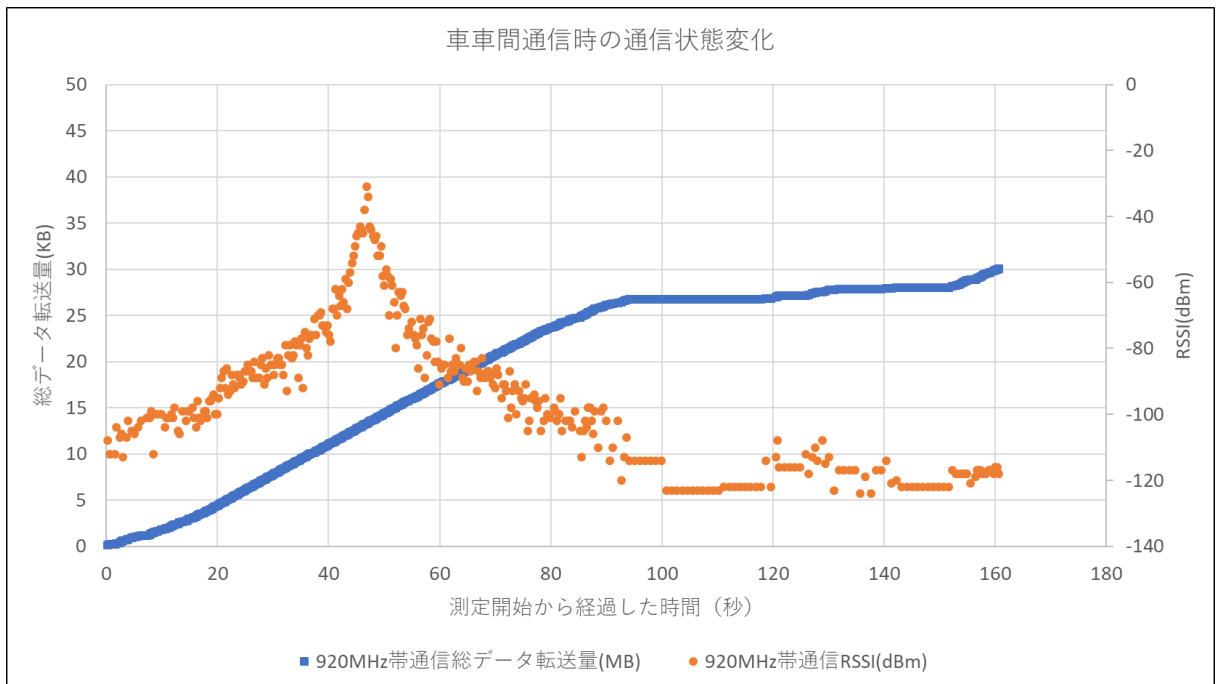


図 75 2 波長アドホックモードによるデータ転送#3

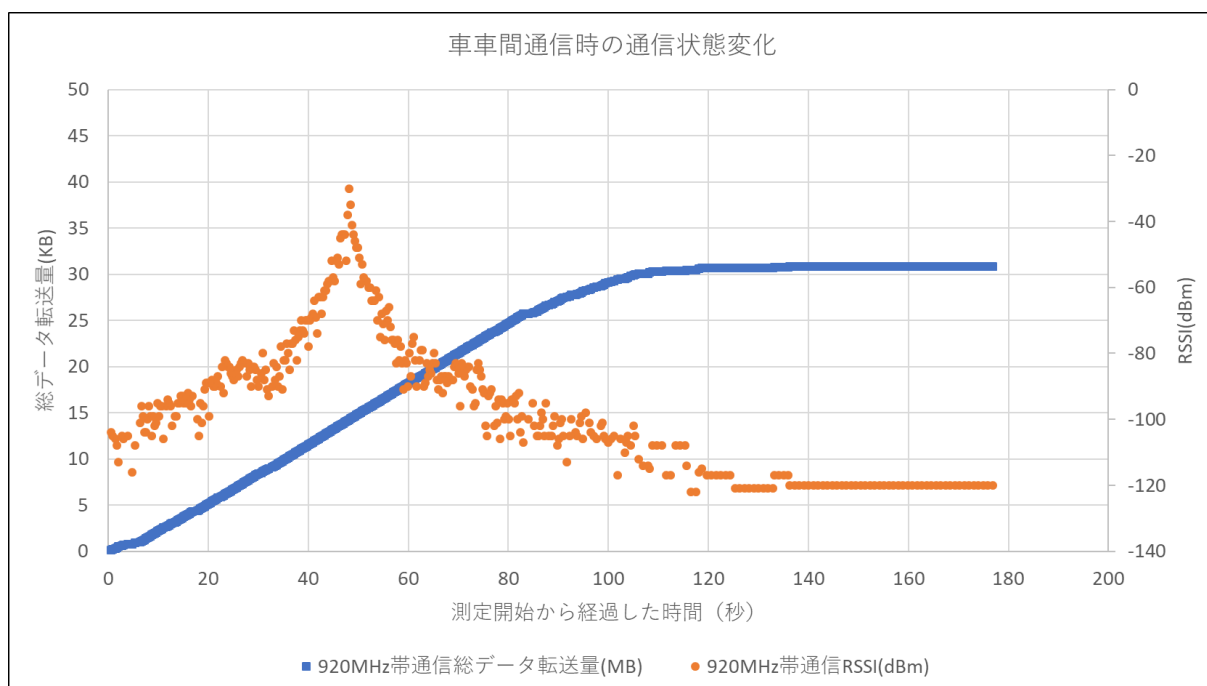


図 76 2 波長アドホックモードによるデータ転送#4

表 3 4.2.9 節の実験結果まとめ

時速(km/h)	相対速度(km/h)	920MHz 帯通信 の通信可否	Wi-Fi 通信の 通信可否	転送データ量 (MB)
10	20	○	○	24.5
10	20	○	○	7.1
10	20	○	○	14.3
10	20	○	○	16.7
10	20	○	○	18.5
10	20	○	○	13.5
10	20	○	○	16.6
20	40	○	○	15.6
20	40	○	△ (接続のみ)	-
20	40	○	△ (接続のみ)	-
20	40	○	×	-
20	40	○	×	-

30	60	○	○	12.1
30	60	○	×	-
30	60	○	×	-
30	60	○	×	-
40	80	○	×	-
40	80	○	×	-
40	80	○	×	-
40	80	○	×	-
40	80	○	×	-
40	80	○	×	-

4.2.10 現在の実験結果に基づいたシステム適用モデルに対する考察

図 77 に現在の実験結果に基づいたシステム適用モデルに対する考察を示す．システム適用モデルにおいて、オレンジの区間を時速 60 キロで走行すると約 5 分、時速 40 キロで走行すると約 8 分で通過する．情報伝送車両が時速 40 キロでセンシングすると、約 8 分ぶんの情報が蓄積される．実験結果より車路間通信時の Wi-Fi 通信によるデータ転送量は平均 40MB 程度であり、情報の組み合わせ例に対して、8 分ぶんの A, B, C, D の共有に十分であり、8 分ぶんの E の共有に不十分である．車路間通信で区間を限定しない場合、A, B, C に関しては 2 日分以上のデータ共有に十分であり、D に関しては約 40 分ぶんのデータ共有に十分、E に関しては約 5 分ぶんのデータ共有に十分である．車車間通信の場合、920MHz 帯通信によるデータ転送量は 25KB 前後であり、情報の組み合わせ例に対して、8 分ぶんの A の共有に十分である．

