

ITS 無線情報システムの高度化 に関する研究

服部 有里子

ITS 無線情報システムの高度化 に関する研究

2013 年 1 月

服部 有里子

内容梗概

本論文は、ITS（高度道路交通システム）サービスに求められる伝送情報量の増大、高速で高レスポンス、高信頼性、高セキュリティ性に対応することを目的として、通信エリアと即時性要求から ITS サービスと研究課題を分類し、それぞれの通信エリアを想定したシステムを実現するにあたって解決すべき技術課題について研究したものであり、モバイル通信を伝送媒体とする ITS 無線情報システムの高度化に関する研究成果を取りまとめている。

はじめに、安全運転支援協調システムでの情報センタからの緊急情報配信などの高信頼、低遅延な通信の提供が要求される路車間通信技術について検討した。5.8GHz 帯 DSRC（専用狭域通信）を前提として、シャドウイング等により通信回線状況が悪化した場合の通信接続に関する課題を解決し、さらに基地局の移動局に対する通信接続維持動作を改良し、通信帯域制御を改良する制御方式について研究した。実証試験の結果、提案方式により、100km/h の高速移動車両に対し、同報通信の安全運転支援情報提供サービスと個別通信のプロブアップリンク情報サービスを同時に提供できることを実証した。

次に、利用者の位置や伝送する情報の特性に応じて、無線通信メディアを選択あるいは組み合わせて、必要な情報を安定してシームレスに伝送することが求められる車のネットワーク化について検討した。車内の様々なセンシング情報を車両から情報センタにアップロードし、それを用いてセンタが車両に情報配信するための外部通信ネットワークと車載ネットワークの相互接続技術について研究した。また、電気自動車（EV）への ICT 適用について検討し、EV 向け ITS 情報通信システムを開発した。実証試験により、EV のバッテリー残量を 1 秒以内のサンプリング周期で連続的に収集して車両内に情報提供すること、EV を遠隔操作することによりリアルタイムに車両状態を変化させることを実証した。また、充電ステーションでの最適な充電スケジューリングにより、安価な夜間電力を使って充電コストを削減できることを実証した。

さらに、車の情報プラットフォーム化に向けて、車からのインターネ

ット利用と実際のサービス窓口でのサービス提供を高レスポンス，高セキュリティに行う通信システムについて検討した．車内でカーナビゲーションからインターネットにより注文情報等を登録し，実際のサービス窓口でサービスの提供を受ける，IP 通信と非 IP 通信の連携技術について研究した．ドライブスルー実験システムにより実店舗で実証実験を行い，車両が注文窓口に来てから相互認証し，注文確定と支払が完了するまでの処理時間が現行より 50%削減され，ドライブスルー利用者の待ち時間を短縮して店舗利用効率を向上できることを実証した．

最後に，高速で高信頼，高セキュリティが要求される課金・決済サービスにおける路車間通信の利用を想定し，路車間通信と IC カードによる高セキュリティな情報伝送について検討した．路車間通信と IC カードアクセスの連携技術について研究し，DSRC と非接触式 IC カードを連携する通信シーケンスを提案した．提案方式では，車載器は DSRC 通信エリア内でのみカードアクセス処理を行うことができる．非接触式 IC カード内のメモリアクセスは，路側制御装置が DSRC を介して IC カードに直接アクセスすることによりセキュリティ性を向上できる．また，DSRC と非接触式 IC カードをベースとした道路課金システムを開発し，実証試験により，複数のセキュリティ性の高い非接触式 IC カードに対応して，車速 80km/h にて通信エリア内で料金収受をセキュアに完了することを実証した．

以上のように本論文は，ITS 無線情報システムに求められる無線通信方式の要件を明確化し，実現に向けた技術課題を整理し，課題解決のための方策の検討を行った．さらに，実験システムを開発し，実用化に向けて実環境で実証試験を行い，ITS 無線情報システムの高度化を図った．

目次

主な略号	1
第1章 序論	3
1.1 研究の背景	3
1.1.1 ITS の現状と動向	3
1.1.2 ITS 無線情報システムの役割と課題	6
1.2 研究の目的と検討技術	13
1.3 本論文の構成	19
第2章 路車間通信技術の高度化	21
2.1 まえがき	21
2.2 従来制御方式	22
2.2.1 受信信号強度制御	22
2.2.2 ARIB 標準における通信接続管理	24
2.2.3 ARIB 標準における通信帯域制御	24
2.3 同報通信と個別通信の共用	26
2.3.1 路車間通信のゾーン構成	26
2.3.2 同報通信	26
2.3.3 個別通信	26
2.3.4 DSRC 通信方式と要求条件	28
2.3.5 通信接続に関する課題	28
2.3.6 通信帯域に関する課題	30
2.4 同報・個別通信混在時の安定したサービス提供のための制御方式	32
2.4.1 移動局の通信接続管理の改良	32
2.4.2 基地局の通信帯域制御の改良	34
2.5 実証試験	36
2.5.1 通信接続管理の評価	36

2.5.2	通信帯域制御の評価	38
2.6	むすび	40
第3章	車のネットワーク化と電気自動車 (EV) への ICT 適用	42
3.1	まえがき	42
3.2	関連研究	43
3.3	外部通信ネットワークと車載ネットワークの相互接続	44
3.3.1	路車間通信	44
3.3.2	広域通信網	45
3.3.3	車載ネットワーク	45
3.3.4	要求条件	46
3.4	EV 向け ITS 情報通信システム	46
3.4.1	システム構成	47
3.4.2	通信プロトコル	48
3.4.3	通信シーケンス	49
3.5	実験システムの開発	52
3.5.1	車載システム	52
3.5.2	路側システムとサービスアプリケーション	55
3.6	実験システムによる実証試験	57
3.6.1	実験システム構成	57
3.6.2	実験システムの評価	58
3.7	むすび	62
第4章	車の情報プラットフォーム化とインターネット利用	64
4.1	まえがき	64
4.2	IP 通信と非 IP 通信の連携	64
4.2.1	DSRC-IP 接続	64
4.2.2	DSRC-SPF (セキュリティプラットフォーム)	65
4.2.3	サービスの利用状況	65
4.2.4	要求条件	66
4.3	車利用型注文・支払システムの開発	66

4.3.1	システム構成	66
4.3.2	通信プラットフォーム	67
4.3.3	サービスアプリケーション	69
4.4	実験システムによる実証実験	70
4.4.1	実験システム構成	70
4.4.2	実験システムの評価	71
4.5	むすび	72
第5章	路車間通信とICカードアクセスの連携技術	73
5.1	まえがき	73
5.2	DSRC 通信と IC カードアクセスの連携	73
5.2.1	アクティブ DSRC 通信	73
5.2.2	非接触式 IC カード	74
5.2.3	バッテリー型車載器	74
5.2.4	要求条件	74
5.3	都市内道路課金システム	75
5.3.1	システム構成	75
5.3.2	DSRC 通信と非接触式 IC カードの通信シーケンス	75
5.4	実験システムの開発	76
5.4.1	車載器	76
5.4.2	電力管理機能	77
5.4.3	セットアップ機能	77
5.4.4	料金収受機能	78
5.4.5	非接触式 IC カードアクセス機能	78
5.5	実験システムによる実証試験	79
5.5.1	シミュレーション結果による評価	79
5.5.2	トライアルによる評価	79
5.6	むすび	79
第6章	結論	81
6.1	本研究の成果	81

6.2 本研究の将来展開	83
参考文献	85
謝 辞	89
関連発表文献一覧	90

主な略号

本論文で使用する主な略号を以下に示す.

3G : 3rd Generation

3.5G : 3.5th Generation

ACK : positive Acknowledgement

AID : Application ID

AP : Access Point

ARIB : Association of Radio Industries and Businesses

ASK : Amplitude Shift Keying

ASL : Application Sub-Layer

ASL-ELCP : ASL-Extended Link Control Protocol

ASV : Advanced Safety Vehicle

CAN : Controller Area Network

CSMA/CA : Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

CSMA/CR : Carrier Sense Multiple Access with Collision Resolution

CTO : Connection Timer for OBU

CTR : Connection Timer for RSU

DSRC : Dedicated Short Range Communication

DSRC-IP : DSRC-Internet Protocol

DSRC-SPF : DSRC-Security PlatForm

ECU : Electronic Control Unit

EMS : Energy Management System

ETC : Electronic Toll Collection System

ETSI : European Telecommunications Standards Institute

EV : Electric Vehicle

GPS : Global Positioning System

HMI : Human Machine Interface

HTML : Hyper Text Markup Language

ICT : Information and Communication Technology

IEEE : Institute of Electrical and Electronic Engineers

IP : Internet Protocol
ITS : Intelligent Transport Systems
ITU : International Telecommunication Union
IURP : Integrated Urban Road Pricing
LAN : Local Area Network
LCL : Lane Controller
LPCP : Local Port Control Protocol
LPP : Local Port Protocol
LTE : Long Term Evolution
MAC : Message Authentication Code (一般にはMedia Access Control)
OBU : On Board Unit
OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PPP : Point-to-Point Protocol
PPPCP : Point-to-Point Protocol Control Protocol
QAM : Quadrature Amplitude Modulation
QoS : Quality of Services
QPSK : Quadrature Phase Shift Keying
RF : Radio Frequency
ROF : Radio on Fiber もしくは Radio over Fiber
RSSI : Received Signal Strength Indicator
RSU : Road Side Unit
SAM : Secure Application Module
URI : Uniform Resource Identifier
URL : Uniform Resource Locator
UWB : Ultra Wide Band
VICS : Vehicle Information and Communication System
WAVE : Wireless Access in Vehicular Environments
WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access

第1章 序論

1.1 研究の背景

1.1.1 ITS の現状と動向

(1) ITSの現状

ガソリン自動車が発明されて 100 年以上が経過した今日，自動車は日常生活になくてはならないものになっている．しかしながら，交通事故による死傷，渋滞による時間の損失や環境汚染などといった問題は根本的な解決方法が見い出せないまま現在に至っている．これに対して，コンピュータの小型化・高性能化・省電力化，GPS（Global Positioning System）によるナビゲーションシステムや 3G（3rd Generation）携帯電話，無線 LAN（Local Area Network）などの無線通信メディアの普及に見られるように，近年，情報通信技術（ICT：Information and Communication Technology）の発展が著しい．ICT を活用した総合的なアプローチで現在の自動車交通における様々な問題を解決するとともに，新たなビジネスの創出を目指す ITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）が世界的な規模で取り組まれている．

ITS は，ICT を用いて「人」，「道路」，「車両」に関する情報を結び，それらを一体として構築したシステムであり，その目的は大きく分けて「安全・安心」，「環境」，「利便・快適」の 3 つに分けられる．これまでに VICS（Vehicle Information and Communication System：道路交通情報通信システム）[1] や ETC（Electronic Toll Collection System：自動料金収受システム）[2] のように渋滞解消や交通円滑化等に資するサービスが実用化されている．VICS は渋滞や交通規制などの道路交通情報や駐車場情報を通信や放送によりリアルタイムに送信し，カーナビゲーションなどの車載機器に文字や図形で表示する情報通信システムである．1996 年にサービスが開始され，2012 年 9 月末には VICS 対応のカーナビゲーション出荷台数は 3,567 万台に達している．2001 年にサービスを開始した ETC も 2012 年 8 月には全セットアップ件数が 5,000 万台を超え，高速道路を通行する車の 88% が利用するに至っている．現在では，高速道路上を中心に「ITS スポット」[3] に路側無線ア

ンテナが設置され、ダイナミックルートガイダンス（広域な道路交通情報提供）や安全運転支援サービスが開始されている。ITS スポットは、2011年3月までに全国1,630箇所にも配備され、走行中に広域の道路交通情報、安全運転支援情報、詳細な工事規制、渋滞末尾などの情報をリアルタイムに提供し、安全・安心で快適なドライブを支援するシステムである。交通事故削減のために危険区間で障害物や道路形状などの情報、さらにデジタル地図と連携し、カーブなどの道路構造や事故多発地点の情報を提供する。

また、携帯電話網とカーナビゲーションを連携させて、渋滞予測情報や交通情報をネットワーク経由で入手し、目的地への最適なルート案内を実現するほか、目的地の天気をチェックしたり、防災情報などを利用可能にするテレマティクスサービス[4]が自動車会社を中心に提供されている。テレマティクスサービスでは、位置情報や区間速度などの情報を車両からセンタにアップロードし、それをを用いてセンタが渋滞情報を把握し車両に配信する、プローブシステムサービスを提供している例もある。同様に、携帯電話網を利用して、輸送トラックなどの安全運行や配送管理などを行う物流サービスも開始されている[5]。

さらに、種々の事故防止システムも導入されている[6]。例えば、前方車両との距離を車載レーダやカメラ映像等によって計測し、急激に距離が縮まった場合に自動的に制動をかけて追突を防止するシステムが一部の車種に搭載されている。また、交通事故死亡者の3分の1以上の割合を占める歩行者を巻き込んだ事故の防止に向けて、昼夜問わず赤外線カメラ映像等により歩行者を検出し、カーナビゲーションの画面等にその存在を映し出すなどのシステムも実用化されている。

(2) ITSの将来

道路に設置されたインフラや周囲の車両と通信を行うことにより安全運転支援を行う路車間・車車間の協調システムが実用化され、合わせて関連の法制度が整備されて普及が進むと考えられる。さらに、車がネットワークにつながることによって人と道路と車両に関する情報が融合し、車両に搭載される様々なセンサの情報とも密な連携が図られる。例えば、

1 台の車両が車載レーダ，カメラ映像ならびに歩車間通信等により検出した歩行者や障害物及び道路形状（急カーブ，急勾配等），路面状況（滑りやすい等）などの情報が周囲の車両で共有され，より安全な運転支援へと移行する．信号や道路・交通標識も電子タグ化され，車載器を通じてドライバーの見落とし防止に貢献する．また，現在，ウインカーやヘッドライトのハイビーム点滅等により行っているドライバーの意思表示（右折，車線変更など）も，無線により周囲の車両に確実に伝えられる．

一方，車のハイブリッド化，EV化が進み，単にガソリンを使わないことによるCO₂削減が図られるのみではなく，電化製品とともにスマートグリッド・スマートコミュニティ[7]のエネルギー管理システム（EMS：Energy Management System）の一構成要素となる．太陽光発電や電化製品の電力使用量，車のバッテリー残量などが常時把握され，家庭の電気使用量が最小限になるよう，時間帯，天候や生活パターンなどの状況に応じて最適に電力の流れが制御される[8]．車のエネルギーバッファリング機能により，停電時には逆に車のバッテリーの電力が家庭の電力消費に使われる．これらの電力制御はICTにより制御され，車内の各種センサ情報も取得でき，整備または修理が必要かなども把握できる．

さらにその後は，安全で環境に配慮した自動運転の実現を目指した取り組みが進み，一般道路で完全に自動運転できるのは遠い将来かもしれないが，高速道路の特定の専用レーンを使用したトラックの隊列走行など一部が実用化されると予想される．高齢者向けの個人自動車（パーソナルビークル）が走行場所やレーンを限定して半自動運転で走行できるようになる．このような（半）自動運転を実現するには，車自体におけるセンサを使った走行状態，道路状態，歩行者，障害物などの検出とそれに応じた制御を行うだけでなく，走行する周囲の車両や路側とこれまで以上に高レスポンス，高信頼に通信を行い，連携することが必須となる．

1.1.2 ITS 無線情報システムの役割と課題

(1) モバイル通信の役割

近年，通信や放送のメディアが多様化，ブロードバンド化し，携帯電話，無線 LAN，WiMAX（Worldwide Interoperability for Microwave Access），Bluetooth，UWB（Ultra Wide Band），ZigBee，赤外線，DSRC（Dedicated Short Range Communication：専用狭域通信）などの多様な無線通信メディアや地上デジタル放送などの放送メディアを容易に利用できるモバイル通信環境が整ってきた．ITS は，ICT を用いて車のネットワーク化を図ることにより，安全・安心で，環境に優しく効率的な，しかも利便性が高く快適な車社会を実現しようとするもので，「人」，「道路」，「車両」を結ぶ ICT の中でも，人や車両などの移動体との通信を行う上で，その実現にはモバイル通信が極めて重要な役割を担う．

図 1.1 は，ITS における車とモバイル通信メディアとの係わりを示す．

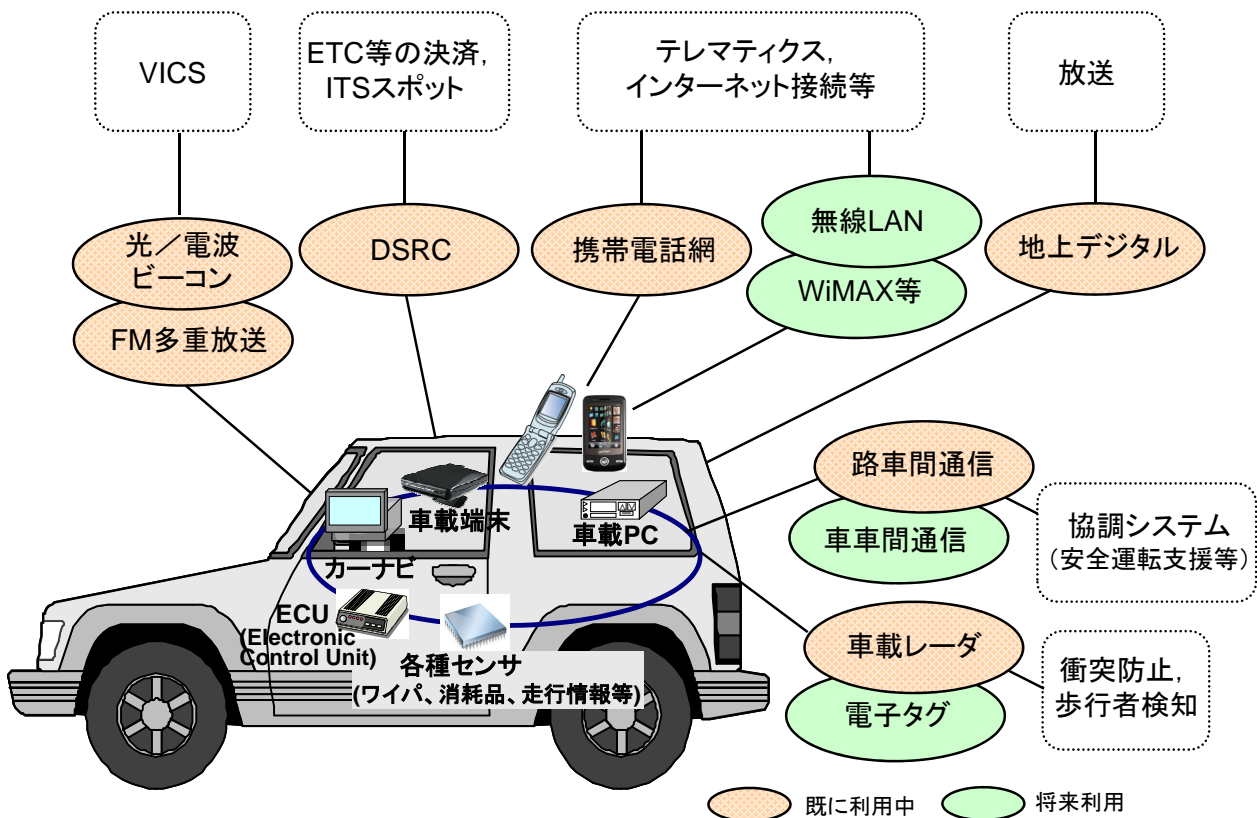


図 1.1 ITS とモバイル通信メディア

Figure 1.1 Mobile communications media in ITS.