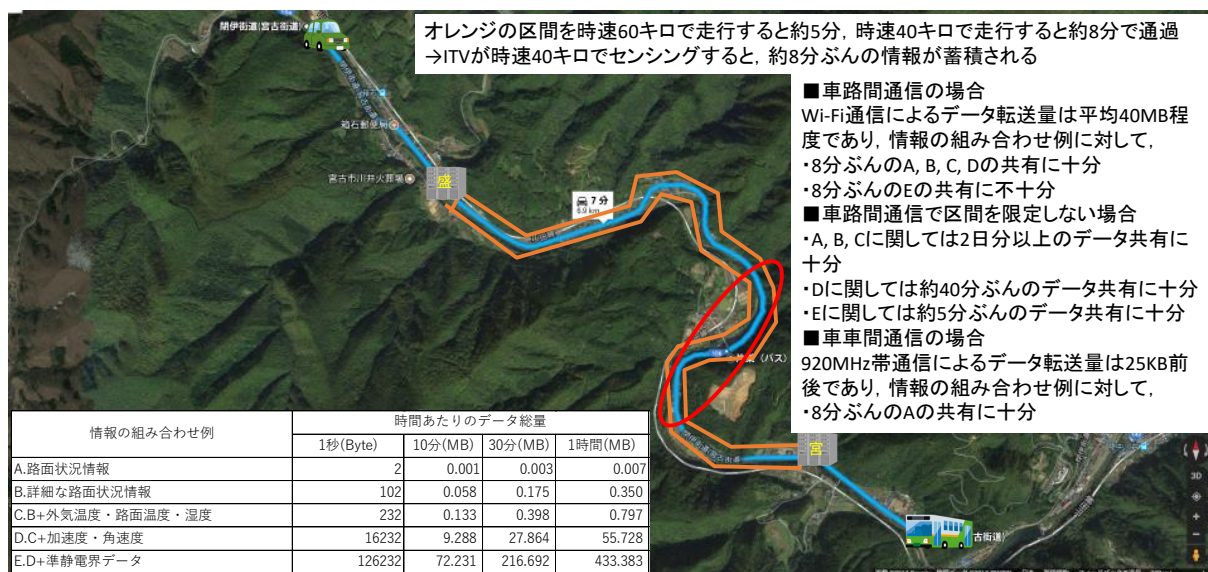


図 77 現在の実験結果に基づいたシステム適用モデルに対する考察

4.2.11 考察

920MHz 帯通信によって、通信相手と接近する前に通信相手の情報を把握することができ、通信相手が車両か路肩かが分かり、事前にネットワーク設定等が可能であること、車路間通信では Wi-Fi 通信を用いてある程度のデータ量の情報を共有可能であること、車車間通信では 920MHz 帯通信を用いて緊急性や重要度の高い情報を共有可能であることから、2 波長通信は車車間・車路間通信に対して有効であると考えられる。

4.2.12 今後の展開

今後の展開として、車車間・車路間通信に対する様々な条件の変更が考えられる。車両速度や無線通信の種類や規格の変更、n 波長通信の n の数を増やすことなどが考えられる。その条件変更に対する通信実験をもとに、システム適用モデルへフィードバックする必要がある。

4.3 まとめ

本章では n 波長協調通信方式を適用したシステムの実現とそれに対する評価を目的とし、920MHz 帯通信と Wi-Fi 通信による 2 波長車車間・車路間通信システムを提案した。機能面では、情報の事前共有機能と通信接続確立の自動化機能を提案した。結果として 2 波長車車間・車路間通信システムのプロトタイプシステムの構築、920MHz 帯通信を用いた情報の事前共有による、Wi-Fi 通信の接続確立の自動化と接続確立時間の削減の実現、システム適用モデルに対する通信実験を通じた評価検討が得られた。

第5章. おわりに

5.1 まとめ

本研究の目的は、通信環境が劣悪な地域において車載センサ情報を共有する通信システムを実現するため、 n 波長協調通信方式を提案し、プロトタイプとして路面状況情報を共有する 2 波長車車間・車路間通信システムの設計、実装、評価を通し、システム設計法の基礎を与えることである。

本研究の課題として、複数の無線通信を組み合わせ通信状態に応じて使用する無線通信を選択する通信システムの実現手法、接続先の発見から通信接続確立までの自動化、情報の事前共有による通信接続時間の削減、各無線通信の帯域幅に適した共有情報の選択、実際の地域をモデルとした本研究の適用検討を挙げた。

5.2 設計法の基礎

通信環境が劣悪な地域において路面状況情報を共有するための n 波長車車間・車路間通信システムを設計するには、以下の点に留意する必要がある。1. 複数の無線通信に対して通信距離による順位付けが可能であること。2. 最上位の無線通信が接続先端末の情報と備えている各無線通信の情報を事前に共有可能であること。3. 事前共有した接続情報に基づいて通信接続確立の自動化を実現すること。4. 各無線通信がそれぞれの帯域幅に適した情報を共有可能であること。5. 接続状態によって最適な無線通信を選択可能であること。

また、システム設計の指針を以下に示す。1. 複数の無線通信に対する通信距離による順位付けを行う。2. 最上位の無線通信に接続先端末の情報と備えている各無線通信の情報を事前に共有する機能を導入する。3. 下位の無線通信に事前共有した接続情報に基づいて通信接続確立を自動化する機能を導入する。4. 各無線通信がそれぞれの帯域幅に適した情報を共有する仕組みを有する。5. 接続状態によって最適な無線通信を選択する。