VICS は、光ビーコン、電波ビーコンや FM 多重放送を利用している。また、ETC や ITS スポットは 5.8GHz 帯 DSRC [9] を利用しており、駐車場やドライブスルー店舗などでの料金決済も今後可能となる。テレマティクスでは、3G 携帯電話網に加えて、無線 LAN や WiMAX などを利用したサービスの提供も検討されている。車載レーダや電子タグは、電波を用いて自車の周辺に存在する車等を検出し、歩行者や二輪車・自動車などの運転者に情報を伝達する。例えば、ミリ波（76GHz 帯）を用いた衝突防止レーダが実用化されている。電子タグは歩行者 ITS での利用も検討されている。地上デジタル放送などの放送メディアは現在、TV 放送の視聴が主流であるが、地図情報や地域情報の配信などの検討も開始されている。

ここで、車両に搭載された車載端末とモバイル通信を行う複数の無線通信メディア（携帯電話網、無線 LAN、DSRC 等）は、通信可能エリア、通信速度、端末の移動許容速度に関し、異なる特性を持つ。モバイル通信を伝送媒体とする「ITS 無線情報システム」は、基本的な要件として、利用者の位置や伝送する情報の特性に応じて、利用可能な無線通信メディアの中から適切な通信経路を選択し、利用者や情報提供者が意識することなくシームレスに利用できることが求められる。そのためには、無線 LAN や DSRC のような局所的な無線通信メディアは、携帯電話網等の広域通信と相互利用する形態が求められる。例えば、DSRC は高速道路上や主要道路沿いに設置されるとサービスエリアが限定されるため、通信中に DSRC のサービス圏外に出てしまうことがあるが、このような場合でもサービスエリアの広い携帯電話網で通信を継続し、道路交通サービスやプローブシステムサービスを利用するといった形態が求められる。DSRC のような狭域通信を利用した無線通信メディアは、道路沿いのスポット的な基地局の整備による道路交通サービスや安全運転支援サービスが実現されているが、複数の狭域通信により構成される無線通信ゾーンにおいて連続的な通信環境を提供するネットワークとしての方式は確立されていない状況である。

また、無線通信メディアの多様化に加え、サービスの多様化に対応する研究も進められている。ITS 無線通信サービスで扱う情報には、安全運転

支援情報やプローブ情報の他に道路交通情報，混雑状況の映像，地域情報さらには ETC などでの決済情報などがあり，扱う情報の質（QoS）と情報量において多様性を持っている．ITS 無線情報システムは，これらの多様なサービスに対して同じく多様化が進む無線通信メディアを効果的に選択，あるいは組み合わせて利用することにより，それぞれの要求に応じた機能の実現を図ることが求められている．例えば，ITS スポットにおける安全運転支援サービスでは，100km/h の高速移動車両に対し，同報通信（放送型）の情報提供サービスと個別通信（双方向型）のアップリンク情報サービスを同時に提供できることが求められる．また，安全運転支援サービスで扱う情報は，データ量はそれほど大きくないが，そのサービスの特性から高信頼，高レスポンスが求められ，通信品質についてデータ損失に対する要求が厳しい．一方，映像情報などマルチメディア情報を配信するアプリケーションでは通信品質に対する要求はそれほど厳しくないが，効率的な通信が求められ，終端間でのスループットの向上が要求される．

(2) 安全運転支援システム

「安全・安心」に資する ITS として，「安全運転支援システム」は，車両単体で安全運転を支援する「自律システム」と道路に設置されたインフラや周囲の車両と協調して安全運転支援を行う「協調システム」に分類される．自律システムについては車載レーダを活用した衝突被害軽減ブレーキなどが事故の被害軽減に大きな効果をもたらしている．一方，交差点付近での事故や対二輪車，対自転車事故に関しては自律システムの効果は限定的であることから，見通し外でも情報が伝わる電波を使った安全運転支援システムが有効であると考えられる．安全運転支援システムの中で，特に協調システムは運転者の発見の遅れを減少させ，事故を未然に防止するシステムであり，必ず運転者が介在するものである．接近車両の情報提供等を行うタイミングや HMI（Human Machine Interface）の差異，さらには一般交通環境での複合要因事情により，対象事故類型及び要因を 100%カバーするものではない．しかし，システムの精度及び信頼性の向上を図ることにより効果を高めることが期待さ

れる。

協調システムは、道路（路側）に設置された基地局（アクセスポイント：AP）と車に搭載された移動局が通信を行うことにより車両がインフラからの情報（信号機情報，規制情報，道路情報等）を入手する「路車間通信」と，見通しの悪い交差点などで移動局同士が直接通信を行うことにより互いの位置，速度等の情報を交換する「車車間通信」の2つの無線通信方式がある。APとしては，ETCで採用されているDSRC通信方式や光ビーコンを使った路側機等がある。ITSスポットは，道路上に設置されたDSRC路側無線アンテナを介して，車両に対し路車間通信により情報をリアルタイムに配信することによりドライバの安全運転を支援し，道路交通の安全性向上を図るシステムである。

APのようなインフラがないところでは，車車間通信による情報交換が有効な手段となる。また，APが設置されている場所であっても，APと車両との間にトラックやバスなどの別の大型車両が入ってしまうと電波が遮られる（シャドウイング）場合があり，大型車両あるいは他の車両が通信を中継して電波が遮られた車両に情報を配信する車車間通信が有効である。

路車間・車車間協調システムのための無線通信方式として，米国を中心として検討されている5.9GHz帯の電波を用いたIEEE802.11p/1609.4（WAVE：Wireless Access in Vehicular Environments）がIEEEで標準として策定された。同様に欧州でもETSI ES202 663として標準が規格化されている。国内標準としては，実験用ガイドラインであるITS FORUM RC-005（5.8GHz帯），RC-006（700MHz帯）が策定され，実用化に向けた実証実験が実施されている。特に，700MHz帯の周波数を用いた車車間通信システムについて，「700MHz帯高度道路交通システム標準規格（STD-T109）」が2012年2月に策定されたところである[10]。表1.1に日欧米の協調システム用無線通信方式の比較を示す。

安全な道路交通環境を実現するためには，これらを含めて，電波による通信の信頼性を高める必要があるとともに，国内で使える700MHz帯と5.8GHz帯の2つの帯域をどのように有効利用するのかという点と，国内と欧米の規格の違いをどのように整合させていくのかという点を，

今後十分に検討する必要がある[11] [12].

表 1.1 日欧米における無線通信方式の比較

Table 1.1 Wireless communication systems in Japan/Europe/US.

	日本	欧州	北米
規格・委員会	ARIB STD-T109	ETSI ES202 663	IEEE802.11p/1609.4
使用周波数	755.5MHz～764.5MHz	5.875～5.905GHz	5.850～5.925GHz
チャンネル数	10MHz×1ch	10MHz×3ch	10MHz×7ch (20MHz 幅オプションあり)
変調方式	直交周波数分割多重方式 (OFDM)		
伝送速度	6～18Mbps	3～27Mbps	3～27Mbps (10MHz 幅) 6～54Mbps (20MHz 幅)
アクセス方式	CSMA/CA		
通信形態	単向通信, 同報通信, 単信通信	単向通信, 同報通信, 単信通信, 半複信通信	

- ・単向通信：目的とする単一の相手方に対して送信のみを行う方式
- ・単信通信：相対する方向で交互に送受信を行う方式

(3) 車のネットワーク化と電気自動車 (EV) へのICT適用

車における ICT 利用が進展する中で、車内にはカーナビゲーションをはじめとする情報ネットワーク、及び車両 ECU (Electronic Control Unit) や各種センサをつなぐ制御ネットワークが存在し、車のネットワーク化が進んでいる。カーナビゲーションに搭載された GPS は、位置特定機能があるので車を移動するセンサとして活用することも可能となり、その結果、様々なセンシング情報の測定が可能となる[13]。インターネット ITS [14] で検討されたプローブ情報を収集する、プローブカーがその例である。位置情報や区間速度及び路面状況などの情報を車両から情報センタにアップロードし、それをを用いて渋滞情報や道路交通情報を車両に配信する。車内でのインターネットからの情報取得あるいは各種センサ情報（走行状態、道路状態等）のアップロードなど、車載ネットワークと外部通信ネットワークとの相互接続を行うことが求められる。

また、低炭素社会実現のため、環境に配慮した電気自動車（EV: Electric Vehicle）の導入が進められているが、EVは1回の充電での走行可能距離に制約があり、現時点では充電設備の設置箇所が少ないなどの課題がある[15]。EV導入促進のためには、通信ネットワークによりEVのバッテリー残量などをセンタで常時把握し、電気使用量が最小限になるよう、EVの充電を夜間電力で行うか、時間帯などの状況に応じて最適な充電スケジュールリングを行うサービスが求められる。また、EVの充電状況やバッテリー残量を携帯電話などで常に把握し、カーエアコンの作動も遠隔から指示できることが求められる。

(4) 車の情報プラットフォーム化とインターネット利用

車の開発は、「走る・止まる・曲がる」といった機能の追及の歴史であったが、そこにモバイル通信機器が搭載され、さらにカーナビゲーションが搭載されるに至った結果、車は位置情報とリンクした情報へのアクセスを可能とする情報プラットフォームに進化しつつある。単に車内でインターネットから情報をダウンロードするだけでなく、双方向情報伝送により車からインターネットに注文情報等を発信し、実際のサービス窓口でサービスの提供を受けるなど、IP（Internet Protocol）系と非IP系のスムーズな連携が求められる。

車からのインターネット利用として、携帯電話等からインターネット経由で注文・決済を行い、携帯電話を鍵としてサービスの提供を受ける形式のシステムが実用化されているが、これらのシステムでは実際の注文窓口で車を停車し、携帯電話等をリーダー/ライターにかざす必要があり、走行中に即時に相互認証を行い、サービスを受けることが困難である。

また、ITS無線通信サービスは、携帯電話の普及やその高機能化により、そのコンテンツサービスで代替できるケースが多い。表示画面が大きく高機能なスマートフォンの急激な普及は、カーナビゲーションにとって替わる可能性もある。携帯電話で歩行者や車の助手席の人に対してナビゲーションを行うサービスも既に提供されている。また、道路状況や交通規制などVICSやITSスポットが提供するような情報も携帯電話で取得できる。この傾向は、携帯電話が3Gからより高速な次世代方式

の LTE (Long Term Evolution) に移行するにつれ、ますます顕著となってくると思われる。このため、今後、携帯電話サービスとのすみ分けや効果的な連携が求められる。

(5) 隊列走行と自動運転システム

自動あるいは半自動で車両が移動するための技術開発も産官学を問わず盛んに行われている。車車間通信やセンサを用いて、前を走る車両を自動追従する技術や、それをさらに進めて、トラックなどを想定した隊列走行などのための技術開発も行われている。これらに必要な技術として、車載レーダにより歩行者検知などを実現するために、より精度の高い 79GHz 帯を用いる手法の標準化が検討されている。

ITS の各種無線情報システムで利用される主な周波数帯を表 1.2 に示す。

表 1.2 ITS における主な周波数帯

Table 1.2 Main frequency bands in ITS.

無線情報システム	周波数帯	システム概要
VICS	76~90MHz 帯 (FM 多重放送)	・道路交通情報提供
	2.5GHz 帯 (電波ビーコン)	
ETC	5.8GHz 帯	・自動料金収受
DSRC (路車間通信システム)	5.8GHz 帯	・料金決済 ・様々な情報提供
車車間通信システム	5.8GHz 帯 700MHz 帯	・安全運転情報の伝達
準ミリ・ミリ波帯 レーダシステム	24/26GHz 帯 60/76GHz 帯 79GHz 帯	・障害物の検知 (自律型) ・衝突防止 ・歩行者検知

1.2 研究の目的と検討技術

前節で述べたように，ITS の目的である安全・安心で，環境に優しく効率的な，しかも利便性が高く快適な車社会を実現するために，モバイル通信を伝送媒体とする ITS 無線情報システムは，ITS の多様なサービスに対して，利用者の位置や伝送する情報の特性に応じて，利用可能な無線通信メディアの中から適切な通信経路を選択，あるいは組み合わせて利用することにより，それぞれの要求に応じた機能の実現を図ることができる[16]．図 1.2 に通信エリアと即時性要求による ITS サービスと研究課題の分類を示す．

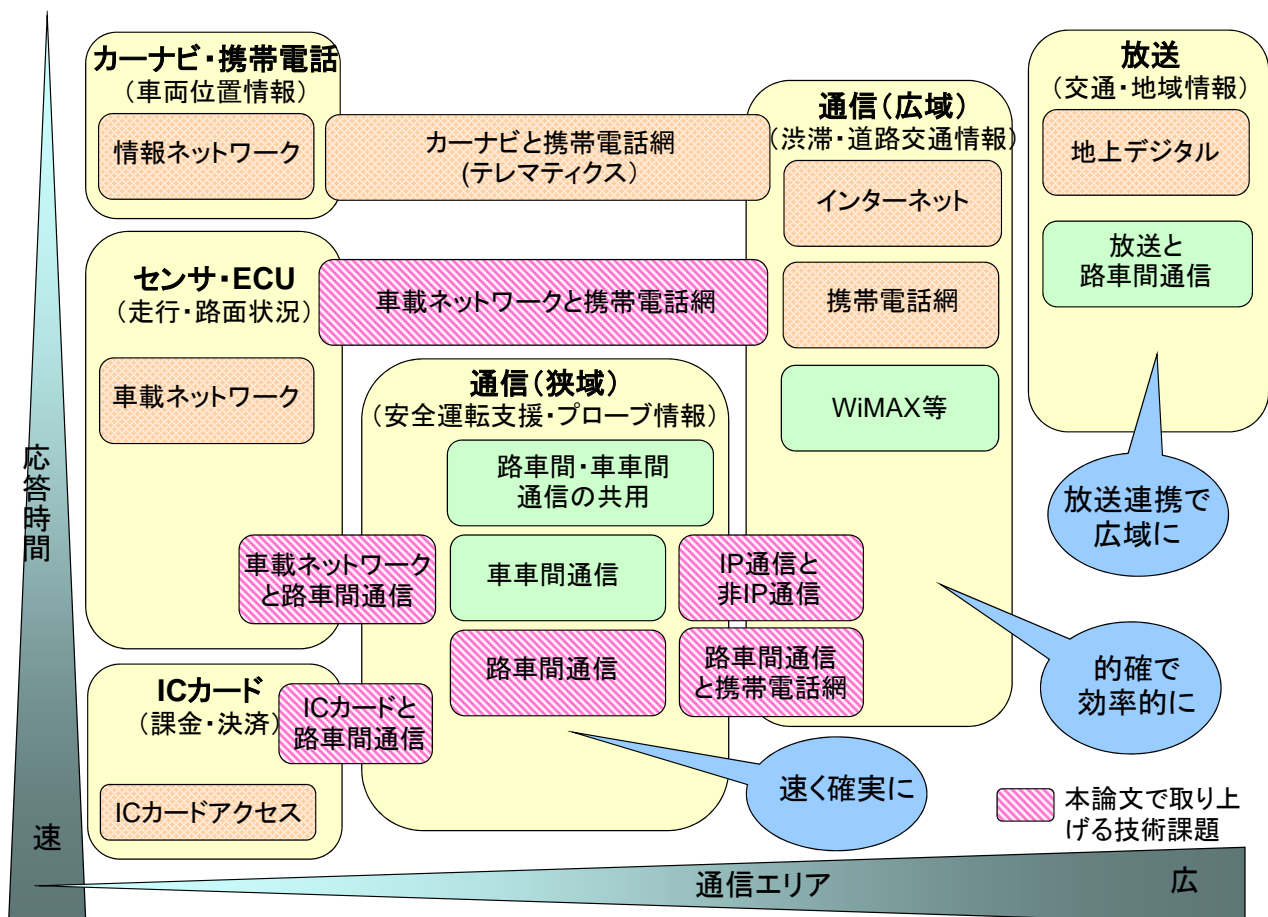


図 1.2 通信エリアと即時性要求による ITS サービスと研究課題

Figure 1.2 ITS services and technical subjects depending on communication area and response time.

図 1.2 の横軸は無線通信方式の通信エリアサイズ，縦軸は通信応答の即時性要求の目安となる応答時間を示す．図の左下の近距離・低遅延領

域では、車両の位置情報や区間速度等の収集及び道路情報等の配信を行い、路側無線アンテナが設置されている ITS スポットでのカーブ先などの追突事故防止等の安全運転支援への利用が想定される。ここでは、速く確実な通信、即ち高信頼、高レスポンスが求められる。一方、右上の広域かつ遅延が許容される領域では、交通・地域情報の配信が想定される。ここでは、放送と連携した広域性が求められる。中央部はこれらの中間として、渋滞・道路交通情報等、利用者の位置に応じてエリアを限定した交通情報等の利用が想定され、的確で効率的な通信が求められる。

以下にそれぞれの通信エリアを想定したシステムを実現するにあたって解決すべき技術課題について述べる。

(1) 路車間・車車間通信技術

近距離域では安全運転支援や課金・決済への利用が想定され、これらを実現するために、多様な無線通信メディアを路車間あるいは車車間通信へ活用することが考えられる。この領域で実現が期待されるサービスとして、前方障害物情報や停止・低速車両情報の提供、死角・接近車両情報の提供、及び道路課金等が想定される。このような近距離での低遅延通信を実現するための技術課題としては、路車間通信による短時間で確実な情報伝送、路車間通信と IC カードアクセスの連携による高セキュリティな情報伝送、車車間通信の中継機能とマルチホップ通信、及び路車間・車車間通信の共用といったものが挙げられる。その中で、本論文では、路車間通信技術の高度化と路車間通信と IC カードアクセスの連携技術を取り上げ、技術検討を行う。

① 路車間通信技術の高度化

路車間通信は道路上に路側無線アンテナが配備されている利用イメージで、事故多発地点等において用いられ、情報センタからの緊急情報配信などの高信頼な通信の提供が期待されるが、大型車両等によるシャドウイング等の回避が課題となっている。本論文では、ITS スポットに設置されている 5.8GHz 帯 DSRC 路側無線装置を前提として、シャドウイング等により通信回線状況が悪化した場合の通信接続に関する課題を解決するために通信リンク切断判定を改良し、さらに DSRC は通信エリア

が狭域なため，基地局の移動局に対する通信接続維持動作を改良し，通信帯域制御を改良する制御方式について研究する．提案方式により，100km/h の高速移動車両に対し，同報通信の安全運転支援情報提供サービスと個別通信のプロブアップリンク情報サービスを同時に提供できることを実証試験により実証する．

② 路車間通信と IC カードアクセスの連携技術

路車間通信では，IC カードによる料金決済への利用が想定され，高セキュリティな情報伝送が必要となる．本論文では，DSRC と非接触式 IC カードを連携する通信シーケンスを提案する．車載器は DSRC 通信エリア内でのみカードアクセス処理を行うことができ，通信エリア外ではカードアクセスを行うことができない．これにより，非接触式 IC カードにアクセスするためのカードキーは，車載器内ではなく，路側装置内に保持され，非接触式 IC カード内のメモリアクセスは，路側制御装置が DSRC を介して IC カードに直接アクセスすることによりセキュリティ性を向上する．次に，DSRC と非接触式 IC カードをベースとした道路課金システムを開発する．複数のセキュリティ性の高い非接触式 IC カードに対応するため，路側装置に SAM (Secure Application Module) を実装する．実証試験により，実験システムが全ての対象 IC カードに対応して，車速 80km/h にて通信エリア内で料金収受をセキュアに完了することを実証する．

③ 車車間通信技術

車車間通信では，見通し外エリアでの急激な受信電力低下による通信特性の劣化を保証するために，中継を利用することによって通信領域を確保・拡大することが必要となっている．また，直接通信では通信エリアが交差点近傍に限定されるという課題があり，そのため，車車間に中継を適用することにより，エリアを拡張することが検討されている．このような課題に対応するため，反射波による影響に強い OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing : 直交周波数分割多重) 方式を使うことが考えられている．また，車車間通信においては，直接

の無線通信範囲外にいる車両同士であってもお互いの通信範囲内に存在する別の車両を経由することで情報伝達を可能とするマルチホップ通信が必要となる。このようなマルチホップ通信において、高信頼性と高レスポンスを確保するための技術開発が行われている。

④ 路車間・車車間通信の共用

各車両は車同士で車車間通信を行っており、車車間通信の環境では、全ての車両は基本的に同じ周波数チャネルを利用し、周囲の車に対して一斉に自車の情報を伝える同報通信が基本になると想定される。この状況に加え、交差点付近など道路の主要箇所には路側機が設置され、路車間通信を使って安全運転支援に必要な情報が提供される。この路車間通信においても情報の提供先は特定の車両とは限らないため、通信エリアに存在する全ての車両に届くように同報通信を行っている。以上の状況において各車両は路側機の電波が届かないエリアでは車車間通信のみを行うが、路側機の電波が届くエリアに入ると車車間通信に加えて路車間通信も行う必要が生じる。このため、路車間・車車間通信を効率よく切り替えるあるいは共存させる路車間・車車間通信の共用方策が必要となる。

(2) テレマティクス・インターネットの高度化

テレマティクスやインターネットサービスのような中距離域においては、近距離域と広域の中間として双方の特長を活かし、そして、利用者の位置を踏まえたエリア限定サービスの提供が想定される。この領域では、利用者が欲しい情報を安定してシームレスに伝送できることが重要である。このような中距離での通信を実現するための技術課題としては、車のネットワーク化のための外部通信ネットワークと車載ネットワークの相互接続技術、及び車の情報プラットフォーム化とインターネット利用のための IP 通信と非 IP 通信の連携技術等が挙げられる。本論文では、外部通信ネットワークと車載ネットワークの相互接続技術と IP 通信と非 IP 通信の連携技術を取り上げ、技術検討を行う。

① 外部通信ネットワークと車載ネットワークの相互接続技術

車内の様々なセンシング情報を車両から情報センタにアップロードし、それを用いてセンタが車両に情報配信するための外部通信ネットワークと車載ネットワークの相互接続技術について研究する。路車間通信として DSRC、広域通信網として 3.5G (3.5th Generation) 通信回線、車載ネットワークとして CAN (Controller Area Network) を採用し、DSRC または 3.5G 通信回線と CAN を接続する通信プロトコル、及び DSRC と 3.5G 通信回線を連携する通信プロトコルを提案する。次に、EV が持つ課題と特性に対応した ITS サービスを提供するため、広域通信網と路車間通信及び車載ネットワークを相互接続した EV 向け ITS 情報通信システムを提案し、センタ及び路側無線装置から車載器を介して EV データの読み出しと EV の遠隔操作を行う車載システムと路側システムを開発する。実証試験により、EV のバッテリー残量を 1 秒以内のサンプリング周期で連続的に収集して車両内に情報提供すること、EV を遠隔操作することによりリアルタイムに車両状態を変化させることを実証する。さらに通信システム上で動作するサービスアプリケーションにより、充電ステーションでの最適な充電スケジューリングを行い、安価な夜間電力を使って充電コストを削減できることを実証する。

② IP 通信と非 IP 通信の連携技術

車内でカーナビゲーションからインターネットにより注文情報等を登録し、実際のサービス窓口でサービスの提供を受ける、IP 通信と非 IP 通信の連携技術について研究する。カーナビゲーションから車載器を介して注文情報等をセンタサーバに登録し、その後、サービス窓口に設置した DSRC 路側装置により即時に相互認証し、注文情報を呼び出す、IP 通信と非 IP 通信を共存させる通信プラットフォームを実装する。次に、ドライブスルー実験システムとして、双方向情報伝送により複数の車から同時に注文情報を登録できる IP アプリケーションと、DSRC 通信により注文確定・支払処理を行う非 IP アプリケーションを開発する。ドライブスルー実店舗に DSRC 路側装置を設置し、実環境で実証実験を行い、実験システムにより、車両が注文窓口に来てから注文確定と支払が完了

するまでの処理時間が現行より 50%削減され、ドライブスルー利用者の待ち時間が短縮できることを実証する。

(3) 地上デジタル放送との連携

自動車における広域のサービスとしては、広く一般に送るべき情報を放送連携で広域に送るために、例えば、放送と連携した交通・地域情報配信といった汎用なサービスが期待される。ここでは、ITS 無線通信による緊急の通知と汎用性の高い道路交通情報の配信が課題となる。

① ITS 地上デジタル放送連携技術

ITS では特に乗車中の人に対して安全・安心に係わる情報の提供やきめ細かな情報提供の実現を目指したサービスが期待されている。この実現に向けて、地上デジタル放送と DSRC を連携させるシステムが検討されている。ここでは、放送局からの緊急警報を DSRC 経由で車両に伝達する緊急警報放送を通知する技術、放送局からの広域情報に DSRC 路側機からの地域情報を加えて、広域・地域情報がマージされたサービスを実現する ITS 情報補完放送が検討されている。

以上のように本論文では、ITS 無線情報システムに求められる無線通信方式の要件を明確化し、実現に向けた技術課題を整理し、課題解決のための方策の検討を行う。さらに、実験システムを開発し、実用化に向けて実環境で実証試験を行い、ITS 無線情報システムの高度化を目指すものとする。

1.3 本論文の構成

本論文は全 6 章から構成されている。

第 1 章は序論であり，本研究の背景と目的，技術課題，本論文の構成を述べる。

第 2 章では，安全運転支援を行う協調システムの路車間通信技術の高度化について検討する。路車間通信において同報通信の情報提供サービスと個別通信のアップリンク情報サービスを同時に提供する，同報・個別通信混在環境での同報通信と個別通信の共用方策について解説する。まず，ARIB 標準に規定されている DSRC 通信方式について述べ，次に ARIB 標準を前提として既存の標準規格の拡張により通信特性を改善する制御方式と実証試験による評価について記述する。

第 3 章では，車のネットワーク化と EV への ICT 適用について検討する。車内の様々なセンシング情報を車両から情報センタにアップロードし，それを用いてセンタが車両に情報配信するための外部通信ネットワークと車載ネットワークの相互接続技術について解説する。まず，広域通信網及び路車間通信により車両の状態変化を即時に検知すると，情報センタで車両情報を管理し，センタ及び路側無線装置から車両を遠隔操作し，リアルタイムに車両状態を変化させる通信手段について説明する。次に，EV 向け ITS 情報通信システムの開発と実証試験による評価について記述する。

第 4 章では，車の情報プラットフォーム化とインターネット利用について検討する。車内でカーナビゲーションからインターネットにより注文情報等を登録し，実際のサービス窓口でサービスの提供を受ける，IP 通信と非 IP 通信の連携技術について解説する。まず，カーナビゲーションから車載器を介して注文情報等をセンタサーバに登録し，その後，サービス窓口に設置した DSRC 路側装置により即時に相互認証し，情報を呼び出す通信システムについて説明する。次に，ドライブスルー実験システムにより実環境で実証実験を行い，通信システム上で動作するサービスアプリケーションとして，ドライブスルーシステムの実用性評価について記述する。

第 5 章では，路車間通信と IC カードアクセスの連携技術について検討

する。DSRC 通信エリア内でのみ車載器はカードアクセス処理を行うことができる、DSRC と非接触式 IC カードを連携する通信シーケンスについて解説する。非接触式 IC カード内のメモリアクセスは、路側制御装置が DSRC を介して IC カードに直接アクセスすることによりセキュリティ性が向上することを説明する。次に、DSRC と非接触式 IC カードをベースとした道路課金システムの開発と実証試験による評価について記述する。

第 6 章では結論を述べ、本論文で得られた結果を要約して評価する。

第2章 路車間通信技術の高度化

2.1 まえがき

道路に設置した路側無線装置（基地局，RSU：Road Side Unit）と車両に搭載された車載器（移動局，OBU：On Board Unit）との間で通信を行う路車間通信を利用した，車両への様々なサービスが実用化され，路側から車両への情報提供に加えて，走行履歴や性能データなどの車両情報を路側に吸い上げ，それを活用するサービスへと拡大している[17]．これまでには同報通信（放送型）・個別通信（双方向型）専用のサービスが提供されてきたが，今後は同報・個別通信混在環境でのサービスが本格化し，受送信する情報量は多くなると予想される[18]．

本章では，路車間通信として ETC などに用いられている 5.8GHz 帯 DSRC（専用狭域通信）[21] を対象とする．ここで，移動局が受信する同報情報量は 25kbyte 以下，移動局が送信するアップリンク情報量は 4kbyte 以下とすることが規定されている[19] [20]．また，5.8GHz 帯 DSRC 通信方式では，移動局から基地局へのアップリンクは，通信リンク接続によるコネクション型の個別通信によりデータ送信することが規定されている[9]．

このような1つの基地局が複数の移動局に対して，同報通信の情報提供サービスと個別通信のアップリンク情報サービスを同時に提供するシステムでは，複数の移動局が限られた通信領域内で所望の同報データ，アップリンクデータを同時に受送信することにより安定したサービスが提供できる．この場合，通信手段における課題は以下の2点である．

- 移動局は，基地局と通信リンク接続し，通信回線状況悪化による通信不安定時においても，サービス提供のために必要とされる通信接続時間を確保すること．（通信接続に関する課題）
- 基地局は，通信帯域を効率よく利用し，通信領域内の複数の移動局と所望のデータ量の情報交換を可能とすること．（通信帯域に関する課題）

本章で対象とする DSRC は ARIB 標準 STD-T75 [9], STD-T88 [23] に準拠し，通信領域が比較的狭いこと，伝送速度が速いことなどを特長と

している．本章ではこれらの ARIB 標準を前提として既存の標準規格の拡張により通信特性を改善する制御方式を提案する．

通信接続に関する課題については，通信領域の入口・出口付近でスムーズな通信リンク接続・切断が実現できることが必要である．また，高速で移動する車環境ではシャドウイング等により通信回線状況が悪化した場合，通信領域内の移動局が連続して回線断となり，通信不能な状況になることがある．本章では移動局の通信接続管理に着目し，移動局の通信接続管理タイマによる通信リンク切断判定を改良した．通信不安定になった場合も再接続により接続可能時間を確保する制御方式を提案する．

また，DSRC は通信領域が狭域なため，本章では，通信帯域に関する課題を解決するために基地局の通信帯域制御に着目し，基地局の移動局に対する通信接続維持動作を改良した．占有する通信帯域を開放することにより通信効率を向上させ，基地局が通信領域内の複数の移動局と所望のデータ量の情報交換を可能とする方式を提案する．

実証試験の結果，提案方式による通信接続管理改善及び通信帯域制御の効果を確認し，提案方式の適用により複数の移動局が限られた通信時間内に所望の情報量を同時に受送信完了することを確認し，提案方式の有効性を評価した．

以下，2.2 節で従来制御方式，2.3 節で同報通信と個別通信の共用について述べたのち，2.4 節で同報・個別通信混在時の安定したサービス提供のための制御方式を提案する．2.5 節で実証試験について説明し，最後に 2.6 節で本章をまとめる．

2.2 従来制御方式

2.2.1 受信信号強度制御

文献[18]において受信信号強度（RSSI：Received Signal Strength Indicator）制御を適用することが規定されている．これまで基地局と移動局とが安定した通信リンク接続を行うため，RSSI 制御について研究されている[24]．RSSI 制御を適用しない場合，通信領域の入口付近で通信リンク接続・切断が繰り返し発生するという問題が生じる．リンク接続

用 RSSI 閾値，リンク切断用 RSSI 閾値を選定し，リンク接続・切断のタイミングを判定することによりリンク接続・切断が繰り返し発生する現象が解消し，スムーズなリンク接続・切断が実現できることが確認されている．RSSI 制御を適用したリンク接続・切断例を図 2.1 に示す．

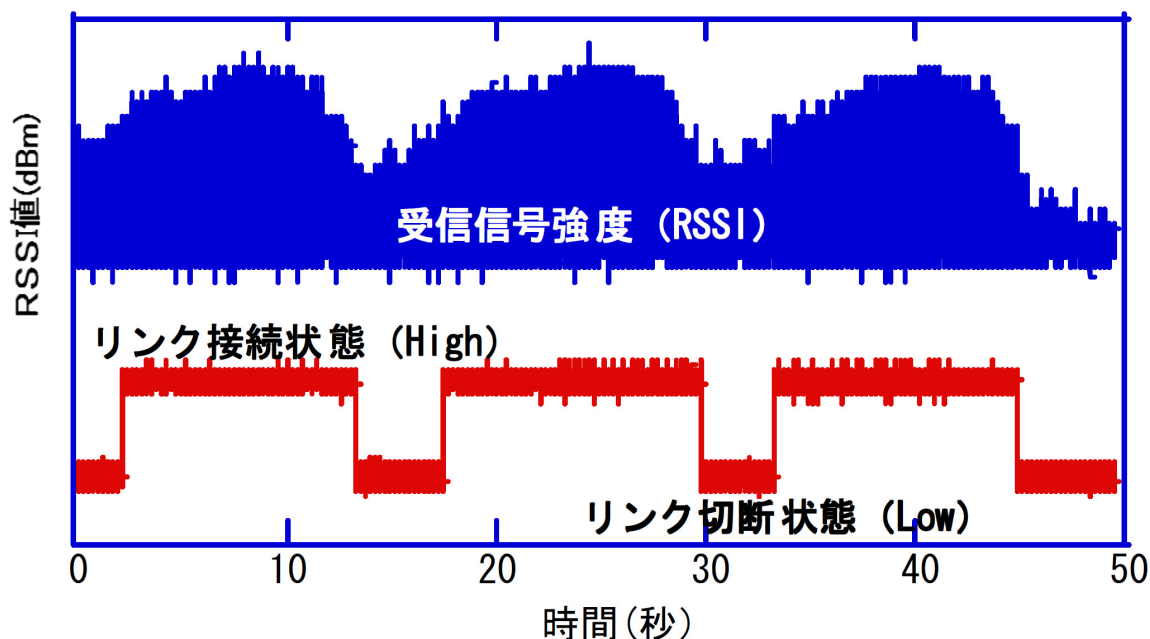


図 2.1 RSSI 制御を適用したリンク接続・切断例

Figure 2.1 Example of a RSSI control with link connected/disconnected.