以上の項目に関し、2 波長車車間・車路間通信システムのプロトタイプの設計、実装、評価を通して検証することにより、通信環境が劣悪な地域において路面状況情報を共有するための n 波長車車間・車路間通信システム設計法の基礎を与えた。

謝辞

本研究を進めるにあたり，ご指導を頂いた博士論文主指導の橋本浩二教授，副指導のゴウタムチャクラボルティ教授，ベッドバハドゥールビスタ教授，研究・地域連携本部の柴田義孝特任教授，携わっていたプロジェクトでお世話になった新井義和准教授，株式会社ネットワーク応用技術研究所の平川剛様，株式会社ネットワーク応用技術研究所の皆さま，東京大学滝口研究室の皆さま，東京大学須田研究室の皆さまに深く感謝します．また，日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた情報環境デザイン学講座の皆さまに感謝します．

参考文献

- [1]. 吉田寿幸, 水嶋清光 : H24.1.7 秋田道シアライン (収束線) 中のゲリラ豪雪について, ゆきみらい 2013in 秋田実行委員会 (オンライン), 入手先
(http://www.thr.mlit.go.jp/yukimirai_akita/event2.html) (参照 2017-01-28) .
- [2]. 西館俊之, 水嶋清光, 鈴木 聡 : H24.3.12 八戸道浄法寺以北のゲリラ豪雪とその対応について, ゆきみらい 2013in 秋田実行委員会 (オンライン), 入手先
(http://www.thr.mlit.go.jp/yukimirai_akita/event2.html) (参照 2017-01-28) .
- [3]. 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/itardainfomation/info67.pdf>) (参照 2017-01-28) .
- [4]. NTT ドコモ: サービスエリア | エリア | NTT ドコモ, NTT ドコモ (オンライン), 入手先(<https://www.nttdocomo.co.jp/support/area/>) (参照 2017-04-27) .
- [5]. au: エリア | スマートフォン・携帯電話 | au, au (オンライン), 入手先
(<https://www.au.com/mobile/area/>) (参照 2017-04-27) .
- [6]. SoftBank: サービスエリアマップ | サービスエリア | 通信・エリア | モバイル | ソフトバンク, SoftBank (オンライン), 入手先
(<http://www.softbank.jp/mobile/network/area/map/>) (参照 2017-04-27) .
- [7]. ITpro Active: 社会に増殖する「センサー」、ビッグデータをビジネスに生かせ - CloseUp : ITpro Active, ITpro Active (オンライン), 入手先
(<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/Active/20130401/467581/>) (参照 2017-12-14) .
- [8]. 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).
- [9]. 砂原秀樹, 佐藤雅明, 植原啓介, 青木邦友, 村井 純 : 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).
- [10]. 村田康之, 高山 毅, 元田良孝, 恵津森真仁, 村田嘉利, 池田哲夫, 佐野嘉彦 : 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).
- [11]. 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).
- [12]. 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).
- [13]. Ito, K., Hirakawa, G., Arai, Y. and Shibata, Y.: A Road Condition Monitoring System Using Various Sensor Data in Challenged Communication Network Environment, International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, Vol. 29, No. 1, pp. 518-523 (2015).
- [14]. 河野賢司, 北川義智, 滝口清昭, 須田義大: 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).
- [15]. ROHM: Part 2: 近距離無線が台頭。種類と規格、アプリケーションの関係 | TECH INFO | ROHM TECH WEB, ROHM (オンライン), 入手先
(http://micro.rohm.com/jp/techweb_iot/tech-info/engineer/1708) (参照 2017-10-19).
- [16]. 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).
- [17]. 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, 自動車技術会学術講演会前刷集, Vol. 68-03, pp. 15-18 (2003).
- [18]. 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).
- [19]. 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).
- [20]. 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).
- [21]. 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).
- [22]. V. P. Barcelos, T. C. Amarante, C. D. Drury and L. H. A. Correia: Vehicle monitoring system using IEEE 802.11p device and Android application, IEEE Symposium on Computers and Communication (2014).
- [23]. J.M. García-Campos, D. G. Reina, S. L. Toral, F. Barrero, N. Bessis, E.