RSSI 制御を適用した，移動局におけるリンク接続手順とリンク切断・周波数選定移行手順の一例を以下に記す．

- ① 移動局が基地局のエリア進入時，周波数選定状態から連続して RSSI 値が正しく検出された場合にリンク接続手順への移行を判断する．
- ② 次に，リンク接続が完了して移動局が正常動作状態に移行すると，RSSI 値検出時のエラーの発生状況に応じて状態が遷移する．ここで，連続してエラーが発生すると，異常動作状態と判断し，リンク切断手順への移行が判断される．
- ③ 移動局は RSSI 値によってリンク切断手順への移行を判断する．一旦リンクが切断されると，周波数選定状態に移行し，以後繰り返しの動作を行う．

上記のリンク切断判定では、基地局と移動局が通信リンク接続後にシャドウイング等により通信回線状況が悪化し、基地局が移動局からデータ受信できなくなった場合、移動局は基地局からデータを受信できると、通信継続状態と判断するため、基地局と移動局のリンク切断判定が行われず、移動局はリンク切断手順に移行することができない。その結果、移動局は通信領域に存在するにも拘わらず個別通信が行えなくなり、再接続する機会を逸することから通信不能な状況となる。

2.2.2 ARIB 標準における通信接続管理

ARIB STD-T88 では、基地局の通信接続管理タイマ（CTR: Connection Timer for RSU）及び移動局の通信接続管理タイマ（CTO: Connection Timer for OBU）により基地局と移動局間の通信接続の状態を監視することが規定されている。CTR は移動局との通信接続毎に生成し、当該移動局からデータ受信できずに CTR がタイムアウトした場合は、リリース信号を移動局に送信して CTR を終了させる。CTO は基地局との通信接続時に生成し、基地局から有効なデータ着信の通知を受ける毎に CTO をリセットする。基地局から有効なデータ着信がなく CTO がタイムアウトした場合は、CTO を終了させ、新たな接続通知もしくは同報受信を待ち受ける。

上記の通信接続管理では、基地局が移動局からデータ受信できなくなった場合、基地局において CTR によるタイムアウトが発生するが、移動局では基地局から同報データを受信できる場合がある。同報データ受信により CTO のリセットを続けると、移動局は基地局との通信接続を継続しているものと見なし、再接続する機会を逸することから通信不能な状況となる。

2.2.3 ARIB 標準における通信帯域制御

ARIB STD-T88 では 1 つの通信フレームを時分割して複数スロットに分け、それぞれのスロットに各移動局向けのデータを割り付けることが規定されている。基地局においてデータ分割、移動局で組立を行う通信制御により、通信フレーム中の複数スロットを同一移動局に多重化して割り付け、通信スロットを有効利用することで実効伝送速度の向上を図っている。通信フレームは、路車間通信に必要な制御情報などを格納す

る制御スロットと複数の移動局とデータ交換を行うための複数のデータスロット（個別通信用スロット，同報通信用スロット），及び移動局が基地局に通信接続を要求するためのスロットから構成される．通信フレームのスロット配置例を図 2.2 に示す．

基地局のアプリケーションサブレイヤ（ASL）はアプリケーションからサイズの大きいデータを受け取った場合，データを通信フレームの 1 スロット容量内に収まるサイズに分割し，順次レイヤ 7（アプリケーションレイヤ）へ渡すように操作する．分割されたパケットはレイヤ 2（データリンクレイヤ）の送信キューに積み上げられ，空スロットに順次割り付けられる．これにより移動局は 1 フレーム中の複数スロットを占有することが可能となる．ARIB STD-T88 では，同報・個別通信混在時には，同報通信用のスロットを 1 フレームに 1 スロット以上を確保することが規定されている．

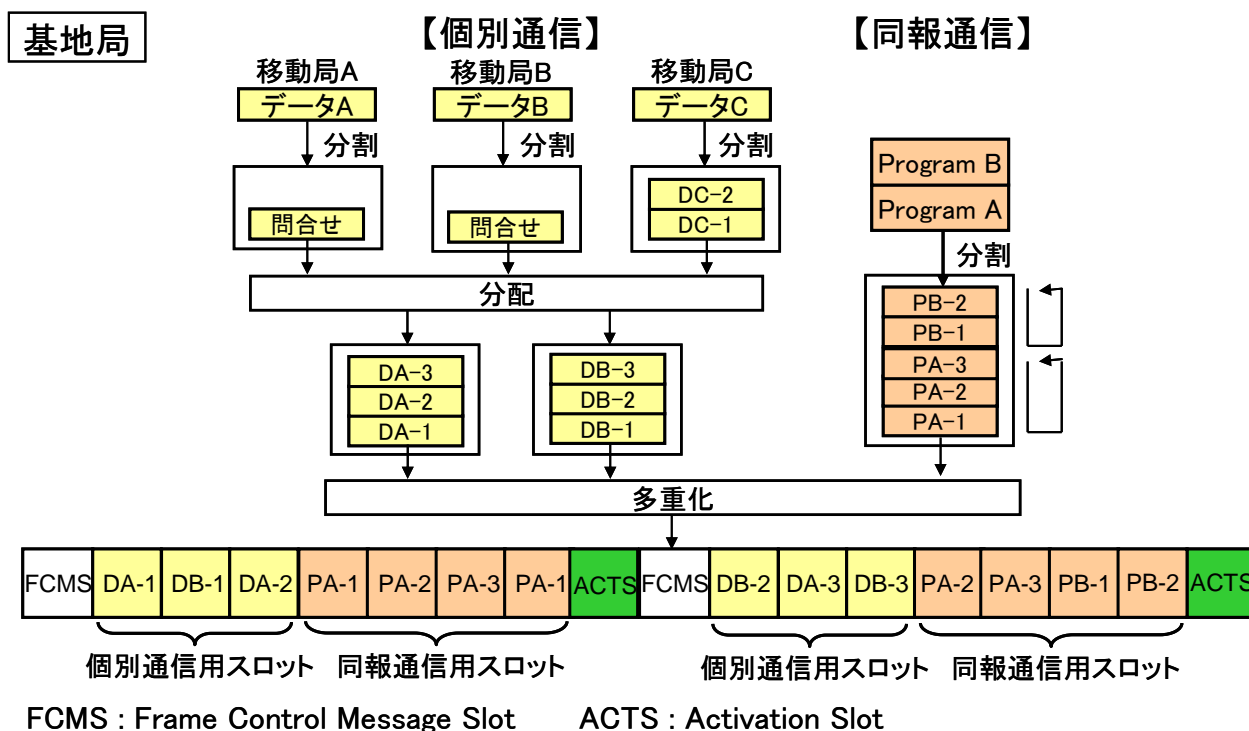


図 2.2 通信フレームのスロット配置例

Figure 2.2 Example of slots arrangement on communication frames.

2.3 同報通信と個別通信の共用

2.3.1 路車間通信のゾーン構成

本章で対象とする路車間通信では，1つの基地局が複数の移動局と同時に通信を行う構成とする．基地局位置を中心とした直径20～30mの範囲を通信領域として安定した通信ゾーンを構成するが，シャドウイング等により通信回線状況が悪化し，通信不安定になることがあるものとする．ここでシャドウイングとは，基地局と移動局の間の電波伝搬路に他の車両や障害物が存在することで電波が遮られて，通信に影響を与える現象である．図2.3に通信ゾーン構成を示す．

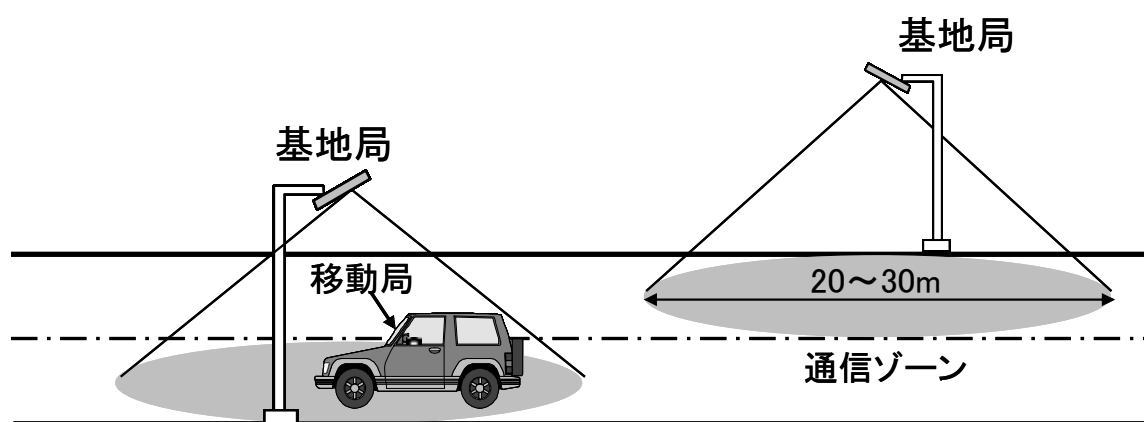


図 2.3 通信ゾーン構成

Figure 2.3 Configuration of communication zone.

2.3.2 同報通信

同報通信では，移動局が通信領域に入ると，基地局から移動局へ同報データを送信する．データ送信は単方向であり，移動局は基地局へ確認応答を送信しない．基地局は通信領域内の不特定多数の移動局を対象に，誤り率を改善するためにデータを複数回繰り返して送信する「連送処理」を行う．同報通信では，例えば渋滞情報や規制情報等の道路交通情報を画像や音声で提供する．同報通信例を図2.4に示す．

2.3.3 個別通信

個別通信では，基地局と移動局との通信リンク接続後，通信を開始し，移動局または基地局からデータを送信すると相手局から確認応答を受信する．個別通信では，例えば車両位置や車速等の車両の走行履歴データ

を基地局が収集する。基地局は、移動局への転送データがない場合に移動局に対して送信有無を問い合わせる「送信問い合わせ」を周期的に行う。移動局は送信データを保持している場合、この問い合わせに応えることでデータを送信できる。移動局に送信するデータがない場合は、データがないことを基地局に通知する。基地局は応答の有無によって移動局の存在を監視することになり移動局との通信が継続可能かどうかの判定が可能である。個別通信例として「プローブ情報を活用した安全運転支援サービス」を図 2.5 に示す。

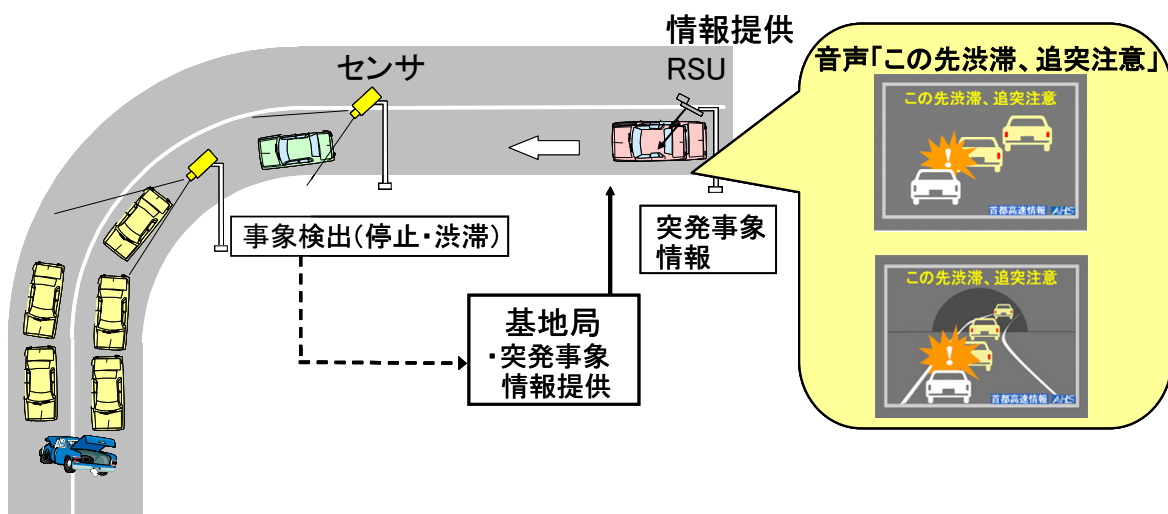


図 2.4 同報通信

Figure 2.4 Broadcast communications.

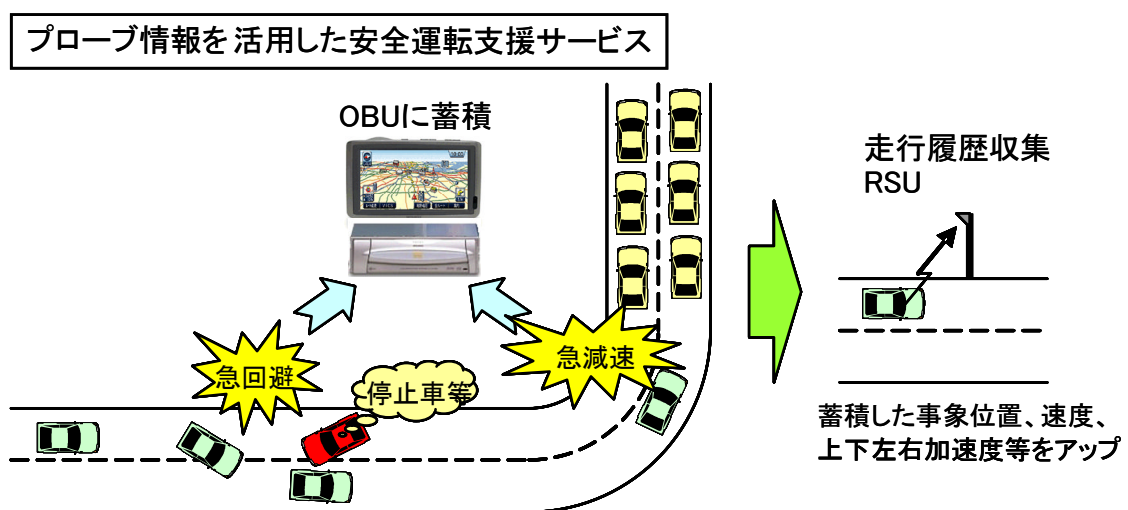


図 2.5 個別通信

Figure 2.5 Individual communications.

2.3.4 DSRC 通信方式と要求条件

本章で対象とする通信方式と要求条件を以下に示す。5.8GHz 帯 DSRC は、ARIB STD-T75, STD-T88 に準拠し、通信領域が比較的狭いこと、伝送速度が速いことなどを特長としている。片側 4 車線道路を走行する車両に対応するため、移動局の同時接続台数を 4 台としている。走行速度 100km/h にて通信領域 20m を通過する通信時間 720ms 内に、同報 50kbyte, アップリンク 4kbyte の受送信が完了することを要求条件とする。同報情報量は伝送途中のエラーを考慮し、25kbyte×2 回分のデータ量とする。ここで、走行速度 100km/h は高速道路の制限速度であり、20m は 5.8GHz 帯 DSRC の最小通信領域である。同時接続台数 4 台、同報情報量 25kbyte, アップリンク情報量 4kbyte は、文献[18] [19] [20] に規定されている数値を根拠とする。

- 通信方式：5.8GHz 帯 DSRC (ARIB STD-T75/T88 準拠)
 - 伝送速度 4Mbps (QPSK: Quadrature Phase Shift Keying)
 - 空中線電力 (移動局) 10mW 以下, (基地局) 300mW 以下
- 1 スロット容量：(同報) 181byte, (個別) 183byte
- 1 フレーム通信時間：7ms
- 1 フレーム利用可能スロット数：7 スロット
- 同報情報量：50kbyte (25kbyte×2 回)
- アップリンク情報量：4kbyte
- 最小通信領域：20m
- 同時接続台数：4 台
- 移動局の通信時間：720ms (走行速度 100km/h での通信領域 20m の通過時間)
- 送信問い合わせ周期：4 フレームに 1 回

2.3.5 通信接続に関する課題

ARIB STD-T75 では、移動局の空中線電力を 10mW 以下、基地局の空中線電力を 300mW 以下と規定しており、移動局の空中線電力は基地局の空中線電力よりも小さいため、シャドウイング等により通信回線状況が悪化した場合、移動局は基地局からデータ受信できるが、基地局は移動局からデータ受信できなくなるケースが生じる。この場合、基地局が

通信切断状態，移動局が通信継続状態となり，基地局と移動局の通信状態が一致しなくなることがある．基地局は個別通信途中に移動局が通信領域から抜けた（通信エリアアウト）と判断する．移動局は通信領域に存在するにも拘わらず個別通信が行えなくなり，また，再接続する機会を逸することから通信不能な状況となる．

図 2.6 に基地局と移動局の通信状態が不一致となるシーケンス例を示す．移動局の空中線電力が基地局の空中線電力よりも小さいため，通信が不安定な場合，基地局が個別通信の確認応答を移動局から受信できないことにより，基地局からの個別通信が届かず，基地局が通信切断状態となることがある．移動局は基地局から同報データを受信できると，通信継続状態となる．

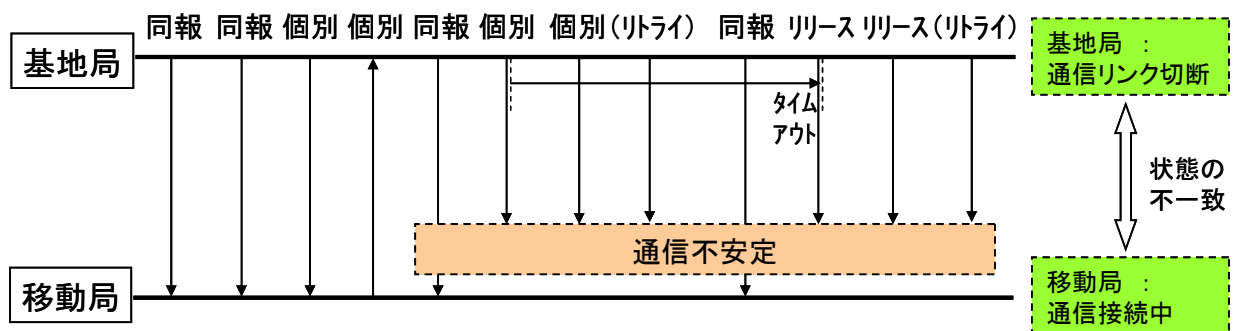


図 2.6 基地局と移動局の通信状態が不一致となるシーケンス例

Figure 2.6 Example of sequence wherein communication state of base station and mobile station become non-corresponding.

以下に，課題となる具体的ケースについて整理する．

2.3.5.1 個別通信が途中で終了するケース

ARIB STD-T88 では，基地局が移動局からデータを受信できなくなった場合，通信接続管理タイマ CTR によるタイムアウトが発生する．同報・個別通信混在時に CTR がタイムアウトした時点で基地局から送信されるリリース信号を通信回線状況悪化により移動局が受信できず，一方で同報データ受信により通信接続管理タイマ CTO のリセットを続けると，移動局は通信領域に存在するにも拘わらず途中で個別通信が終了し，個別サービスを提供できないケースがある．

文献[25]のシミュレーション結果によると、片側2車線で車両速度が第1車線80km/h、第2車線100km/h、車両密度が100台/kmの場合、シャドウイングが発生する確率は0.08である。ここで、車両密度は1つの車線で1kmに何台の車両が存在するかで表す。実際の通信では、個別通信は受信できず、同報通信だけ受信できるケースは、10回に1回の頻度で発生すると考えられる。通信が不安定な場合、基地局が個別通信の確認応答を移動局から受信できないケースがあるが、個別通信は受信できて同報通信だけが受信できないケースは、ほとんど発生しないと考える。

2.3.5.2 個別通信が開始できないケース

基地局と移動局との通信リンク接続において、移動局は基地局から接続通知を受信したが、基地局は移動局から確認応答を受信できない場合、移動局は同一通信領域において個別通信を開始できず、個別サービスを提供できないケースがある。ARIB STD-T88では、移動局は接続通知受信時点でCTOをリセットするが、基地局は確認応答を受信できないため、CTRによる通信接続監視が開始されない。この場合、移動局は同報データを受信することができる。

2.3.5.3 通信再接続遅延

移動局において通信切断が発生した場合、再接続までにリリースタイムで規定される時間と周波数選定時間を加算した時間だけ必要となる。その結果、一旦通信が切断されると、再接続することなく通信領域から抜けてしまい、通信不能な状況となり、移動局が所望のサービスを提供できないケースがある。この場合、移動局は同報データも受信することができない。

2.3.6 通信帯域に関する課題

個別通信において、基地局は移動局への転送データがない場合に、移動局に対して送信問い合わせを周期的に行う。基地局は応答の有無によって移動局との通信が継続可能かどうかの判定が可能である。この送信問い合わせによって一定の通信帯域が占有され、移動局の同時接続可能台数を制限したり、同報通信で利用可能な通信帯域を制限したりする。以下に、課題となる具体的ケースについて整理する。

2.3.6.1 個別通信の接続維持動作

ARIB STD-T88 では、個別通信の通信接続を維持するために、基地局・移動局間で送信問い合わせが周期的に行われる。この送信問い合わせには、それぞれ 1 スロットを占有することから、複数の移動局との同時通信等により同報通信帯域を圧迫する要因となり、1 フレームに割り当てられる同報通信用スロット数が少なくなる場合、所望の同報データを移動局が受信できなくなるケースがある。

2.3.6.2 複数移動局の同時接続が制限されるケース

走行中の車両に対するサービスにおいて複数の移動局が通信領域に存在する場合、先行する移動局が通信領域から抜けるときに先行車への再送処理が発生し、後続車が利用可能な通信帯域が減少すると考えられる。渋滞等により先行車が静止している場合、先行車によって通信帯域が占有され、隣接車線を走行する後続車が個別通信を開始できず、個別サービスを提供できないケースがある。図 2.7 に走行中の車両に対するサービス例を示す。この場合、同報通信で利用可能なスロット数が少なくなり、所望の同報データを移動局が受信できなくなる。

- ① 車両 A, B, C が通信領域から抜けるときに、車両 A, B, C への再送処理が発生し、通信帯域が占有される。
- ② その結果、後続車との個別通信が開始できず、車両 G のように第 3 車線を走行する車両に対するサービスの提供が行えなくなる。

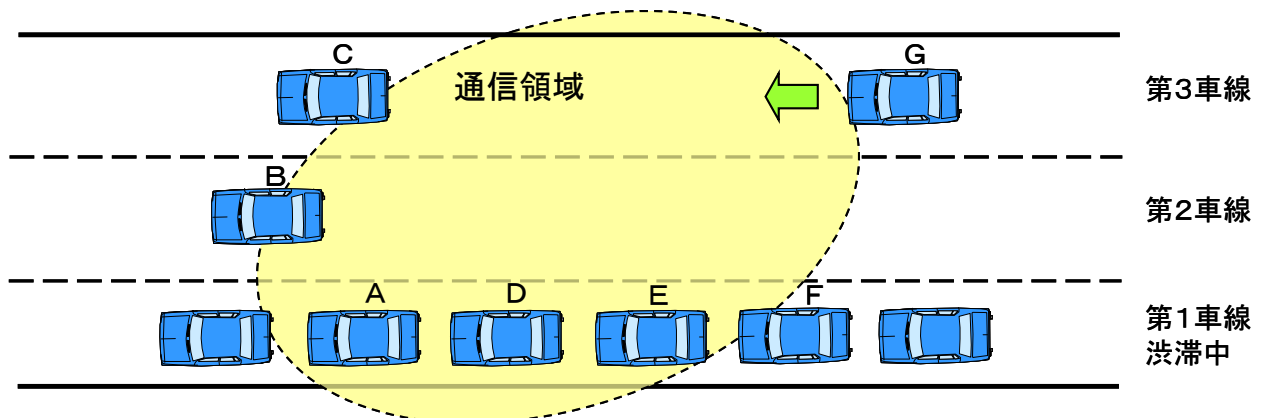


図 2.7 走行中の車両に対するサービス例

Figure 2.7 Example of services to running vehicle.

2.4 同報・個別通信混在時の安定したサービス提供のための制御方式

前節に示したように、現行システムでは通信接続に関する課題と通信帯域に関する課題がある。本章ではこれらの課題を解決するために移動局の通信接続管理と基地局の通信帯域制御に着目し、同報・個別通信混在時の通信特性を改善する制御方式を提案する。

2.4.1 移動局の通信接続管理の改良

ARIB STD-T88 では、同報・個別通信を問わず、基地局から有効なデータ着信の通知を受ける毎に移動局の通信接続管理タイマ CTO をリセットする。そのため、基地局が個別通信の確認応答を移動局から受信できずに通信接続管理タイマ CTR がタイムアウトした場合、移動局は基地局との通信接続を継続しているものと見なし、基地局と移動局の通信状態が不一致となる。個別通信が通信不能な状況を解消するためには、移動局が個別通信の双方向データ未受信を検知し、通信リンク切断判定により通信リンクを切断し、再接続する必要がある。

そこで本章では、同報・個別通信混在時の CTO による通信リンク切断判定を改良し、移動局が同報データを受信し、かつ個別通信を開始している場合、同報データ受信時の CTO リセットを抑制する。同報・個別通信混在時において、個別通信開始以降は、双方向データ受信時のみ CTO をリセットすることにより、CTO タイムアウトを制御する方式を提案する。

ARIB STD-T88 では、基地局において CTR タイムアウトを検知した場合、リリース信号を移動局に送信することで通信リンクを切断し、再度周波数選定からやり直すことができる。本章では、CTO の値を「再送回数×1 フレーム通信時間」以下に短縮することを提案する。ここで、再送回数は基地局から移動局への再送回数であり、基地局のアプリケーションの送信モジュールにて再送する毎にカウントする。移動局は変数により基地局から渡される。現行システムでは CTO の値は、0～4,095ms の定数で設定されていた。CTO が短くてすぐにリンク切断と判定すると何度もリンク接続を試みなければならず、逆に長くするとリンク切断の検知が遅くなる。通信が不安定なほど通信に時間がかかるため、CTO を長くする必要があ

り，通信の不安定性と再送回数は比例していると考えられるため，CTOを再送回数に比例する式で与えた。

通信回線状況悪化により移動局がリリース信号を受信できない場合，CTOの値を「再送回数×1フレーム通信時間」以下に短縮することによって，同一通信領域においてCTOタイムアウトにより通信リンクを切断し，通信接続をやり直すことができる。移動局がリリース信号を受信できない場合，同報データも未受信と想定することができ，移動局においてCTOタイムアウトにより通信切断し，再度周波数選定からやり直すことで通信不能な時間を短縮し，通信領域内で通信可能な状況となる。

図 2.8 に同報と個別の CTO を別管理する通信シーケンスを示す。

- ① 個別通信開始以降は，個別通信の双方向データ受信時のみ CTO をリセットする。同報データ受信時は CTO をリセットしない。CTO の値を「再送回数×1フレーム通信時間」以下とする。
- ② 移動局の空中線電力は基地局の空中線電力よりも小さいため，通信が不安定な場合，基地局が個別通信の確認応答を移動局から受信できないことにより，基地局からの個別通信が届かなくなることがある。
- ③ 双方向データ受信時のみリセットされる CTO がタイムアウトした時点で，基地局と移動局の通信リンクを切断し，再度周波数選定からやり直す。

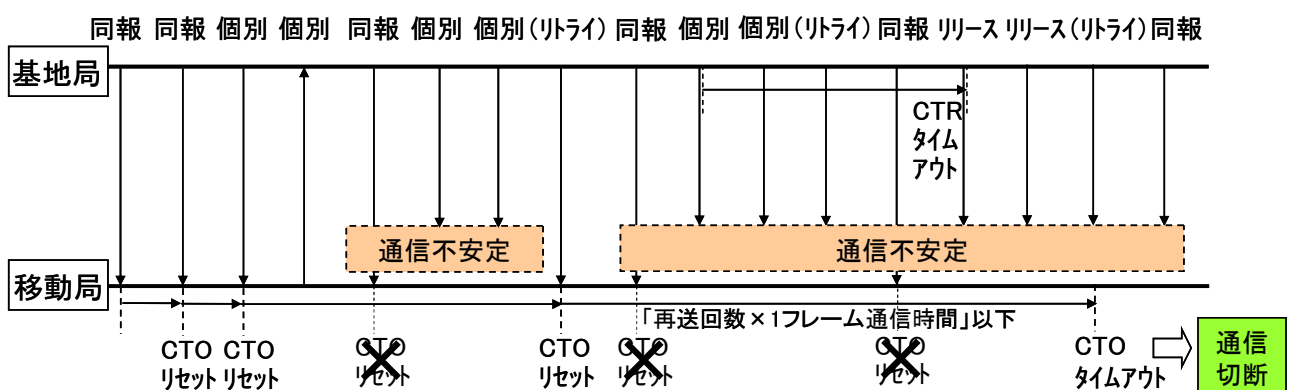


図 2.8 同報と個別の CTO 別管理のシーケンス

Figure 2.8 Sequence wherein broadcast and individual CTO are controlled separately.

提案方式は、基地局と移動局の通信リンク切断判定を改良することができ、2.3.5.1 個別通信が途中で終了するケースに適用できるとともに、基地局が移動局から応答を受信できず、CTRによる通信接続監視が開始されない、2.3.5.2 個別通信が開始できないケースにも適用できる。双方向データ受信時のみリセットされる CTO がタイムアウトした時点で基地局と移動局の通信リンクを切断し、再度周波数選定からやり直すことで、通信領域内で移動局が通信可能な状況となり、接続可能時間が長くなると予測できる。

また、2.3.5.3 通信接続遅延に対応する通信再接続時間を短縮する方法として、リリースタイマの設定を行わない手法が考えられる。リリースタイマを抑制すると、移動局が通常の通信エリアアウト時に同一基地局と再接続する可能性があるが、通信再接続を迅速に行える手法として使えるものとする。

2.4.2 基地局の通信帯域制御の改良

現行システムではサービスが終了した移動局に対しても、基地局から送信問い合わせを送信し、通信領域から抜けるときに再送処理が発生する。複数の移動局が通信領域に存在する場合、先行車によって通信帯域が占有され、後続車が個別通信を開始できないケースがある。同報・個別通信混在時には、複数の移動局との同時通信により、1 フレームに割り当てられる同報通信用スロット数が少なくなり、所望の同報データを移動局が受信できなくなるケースがある。

そこで本章では、基地局からサービスが終了した移動局への送信問い合わせを停止することにより、2.3.6.1 個別通信の接続維持動作を改良する制御方式を提案する。基地局においてアプリケーションの移動局との通信終了条件を定めることにより、移動局に対するサービスの終了を検知すると、同報通信を継続したまま、サービスが終了した移動局への個別通信のみ終了させる。移動局に送信する送信問い合わせを停止することで、占有する通信帯域を開放することができる。基地局アプリケーションは、移動局との双方向のデータ通信の終了を判定する手法により、移動局に対するサービスの終了を検知する。

図 2.9 に基地局アプリケーションから個別通信のみ終了させるシーケ

ンスを示す. ARIB STD-T88 では, 基地局において, DSRC プロトコルとアプリケーションの間に ASL を介在し, DSRC の通信機能を補完する拡張 DSRC プロトコルとして階層構造を持つ. 移動局に対してリリース信号の送信を抑制することによって移動局は継続して同報データを受信することができる. 下記に個別通信の終了手順を記す.

- ① 基地局アプリケーションは移動局とのデータ通信の終了条件を判定する.
- ② 基地局アプリケーションは移動局に対するサービスの終了を検知すると, 個別通信の終了を ASL に要求する.
- ③ ASL は該当する移動局の通信管理を終了し, 送信問い合わせを停止する.
- ④ DSRC レイヤ 7 は該当する移動局へリリース信号を送信しない.
- ⑤ ASL は移動局への同報データの送信を継続する.

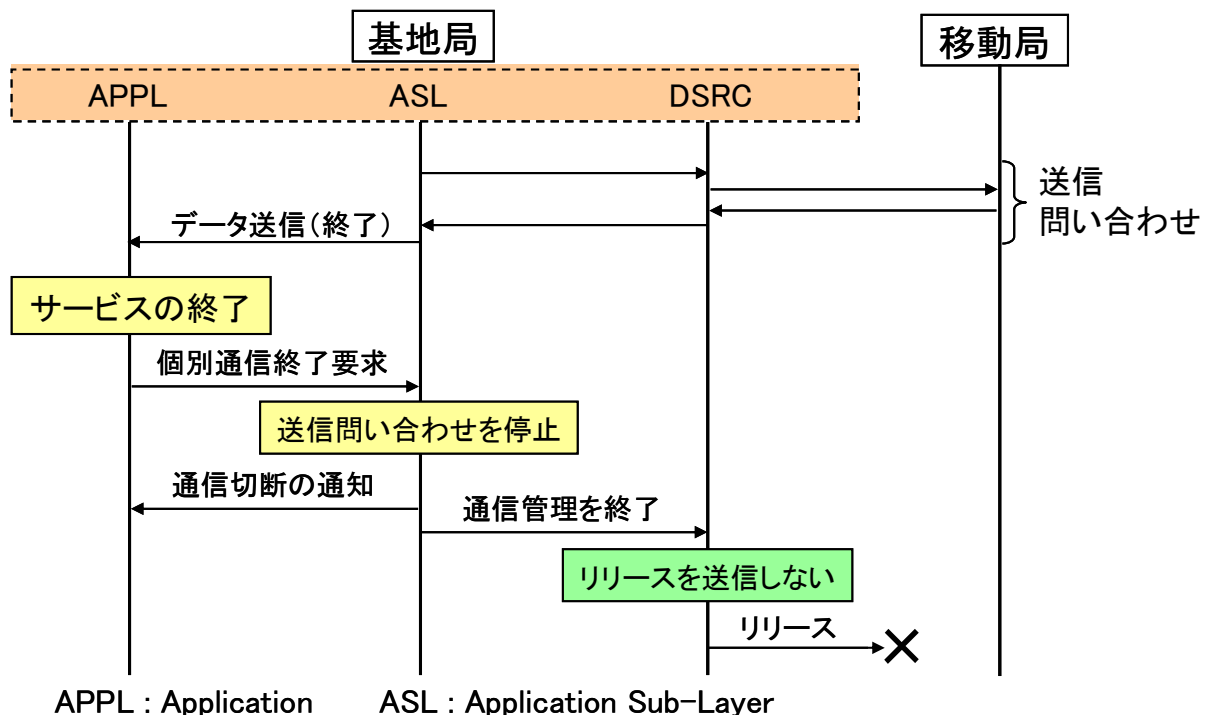


図 2.9 基地局アプリケーションからの個別通信終了シーケンス

Figure 2.9 Sequence of individual communication close by base station application.