- Asimakopoulou and R. Hill: Performance Evaluation of Reactive Routing Protocols for VANETs in Urban Scenarios Following Good Simulation Practices, International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, Vol. 9, pp. 1-8 (2015).
- [24]. S. Wang, A. Huang and T. Zhang: Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 for V2V Communication in VANET, International Conference on Computational and Information Sciences, Vol. 5, pp. 1603-1606 (2013).
- [25]. B. Kihei, J. A. Copeland and Y. Chang: Improved 5.9GHz V2V Short Range Path Loss Model, International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, Vol. 12, pp. 244-252
- [26]. 真野 浩, 森岡仁志, 上原哲太郎: 無線 LAN 高速認証 FILS(Fast Initial Link Setup)の実装及び多重アクセス評価, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, Vol. 2013, No. 1, pp. 1634-1639 (2013)
- [27]. 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) .
- [28]. サイレックス・テクノロジー株式会社: WiFi の接続手続きのはなし | Wireless ・ のおと | サイレックス・テクノロジー株式会社, サイレックス・テクノロジー株式会社 (オンライン), 入手先(<http://www.silex.jp/blog/wireless/2013/11/wifi.html>) (参照 2017-11-21) .
- [29]. Intel: インテル® ネクスト・ユニット・オブ・コンピューティング・キット NUC5i5RYH, Intel (オンライン), 入手先
(<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/products/boards-kits/nuc/kits/nuc5i5ryh.html>) (参照 2017-04-07) .
- [30]. 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) .
- [31]. 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）．

- [32]. 大井電気株式会社：OiNET-923 920MHz 帯長距離無線通信ユニット，大井電気株式会社（オンライン），入手先(<https://www.ooi.co.jp/dcms_media/other/OiNET-923.pdf>)（参照 2017-05-26）．

研究実績

- 論文誌・ジャーナル

- K. Ito, G. Hirakawa, Y. Arai and Y. Shibata: A road condition monitoring system using various sensor data in vehicle-to-vehicle communication environment, International Journal of space-Based and Situated Computing, Vol. 6, No. 1, pp. 21-30 (2016).

- 国内学会・研究会・ワークショップ等

- 伊藤健太, 平川 剛, 新井義和, 柴田義孝: 車車間通信を用い多様な通信環境を想定した道路情報共有システム, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 14, No. 4, pp. 71-76 (2015).
- 伊藤健太, 平川 剛, 新井義和, 柴田義孝: V2X 通信を用いた道路注意情報共有システム, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol. 23, No. 5, pp. 47-52 (2015).
- 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). FIT 奨励賞
- 伊藤健太, 平川 剛, 柴田義孝: 路面状態情報共有のための車載型・路肩型通信システム, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol. 24, pp. 24-30 (2016).
- 伊藤健太, 橋本浩二, 柴田義孝: 通信不利環境における道路情報共有のための車載型・路肩型通信システムの検討, マルチメディア, 分散, 強調とモバイルシンポジウム論文集, Vol. 20, pp. 558-563 (2017).
- 伊藤健太, 橋本浩二, 柴田義孝: 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, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol. 25, pp. 33-38 (2017).
- 伊藤健太, 橋本浩二, 柴田義孝, 大関一陽, 武部栄輔, 番匠康司: 路面情報共有のための n 波長協調による車車間・車路間通信システム, 情報処理学会全国大会, 発表予定

- 国際学会・研究会・ワークショップ等

- K. Ito, G. Hirakawa, Y. Arai and Y. Shibata: A Road Condition Sharing System Using Vehicle-to-Vehicle Communication in Various Communication Environment, International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive System, Vol. 9, pp. 242-249 (2015).
- K. Ito, G. Hirakawa, Y. Arai and Y. Shibata: A Road Alert Information Sharing System with Multiple Vehicles Using Vehicle-to-Vehicle Communication Considering Various Communication Network Environment, International Conference on Network-Based Information Systems, Vol. 18, pp. 365-370 (2015).
- K. Ito, G. Hirakawa and Y. Shibata: Experimentation of V2X Communication in Real Environment for Road Alert Information Sharing System, International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Vol. 30, pp. 711-716 (2016).
- K. Ito, G. Hirakawa and Y. Shibata: Estimation of Communication Range using Wi-Fi for V2X Communication Environment, International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive System, Vol. 10, pp. 278-283 (2016).
- K. Ito, G. Hirakawa, K. Hashimoto, Y. Arai and Y. Shibata: Road Surface Condition Understanding and Sharing System using Various Sensing Technologies, International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, Vol. 31, pp. 655-658 (2017).
- K. Ito, K. Hashimoto and Y. Shibata: V2X Communication System for Sharing Road Alert Information using Cognitive Network, International Conference on Awareness Science and Technology, Vol. 8, pp.533-538 (2017).