上記処理手順に基づいて個別通信のみ終了することにより、移動局への送信問い合わせが通信領域内で終了するため、先行車への通信エリアアウト後の送信問い合わせの再送処理がなくなり、通信帯域の占有を抑えることができる。これにより通信効率が向上し、後続の移動局が個別通信を開始することができ、2.3.6.2 複数移動局の同時接続が制限されるケースが解消される。また、同報通信で利用可能なスロット数を増やすことにより、通信領域内の複数の移動局と所望のデータ量の情報交換が可能となる。

2.5 実証試験

2.5.1 通信接続管理の評価

前節で提案した制御方式による通信接続管理の有効性を評価するため、「個別通信時のみ CTO をリセットする」方式、加えて「CTO の値を短縮する」方式を適用したシミュレーションを行った。提案方式を適用すると、通信リンク接続後に通信不安定になった場合、通信リンクを切断し、通信領域内で当該移動局が基地局と再接続することにより、現行システムと比較して接続可能時間が長くなると予測できる。通信不安定になった場合、通信接続管理タイマ CTO のタイムアウトにより通信リンクを切断し、周波数選定後に再接続するものとした。

文献[25]によると、片側 2 車線で前後車両によるシャドウイングと隣接車両によるシャドウイングが発生すると考えられ、表 2.1 のシミュレーション条件でシャドウイングが発生する確率は 0.08 であることから、個別通信の応答の内、10%が基地局に届かないように設定した。ここで、通信領域を 20m、通信不安定は通信領域内で一様に発生すると仮定し、移動局の周波数選定時間は ARIB STD-T75 に規定されている 9 フレーム (63.28125ms)、リリースタイマの設定は行わないとした。CTO の値は、現行システムの設定値 500ms と提案方式の再送回数×1 フレーム通信時間の 2 ケースについて評価した。

図 2.10 に提案方式を適用した場合の接続可能時間を走行速度別に示す。比較のため、「個別通信時のみ CTO をリセットする」方式、加えて「CTO の値を短縮する」方式、及び現行システムにおいて通信不安定に

なった場合の接続可能時間を同じグラフ上に示す. 図より提案方式を適用した場合の接続可能時間の向上が見られ, 走行速度が高速なほど通信時間が短いことから「CTO の値を短縮する」方式の効果大きい. 「個別通信時のみ CTO をリセットする」方式, 加えて「CTO の値を短縮する」方式を適用することにより, 通信接続管理改善の効果があるといえる.

表 2.1 シミュレーション条件
Table 2.1 Condition of simulation.

車線数	2 車線
車両速度	第 1 車線 80km/h, 第 2 車線 100km/h
車両密度	100 台/km
車両の流れ	ポアソン分布に従う

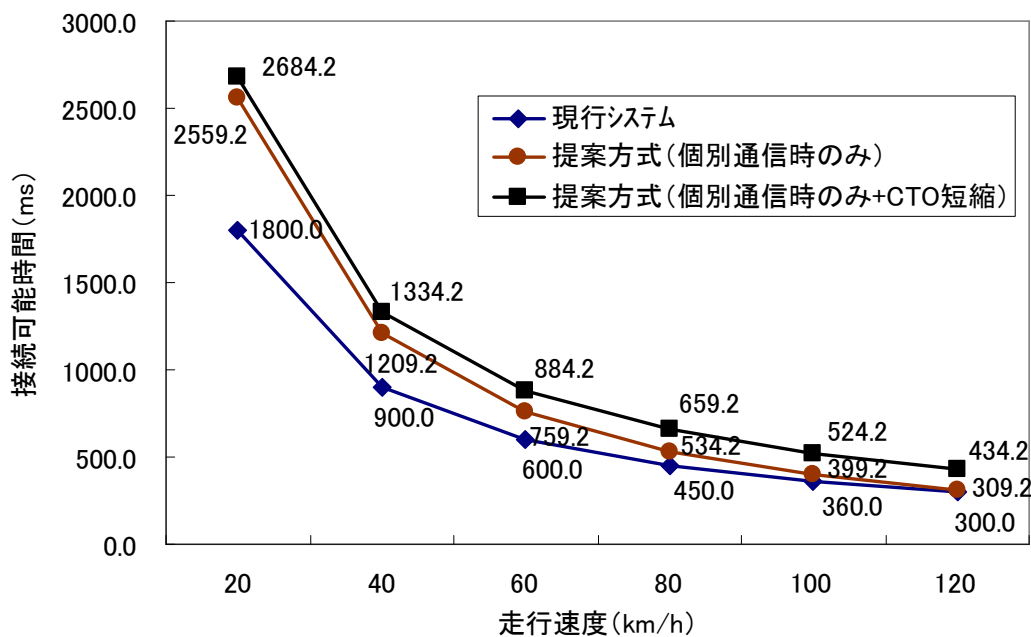


図 2.10 提案方式による走行速度別接続可能時間

Figure 2.10 Connectivity time of each running speed by proposed methods.

2.5.2 通信帯域制御の評価

2.5.2.1 シミュレーション結果

提案方式による通信帯域制御の有効性を評価するため、「サービスが終了すると問い合わせを停止する」方式を適用したシミュレーションを行った。提案方式を適用すると、サービスが終了した移動局に対する個別通信の接続維持動作を停止するため、接続維持動作フレームはゼロに近くなると予測できる。DSRC は基地局のアンテナと移動局のアンテナの距離が比較的短く、見直しによる安定した電波伝搬路を確保することができる。指向性アンテナと最低受信レベルの設定により安定した通信ゾーンを構成すると仮定した。

表 2.2 のシミュレーション諸元に基づきシミュレーションを行った結果、走行速度 100km/h の場合、通信領域 20m の通過時間 720ms 内に伝送可能なスロット数は 714、伝送可能な情報量は 1 スロット容量が 183byte であることから、130kbyte となる。

表 2.2 シミュレーション諸元

Table 2.2 Simulation parameters.

同報情報量(KB) (25KB×2 回)	50
アップリンク情報量(KB)	4
同時接続台数	4
送信問合せ周期	4 フレームに 1 回

表 2.3 シミュレーション結果

Table 2.3 Simulation results.

走行速度(km/h)	80	100	120
通信領域 20m の通過時間(ms)	900	720	600
通信フレーム数	128	102	85
伝送可能なスロット数	896	714	595
伝送可能な情報量(KB)	163	130	108
同報通信で使用するスロット数	277	277	277
個別通信で使用するスロット数 (4 台)	316	316	316
余剰スロット数 (1 台あたり)	75	30	0
余剰フレーム数	49	23	6
余剰情報量(KB) (1 台あたり)	13.7	5.5	0.0
余剰のうち個別通信で使用可能な情報量(KB) (1 台あたり)	6.6	3.1	0.0

上り/下り通信帯域

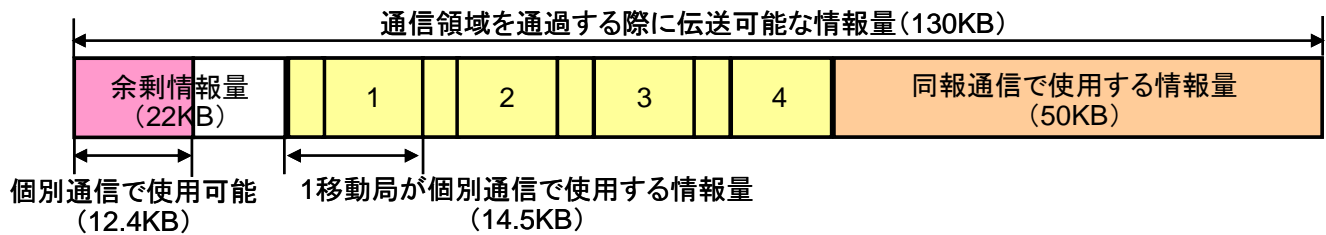


図 2.11 走行速度 100km/h の場合の通信帯域占有図

Figure 2.11 Figure of communication zone occupation for 100 km/h running speed.

通信領域を通過する際に伝送可能な情報量から、同報・個別通信で使用する情報量を差し引いた余剰情報量（1台あたり）は 5.5kbyte，そのうち個別通信で使用可能な情報量は 3.1kbyte（1台あたり）となる。従って、アップリンクはシミュレーション諸元の 4kbyte に 3.1kbyte を加算した 7.1kbyte の情報量を送信することができる。通信時間 720ms 内の 1台あたり通信容量は同報 50kbyte，アップリンク 7.1kbyte となり、所望の情報量を同時に受送信完了することができる。以上より、通信帯域制御の効果があるといえる。

表 2.2 にシミュレーション諸元，表 2.3 にシミュレーション結果，図 2.11 に走行速度 100km/h の場合の通信帯域占有図を示す。

2.5.2.2 通信試験結果

通信試験により、提案方式による通信帯域制御の効果を確認した。屋外テストコースにて 1台の基地局と 4台の移動局を用いて、同報 50kbyte，アップリンク 4kbyte を 4台の移動局が走行速度 100km/h で受送信完了する通信時間を計測した。現行システムでは、複数の移動局との通信接続を維持するために、通信フレームのロット割り付けにおいて、個別通信の接続維持動作フレームが挿入されると考えられる。この接続維持動作フレームによって個別通信帯域が占有されることから、個別通信で使用可能な情報量が少なくなり、通信時間 720ms 内で送信可能なアップリンク情報量が限定される。

現行システムと提案方式の通信試験結果を図 2.12 に示す。現行システムでは、4 台の移動局が 720ms 内に同報 50kbyte, アップリンク 4kbyte を同時に受送信完了する割合は 16%である。提案方式は現行システムと比較して、通信時間が 150ms 程度短縮され、4 台の移動局が 720ms 内に同報 50kbyte, アップリンク 4kbyte を同時に受送信完了する割合はほぼ 100%である。以上より、通信帯域制御の効果が確認できた。

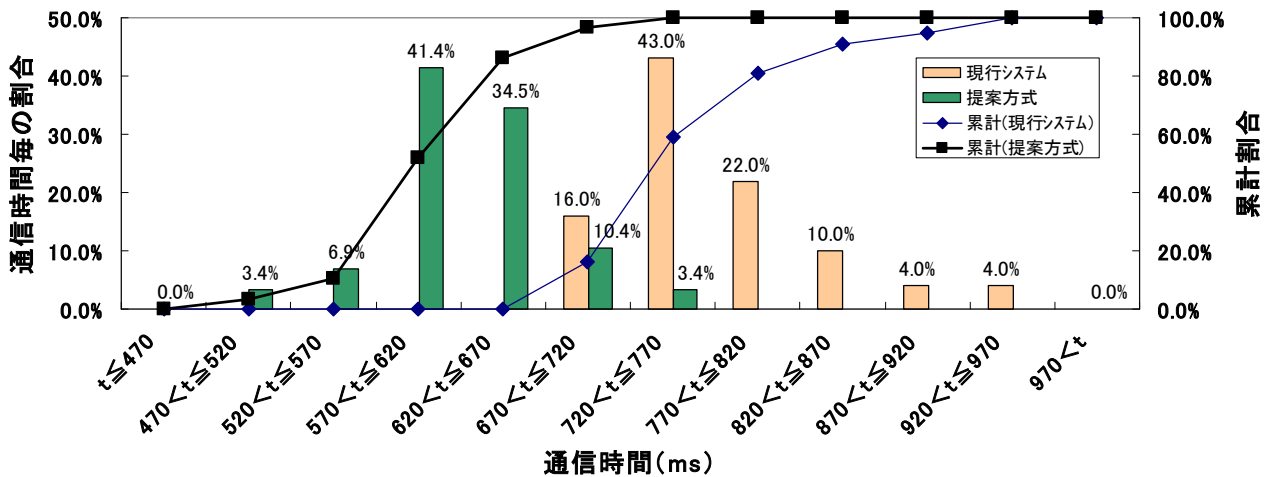


図 2.12 現行システムと提案方式の通信試験結果

Figure 2.12 Communication test results by present systems and proposed methods.

2.6 むすび

本章では、路車間通信において、1つの基地局が複数の移動局に対して同報通信の情報提供サービスと個別通信のアップリンク情報サービスを同時に提供する、同報・個別通信混在環境で安定したサービスを提供するために、5.8GHz帯 DSRCを前提として既存の標準規格の拡張により通信特性を改善する制御方式について研究した。

通信接続に関する課題を解決するために移動局の通信接続管理に着目し、移動局の通信接続管理タイムによる通信リンク切断判定を改良した。通信不安定になった場合も再接続により接続可能時間を確保する制御方式を提案した。さらに、通信帯域に関する課題を解決するために基地局の通信帯域制御に着目し、基地局の移動局に対する通信接続維持動作を

改良した。占有する通信帯域を開放することにより通信効率を向上させ、基地局が通信領域内の複数の移動局と所望のデータ量の情報交換を可能とする方式を提案した。

実証試験の結果、提案方式による通信接続管理改善及び通信帯域制御の効果を確認し、提案方式の適用により 4 台の移動局が走行速度 100km/h で 720ms 内に同報 50kbyte, アップリンク 4kbyte を同時に受送信完了することを確認し、提案方式の有効性を評価した。

今後は、走行試験により通信不安定や高速走行での電波環境において提案方式の有効性を評価するとともに、受送信する情報量に応じて同報・個別通信双方の通信帯域利用効率を向上させるスロット配置についてさらに改良し、通信帯域の損失を解消、安定したサービスを提供するシステムを構築する所存である。

第3章 車のネットワーク化と電気自動車(EV)へのICT適用

3.1 まえがき

低炭素社会実現のため、環境に配慮した電気自動車（EV：Electric Vehicle）の導入が進められている。EVは1回の充電での走行可能距離に制約がある、現時点では充電設備の設置箇所が少ない、また、EVはレンタカーやカーシェアリングでの利用により1台のEVを複数の利用者がシェアして利用するケースが想定され、従来の燃料補給の考え方を適用できない、などの課題がある。一方、停車中に電気が使える、通信ネットワークを組み込みやすいなどの特性がある。EV導入促進のためには、EVを安心して利用する方法として、充電残量や最寄りの充電ステーションの情報をリアルタイムに提供するとともに、EV充電電力マネジメントとしてEVの電力需要を把握し、充電ステーションでの効率的な充電スケジューリングを行うITSサービスが必要である。このようなサービスを提供するシステムの課題は以下の2点で、外部通信ネットワークと車載ネットワークとの接続による、高速で高品質、セキュリティ性の高い通信手段と、通信システム上で動作するサービスアプリケーションの開発が要求される。

- 車両の状態変化を即時に検知し、車両内に確実に情報提供するとともに、車両を遠隔操作することにより、リアルタイムに車両状態を変化させること。ここで、車両の状態変化とは、EV充電残量の低下を対象とする。また、車両を遠隔操作するとは、充電の遠隔操作やエアコンスイッチの乗車前作動を想定しており、自動運転の遠隔制御を意味するものではない。
- 通信により収集した車両情報に基づき、最寄りの充電ステーションの情報を生成するとともに、充電ステーションでの効率的な充電スケジューリングを行うこと。

これまで車両状態監視システムとして、携帯電話等の広域通信網を用いる方法が実用化されている[26]。車両の状態変化を検知すると、広域通信網により情報センタ等に情報集約するが、情報が外部に通知され、センタ等にて情報生成・提供するため、ドライバや車両管理者が即時対

応することが困難である。また、車両に搭載されているカーナビゲーションを使用するシステムが車両に実装されている[27]が、センタで情報管理しないセンタレスシステム[28]では自車の状態しか把握できず、管理対象とするEV全体の情報を把握することができない。

本章では、これらの課題を解決するため、広域通信網と路車間通信及び車載ネットワークを連携したICTシステムを提案する。提案する「EV向けITS情報通信システム」は、走行中に充電残量を収集し、EVルート周辺の最寄りの充電ステーションの場所と利用状況を案内するとともに、充電ステーションでのEVの効率的な充電スケジューリングを行うシステムである。広域通信網及び路車間通信により車両の状態変化を即時に検知すると、情報センタで車両情報を管理し、センタ及び路側無線装置から車両を遠隔操作し、リアルタイムに車両状態を変化させることにより即時対応を可能とする。具体的には、広域通信網と路車間通信及び車載ネットワークを接続する通信プロトコルを開発し、センタ及び路側無線装置から車載器を介して車両データの読み出しと車両の遠隔操作を行う、車載システムと路側システムを開発した。実験システムにより実証試験を行い、通信システム上で動作するサービスアプリケーションを開発することにより、提案システムがEV車内での安心感向上と充電ステーションでの利便性・快適性向上において、有効なITSサービスを提供することを評価した。

以下、3.2節で関連研究、3.3節で外部通信ネットワークと車載ネットワークの相互接続について述べたのち、3.4節でEV向けITS情報通信システムを提案し、3.5節で具体的な車載システムと路側システムの開発について解説する。3.6節で実験システムによる実証試験について説明し、最後に3.7節で本章をまとめる。

3.2 関連研究

ICTの車への実用展開として、携帯電話とカーナビゲーションを統合したテレマティクスや路車間通信による安全運転支援システムが実用化されている。テレマティクスでは3.5G携帯電話システムに加え、モバイルWiMAXが利用されている。安全運転支援システムでは、既存の道路

交通情報システム（VICS）に加えて，5.8GHz 帯 DSRC 路車間通信[22]を採用した ITS スポットサービス（新 VICS）により，ETC 機能を併せ持つ ITS 車載器に対して道路交通状況や予防安全情報が提供される。

車両状態監視システムとしては，携帯電話等の広域通信網によって情報センタに情報を集約する広域通信システムが実用化され，さらに，車両に搭載されているカーナビゲーションを使用する，センタで情報管理しないセンタレスシステムが車両に実装されている。

広域通信システムは，サービスエリアに関する制約はほとんどないが，情報提供がプル型であり，特定のエリアに存在する車両全てに対するプッシュ型の情報配信には不向きである．センタレスシステムはセンタ運営費が不要であるが，自車の情報に限定され，管理対象とする EV 全体の情報を把握し，電力需要管理を行うことができない．また，EV に最寄りの充電ステーションの情報を提供するためには，事前にオフラインで充電ステーションの情報等をダウンロードしておく必要がある．これらに対して路車間通信システムは，サービスエリアが路側装置近傍に限定され，30m 程度である．しかし，通信領域内の車両からリアルタイムで情報が収集でき，情報センタで収集した車両情報を管理し，同時にプッシュ型で確実な情報提供が行えるというメリットがある．また，限定された路側装置との通信のため，セキュリティ性が高い．一方，サービス範囲を面的にカバーすると路側装置設置費用が必要となる[29]．そこで本章では，広域通信と路車間通信を連携し，両方のメリットを活かしたシステムを提案する．

3.3 外部通信ネットワークと車載ネットワークの相互接続

3.3.1 路車間通信

本章では，路車間通信として ETC などに用いられている 5.8GHz 帯 DSRC を採用する．DSRC は ARIB STD-T75 [9]，STD-T88 [23] に準拠し，通信領域が比較的狭いこと，伝送速度が速い（4Mbps）ことなどを特長としている．DSRC は基地局位置を中心とした直径 30m の範囲を通信領域として安定した通信ゾーンを構成し，1 つの基地局が複数の移動局と同時に通信を行うが，シャドウイング等により通信回線状況が悪化

し、通信不安定になることがあるものとする。

ARIB STD-T88 では 1 つの通信フレームを時分割して複数スロットに分け、それぞれのスロットに各移動局向けのデータを割り付けることが規定されている。基地局においてデータ分割、移動局で組立を行う通信制御により、通信フレーム中の複数スロットを同一移動局に多重化して割り付け、通信スロットを有効利用することで実効伝送速度の向上を図っている。基地局は、移動局への転送データがない場合に、移動局に対してポーリングにより周期的に送信問い合わせを行う。移動局は送信データを保持している場合、ポーリングに応答することでデータを送信できる。移動局に送信するデータがない場合は、データがないことを基地局に通知する。基地局は応答の有無によって移動局の存在を監視することができる。

3.3.2 広域通信網

本章では、広域通信網として現在主流の 3.5G 通信回線を採用する。3.5G 通信回線は既にサービスを提供しており、先進国都市部に普及している。車両情報のアップリンク、ドライバへの情報提供をタイムリに行うため、リアルタイム性が必要であり、郊外や山間部でもできる限り常時接続できる方式とする。通信速度は、車両情報のアップリンクのためには 100kbps 程度、ドライバへの情報提供のためには 1Mbps あればストレスなく利用できると想定される。

3.3.3 車載ネットワーク

本章では、車載ネットワークとして CAN を採用する。CAN は ISO 11898 [31] にて国際標準化されたシリアル通信プロトコルで、国産の自動車へも普及している代表的な自動車用 LAN プロトコルである。欧州においては制御系にも適用されている。制御系（高速系）CAN とボディ系（低速系）CAN では用途に応じて分化しており、例えばバスインタフェース（通信）回路は、低速系では 2 線式差動電圧型回路が、高速系では 2 線式平衡電流型回路が採用されている。CAN は、バスに対して最初に送信を開始したユニットが送信権を得ることができる CSMA/CR（Carrier Sense Multiple Access with Collision Resolution）[32] を用いたマルチマスタ方式のバス構成である。CAN は接続される全てのユニ

ットがメッセージの送信を開始することができ、最大 1Mbps の高速通信が可能である。

3.3.4 要求条件

EV は 1 回の充電での走行可能距離に制約がある、現時点では充電設備の設置箇所が少ない、また、EV はレンタカーやカーシェアリングでの利用により 1 台の EV を複数の利用者がシェアして利用するケースが想定され、従来の燃料補給の考え方を適用できない、などの課題がある。一方、停車中に電気が使える、通信ネットワークを組み込みやすいなどの特性がある。本章で提案する EV 向け ITS 情報通信システムでは、これらの課題と特性に対応した、外部通信ネットワークと車載ネットワークとの接続による、高速で高品質、セキュリティ性の高いシステムが要求される。ここで、システムが満たすべき要求条件を以下にまとめる。

- ① 充電残量や走行履歴などの車両情報を走行中に任意のタイミングで収集することが可能で、車両内に情報提供を行えること。
- ② 車両を遠隔操作し、リアルタイムに車両状態を変化させること。通信接続から制御開始までの時間が短く、情報伝送が高速で低遅延であること。
- ③ 車載システムの構成・能力に応じた情報提供が可能なこと。車載器単体システムからスマートフォン連携システム、比較的高リソースなカーナビゲーション連携システムまで多種多様な車載システムに対応すること。
- ④ セキュリティ性の高い情報伝送が可能であること。
- ⑤ サービスの追加や拡張に機器構成の変更がなく、アプリケーションソフトウェアの追加・変更により対応可能なこと。

3.4 EV 向け ITS 情報通信システム

前節で整理した要求条件を満足するシステムとして、広域通信網と路車間通信及び車載ネットワークを活用した EV 向け ITS 情報通信システムを提案する。提案システムでは、路車間通信として DSRC、広域通信網として 3.5G 通信回線、車載ネットワークとして CAN を採用する。本節では EV 向け ITS 情報通信システムのシステム構成について述べたの

ち、DSRC と 3.5G 通信回線及び CAN を接続する通信プロトコルについて述べる。

3.4.1 システム構成

EV 向け ITS 情報通信システムは、情報センタ・路側システム・路側無線装置（アンテナ）・車載器・情報提供機器（カーナビゲーション、スマートフォン）・EV から構成される。車載器は、カーナビゲーション、車両 ECU（Electronic Control Unit）及び広域通信網とインタフェースを持ち、CAN インタフェースにより ECU を制御するとともに、カーナビゲーションへ情報提供を行う。センタ及び路側アンテナと車載器が周期的に通信を行い、車両の状態変化を検知すると車両内に情報提供を行うとともに、車載器を介して車両を遠隔操作し、車両状態を変化させるシステムである。EV 向け ITS 情報通信システムのシステム構成を図 3.1 に示す。

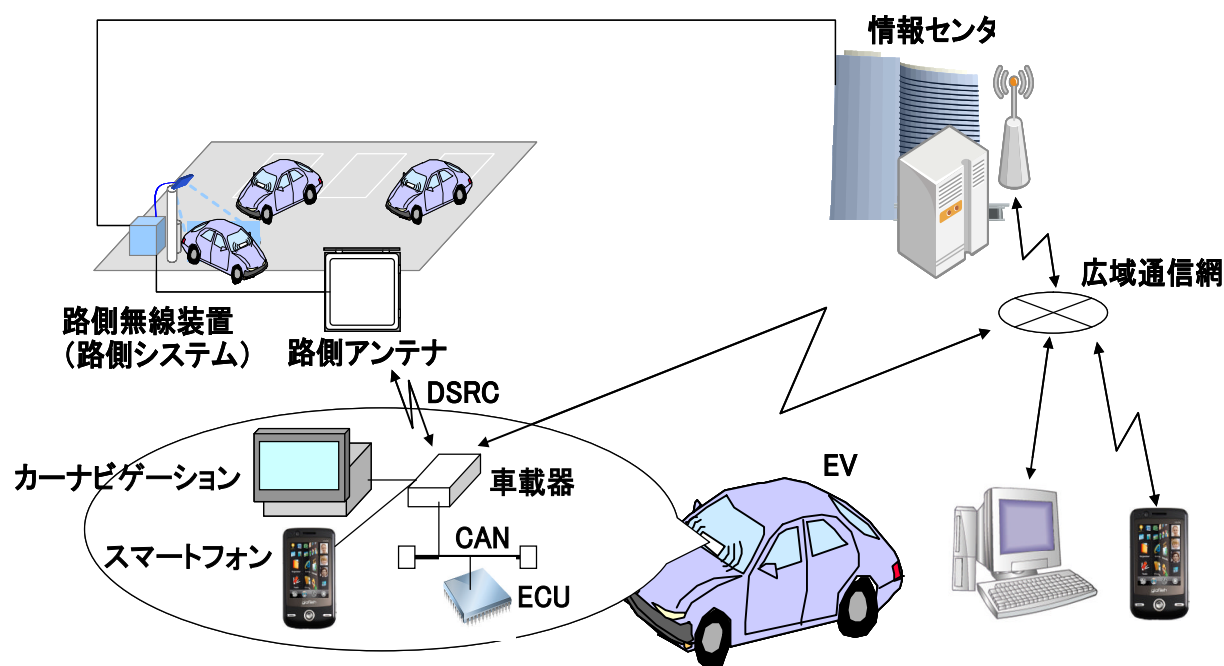


図 3.1 EV 向け ITS 情報通信システムの構成

Figure 3.1 Configuration of ITS information communication system for EV.

EV ルート周辺の最寄りの充電ステーションの場所と利用状況を情報提供するためには、EV の充電残量や走行履歴、及び充電ステーションの

利用状況をリアルタイムに情報センタで管理している必要がある。また、EV 電力需要を把握し、充電ステーションでの効率的な充電スケジューリングを行うためには、自車の情報を把握するだけでなく、地域やカーシェアリングで管理対象とする EV 全体の充電状況を把握し、情報センタで管理できるシステム構成が必要である。

3.4.2 通信プロトコル

DSRC または 3.5G 通信回線と CAN を接続する通信プロトコル、及び DSRC と 3.5G 通信回線を連携する通信プロトコルを開発し、路車間のみならず、広域通信網及び車載ネットワークとの相互接続も追加した通信基盤を構築する。これらの通信プロトコルにより、3.3.4 項要求条件①の車両情報収集と車両内への情報提供、要求条件②の車両遠隔操作が実現できる。

3.4.2.1 DSRC プラットフォーム

DSRC プラットフォームは、DSRC を活用した多様な ITS アプリケーション (AP) を効率的に開発・動作させるための共通基盤であり、これによりアプリケーションの追加・変更を容易にするものである。即ち、DSRC プロトコルとアプリケーションソフトウェア間の汎用的なインタフェース及び各種アプリケーションで共通化が可能な基本アプリケーションをソフトウェア共通基盤として提供する [33]。これにより、要求条件⑤のアプリケーションソフトウェアの追加・変更対応が満足される。

3.4.2.2 プロトコルスタック

本章で提案する EV 向け ITS 情報通信システムのための、路側システムー車載システムー車載ネットワークを繋ぐプロトコルスタックを図 3.2 に示す。路側システムの情報提供アプリケーションと車両状態監視アプリケーションを、DSRC 通信プラットフォームを下位層とする DSRC アプリケーションとして構築する。これにより、路側システムの車両状態監視アプリケーションから車載システムの CAN インタフェース (I/F) を介して、車載ネットワークの車両データ読出及び車両制御データ書込を実現する。また、車載システムが車載器とカーナビゲーションなどの外部機器から構成されることを想定し、車載システムのアプリケーション構成を、路車間通信を担当するプロトコル処理と情報提供アプリケー

ションの 2 階層とした。さらに，カーナビゲーション及び広域通信網とのインタフェースを用意することで，情報提供アプリケーションをカーナビゲーション上に搭載することを可能とした。これにより，要求条件③の車載システムの構成に応じた情報提供が実現できる。

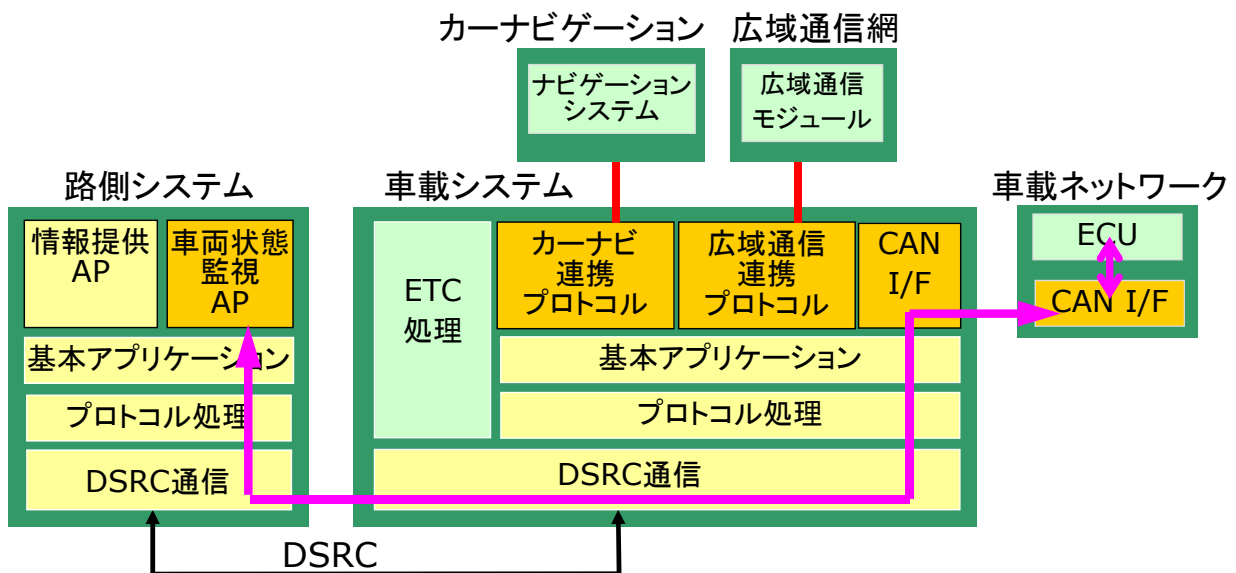


図 3.2 プロトコルスタック

Figure 3.2 Protocol stack.

3.4.3 通信シーケンス

(1) 路側システムと車載ネットワークを接続する通信シーケンス

路側システムのアプリケーションから車載システムを介して，車載ネットワークの車両データ読出及び車両制御データ書込を行うための路側システムと車載ネットワークを接続する通信シーケンスを図 3.3 に示す。

① 車両データ読出しシーケンス

車載器の CAN インタフェースは CAN バスからメッセージ ID とデータを読み取り，CAN 受信メモリに保存・更新する。車載器制御部は CAN 受信メモリを周期的に参照し，車載器制御部に登録されているメッセージ ID と一致する受信データを取り出し，車両ステータス情報としてメモリタグに保存する。路側システムは，「メモリ読出し要求コマンド」により，車載器のメモリタグからデータを読み出す。車載器制御部はメモリ読出し要求コマンドを正常終了後，メモリタグの内容を初期化する。

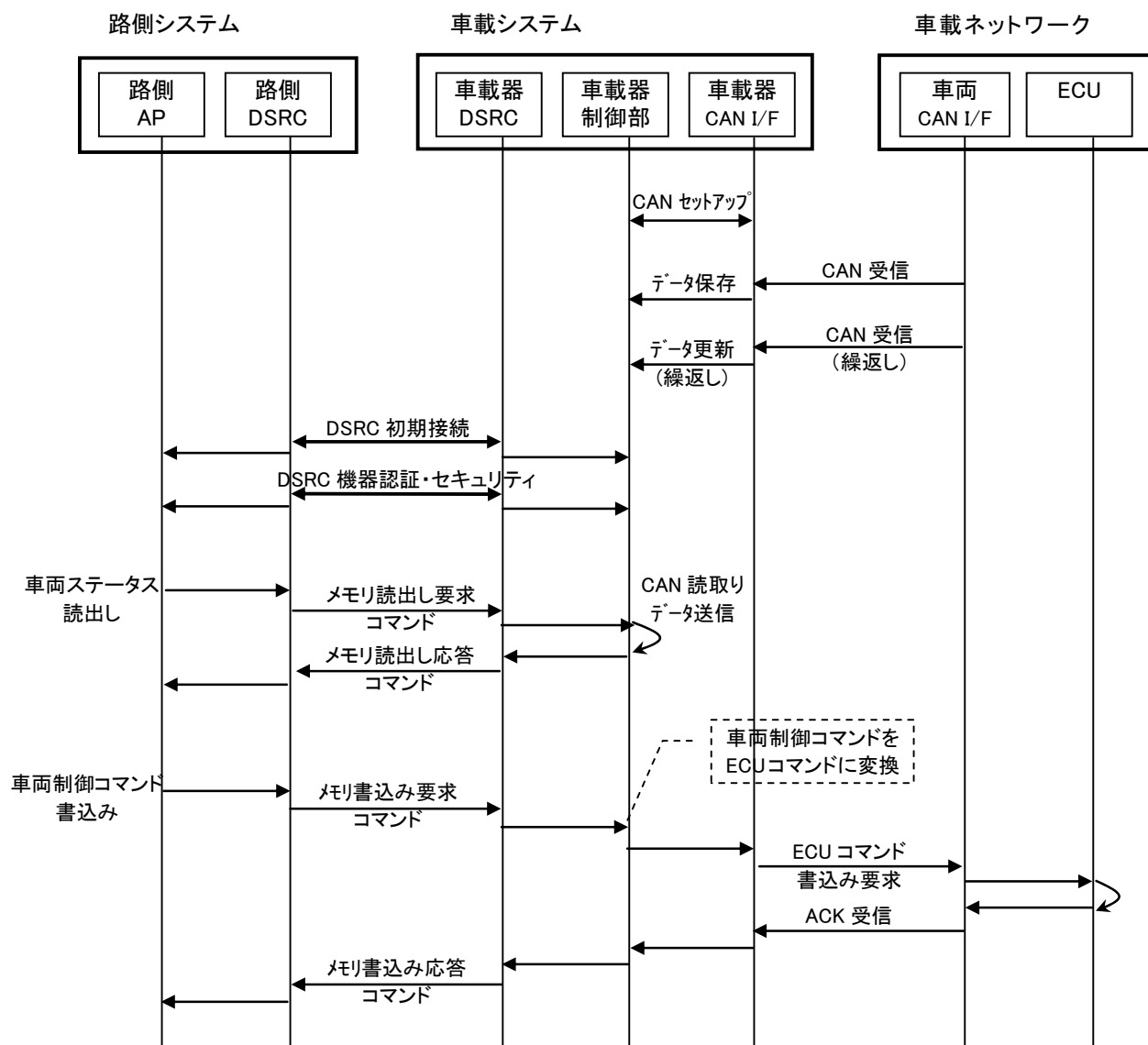


図 3.3 路側システムと車載ネットワークを接続する通信シーケンス

Figure 3.3 Communication sequence for connecting roadside with in-vehicle network.

② 車両制御データ書き込みシーケンス

路側システムは、「メモリ書き込み要求コマンド」により、車両制御コマンドを車載器のメモリタグに書き込む。車載器制御部は、車両制御コマンドを ECU コマンドに変換し、CAN インタフェースにより送信する。ECU コマンドの内容は車種毎に異なることがあるため、車両制御コマンドと ECU コマンドの変換表を用意する。車載器制御部は、ECU コマンドの実行結果を、車載器 DSRC 部から路側システムに送信する。ECU コ

マンドを正常終了したら「メモリ書込み応答コマンド」で路側システムに
 応答する。失敗した場合は，路側システムに対し，「車載器否定応答コ
 マンド」を返し，終了する。

(2) 広域通信網と車載ネットワークを接続する通信シーケンス

車載システムは，広域通信網によりセンタに車両ステータス情報を周
 期的にアップリンクする。車両ステータス情報のアップリンクは，セン
 タに対して車載システムへの提供情報の有無を確認するポーリングとし
 ての役割を持つ。センタは車両ステータス情報のアップリンクに対する
 応答として，必要に応じて，センタが車載システムに提供する情報を識
 別するための URI (Uniform Resource Identifier) 情報を車載システム
 に送信する。車載システムは URI をセンタに送信することで，カーナビ
 ゲーション向けのコンテンツや情報を受信する。広域通信網と車載ネッ
 トワークを接続する通信シーケンスを図 3.4 に示す。

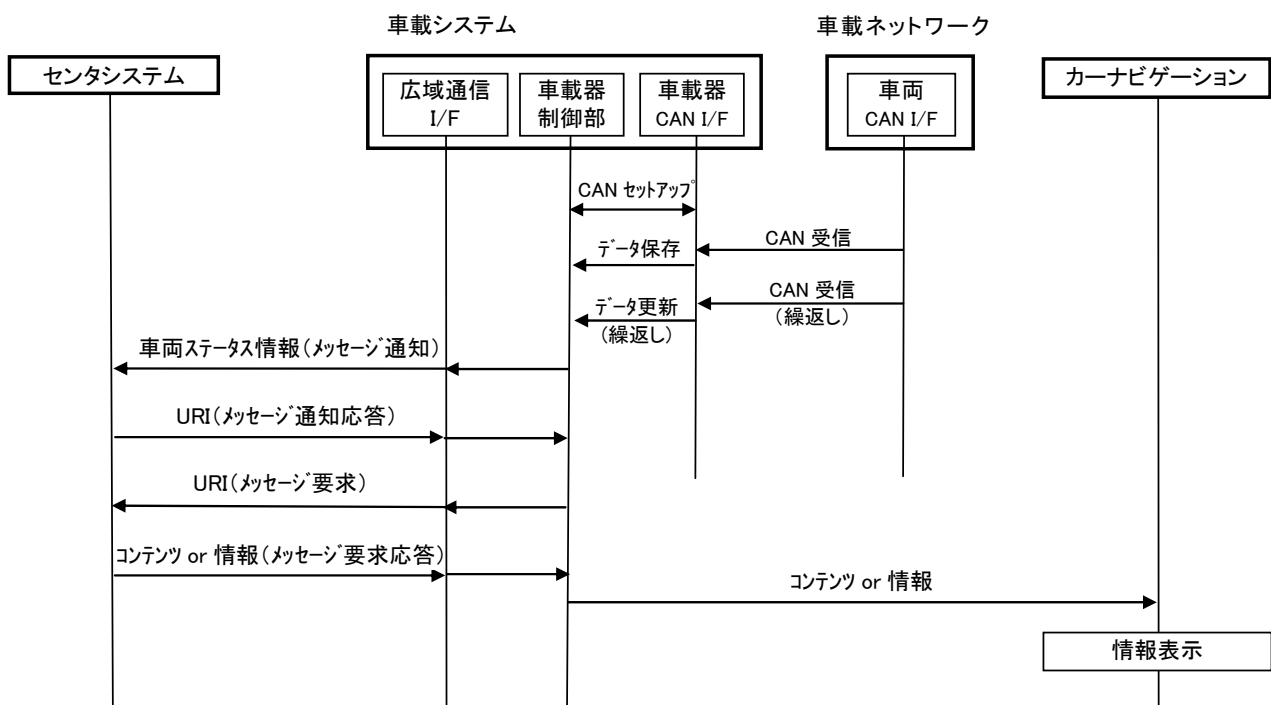


図 3.4 広域通信網と車載ネットワークを接続する通信シーケンス

Figure 3.4 Communication sequence for connecting wide area with in-vehicle network.

(3) 路車間・広域通信連携の通信シーケンス

路側システムは，車載器が通信領域に入ると，必要に応じて路車間通

信のプッシュ型情報配信によりカーナビゲーション向けの URI 情報を送信する。車載システムは，広域通信網により URI に接続し，カーナビゲーション向けのコンテンツや情報を受信する。路車間通信と広域通信の連携により，路側装置周辺のローカルな充電施設情報や広告情報等をタイムリに車載システムに提供することが可能となる。路車間・広域通信連携の通信シーケンスを図 3.5 に示す。

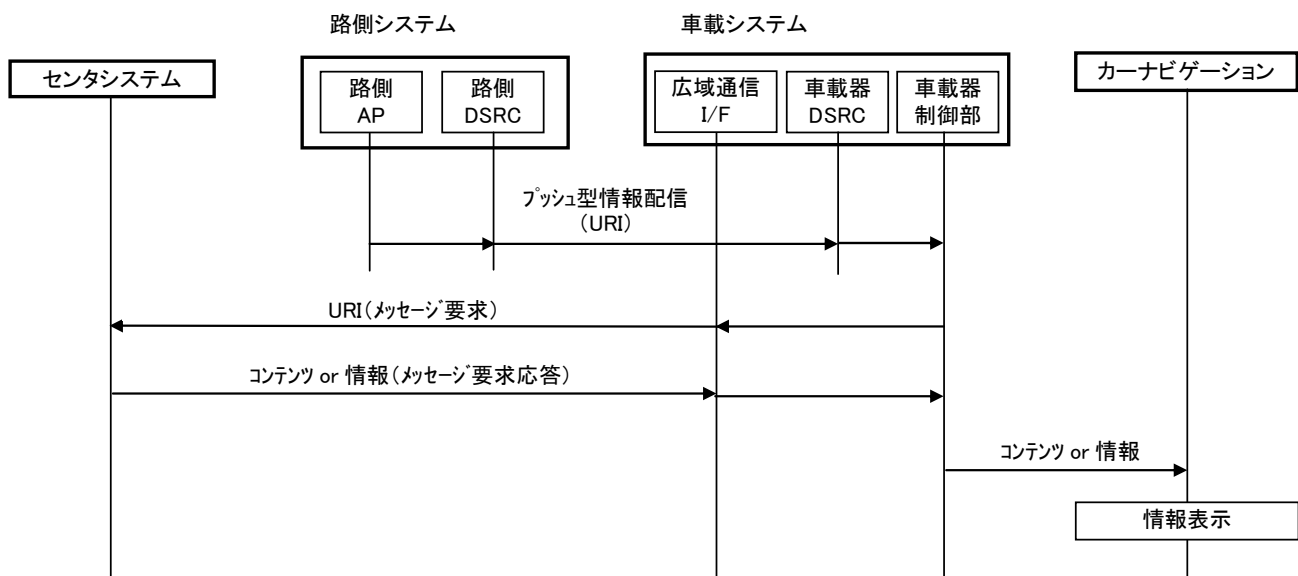


図 3.5 路車間・広域通信連携の通信シーケンス

Figure 3.5 Communication sequence for combining road to vehicle with wide area communications.

3.5 実験システムの開発

前節で提案した EV 向け ITS 情報通信システムについて実証試験によりその有効性を評価するために実験システムを開発した。本節では具体的な車載システムと路側システムの実装について述べる。

3.5.1 車載システム

車載システムは，車載器とそれと接続されるカーナビゲーション，車両 ECU 及び広域通信網とのインタフェースを含めたものとする。車載システムは，車載ネットワークと接続して指定した車両情報を収集し，CAN インタフェースにより ECU を制御するとともに，DSRC により路側無線装置と通信を行い，広域通信インタフェースによりセンタへ車両情報を

集約し、カーナビゲーションへ情報提供する機能を実装する。

3.5.1.1 車載器

車載器は、ITS 車載器 DSRC 部標準仕様[34] に準拠し、DSRC 通信機能、広域通信網接続機能、ECU 接続機能、及びカーナビゲーション接続機能を有する。また、車両が駐車中（イグニッション OFF 状態）に DSRC 通信により車載器を起動できること、駐車中の車載器の消費電力は十分に小さいこととして、駐車中に低消費電力状態に移行する機能と伝送路の電位変化を検知してウェークアップする機能を設ける。

3.5.1.2 ECU インタフェース

センタ及び路側システムから車両状態を監視し、車両を遠隔操作するため、車載器－ECU 間のインタフェースを実装する。ECU インタフェースは、DSRC プラットフォームの基本アプリケーションを利用して、センタ及び路側システムから CAN インタフェースにより指定した車両ステータス情報の読出し、車両制御データの書込みを行う。通信シーケンスは DSRC と CAN を接続する通信プロトコルに従う。また、特定の路側無線装置以外からの ECU へのアクセスを防止し、セキュリティ性の高い情報伝送を可能とする。ECU インタフェース部の CAN インタフェースと通信制御部の機能要件を以下に述べる。

(1) CAN インタフェース

- ① 電気仕様は ISO 11898-2 [35]、11898-3 [36] に準拠する。
- ② 通信パラメータは CAN-B（低速系）及び CAN-C（高速系）に準拠し、高速系の通信速度は 500kbps、サンプリング周期は 500msec とする。

(2) 通信制御部

- ① 通信制御部は、周期的に ECU のステータス情報を読み出し、メモリタグに保存し、最新データに更新する。
- ② 路側システムから書込み要求を受け付けると、通信制御部は ECU コマンドに変換し、CAN インタフェースにより送信する。
- ③ 路側システムから通信制御部への読出・書込は、DSRC セキュリティプラットフォーム（DSRC-SPF）を経由した、基本アプリケーションのメモリアクセスからのみ受け付ける。さらに、メモリタグに

パスワードを設定し、特定の路側無線装置のみ読出・書込可能とし、ECUデータ及び車両ステータス情報の盗聴・改ざんを防止する。これにより、3.3.4項要求条件④のセキュリティ性の高い情報伝送が満足される。

3.5.1.3 広域通信インタフェース

センタから車両状態を監視し、センタへ車両ステータス情報を周期的に送信するとともに、カーナビゲーションへ情報提供を行うため、車載器－広域通信網間のインタフェースを実装する。広域通信インタフェースにより、充電残量や走行履歴等のアップリンク情報の収集、充電施設情報等のダウンリンク情報の提供、HTML (Hyper Text Markup Language) によるインターネット接続等を行う。

3.5.1.4 カーナビゲーションインタフェース

センタ及び路側システムからカーナビゲーションへの情報提供を行うため、車載器－カーナビゲーション間のインタフェースを実装する。カーナビゲーションインタフェースにより、道路交通情報等のダウンリンク情報の提供、走行履歴等のアップリンク情報の収集、HTMLによるインターネット接続等を行う。カーナビゲーションインタフェース部の通信部と通信制御部の機能要件を以下に述べる。

(1) 通信部

- ① 通信方式は USB バージョン 1.1 以上とする。
- ② 車載器は USB デバイス、USB ホストはカーナビゲーションとする。
- ③ 実効通信速度は 4Mbps 以上とする。

(2) 通信制御部

- ① 基本アプリケーション及び PPPCP(Point-to-Point Protocol Control Protocol) など、複数のデータ形式及びこれらを利用したアプリケーションに対応する。
- ② DSRC 部でのデータ受信後、通信部へのデータ転送遅延は 10msec 以下とする。
- ③ 車載器とカーナビゲーションとの相互認証、データの暗号化・復号化に対応可能とする。

3.5.2 路側システムとサービスアプリケーション

路側システムは、情報提供アプリケーションと車両状態監視アプリケーション、及び路側無線装置（アンテナ）を含めたものとする。路側システムの車両状態監視アプリケーションから車載システムを介して車両状態を監視し、車両を遠隔操作するとともに、車両内に情報提供する機能を実装する。路側システムの構成を図 3.6 に示す。

情報提供アプリケーションは、カーナビゲーションへ情報提供するダウンリンク情報の生成を行う。車両状態監視アプリケーションは、基本機能として、路側無線装置から車両 ID を読み込み、登録車両の確認を行う機能、及び CAN インタフェースにより車両情報の読出・書込を行う機能を有する。加えて、車両監視機能及び車両情報に基づくサービスアプリケーションを実装する。車両状態監視アプリケーションの一例として、今回実装した車両監視機能とサービスアプリケーションについて以下に述べる。

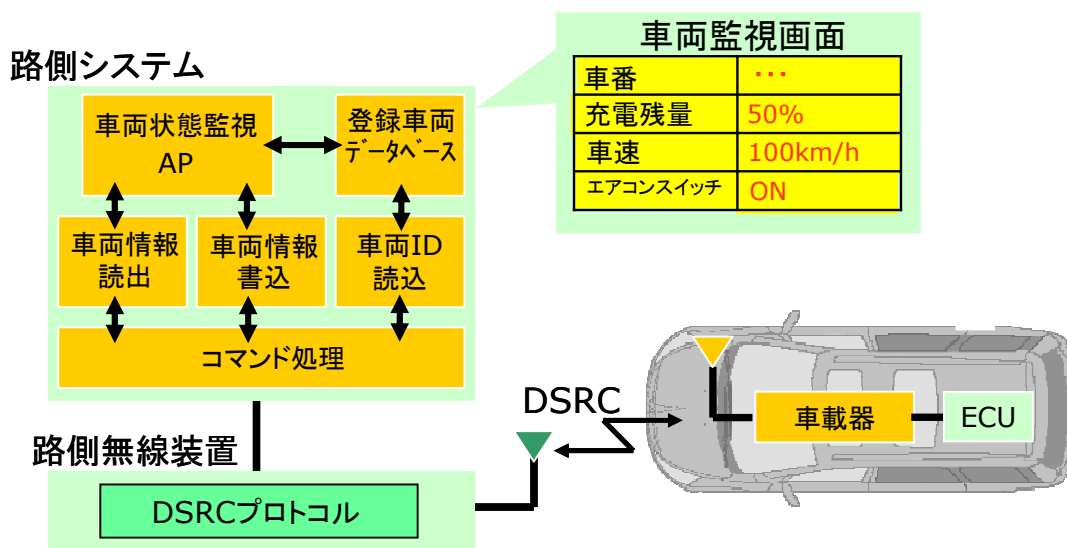


図 3.6 路側システムの構成

Figure 3.6 Roadside system configuration.

3.5.2.1 車両監視機能

車両監視機能は、センタ及び路側システムが車載器から受信した車両情報（充電残量、エアコンスイッチ状態等）に基づいて監視する動作を行う。車両監視機能で取り扱う車両情報の一例を表 3.1 に示す。センタ

及び路側アンテナと車載器が周期的に通信を行い、表 3.1 の車両情報を収集し、状態をセンタ及び路側システム画面に表示する。

実験システムでは、充電の遠隔操作（開始・停止）とエアコンスイッチの乗車前作動を車両遠隔操作が必要なサービスとして実装する。充電ステーションでの EV の充電スケジューリングに基づき、適正な充電方法（急速/普通）を選択し、EV の充電の遠隔操作を行う。また、乗車前に事前にエアコンスイッチを作動させる。

表 3.1 車両情報の項目例

Table 3.1 Example of vehicle information items.

項目	内容
充電残量	充電率 (%)
EV 出力	(W)
エアコンスイッチ	ON/OFF
ヘッドランプスイッチ	ON/OFF
シフトスイッチ	ドライブ/エコ/ブレーキ
充電状態	OFF/AC100V/AC200V
急速充電	普通充電/急速充電
車速	(km/h)
走行距離	(km)
方向指示器	OFF/右折/左折/ハザード
ブレーキランプスイッチ	ON/OFF

3.5.2.2 サービスアプリケーション

車両情報に基づくサービスアプリケーションについて、そのサービス動作を以下に記す。

(1) 充電ステーション案内機能

充電残量が閾値を下回ると充電残量不足と判断し、センタ及び路側システムが警告を表示し、車両内のカーナビゲーションに対して警告出力を行う。充電残量に基づく走行可能距離に応じて、カーナビゲーションにルート周辺の最寄りの充電ステーションの位置や利用状況を情報提供し、カーナビゲーションにて案内する。

(2) 充電ステーションでのスケジューリング機能

提案システムにてサービス提供する EV の利用状況は、個人が利用す

る EV を地域で管理するケースと、レンタカーやカーシェアリングで EV を利用するケースが想定される。地域で管理する EV 利用では、EV 利用者が事前に日時と充電方法（急速/普通）を指定して充電ステーションを予約することが可能で、予約が優先される。予約情報と情報センタで管理する EV の充電残量を基に、充電ステーションでの充電スケジュールを作成する。

カーシェアリングで EV を利用する場合は、カーシェアリングのステーションが充電ステーションを兼ねていることが一般的である[37]。カーシェアリングでは EV を事前予約した上で利用するため、充電残量と次に EV を利用するまでの時間によって適正な充電方法を選択し、充電スケジュールリングを行う。カーシェアリングでは利用直前に EV の予約を入れることが可能であるが、充電ステーションで管理対象とする EV 全体の効率的な充電タイミングをスケジュールリングするため、直前の予約を含めてその都度スケジュールリングするのではなく、前日までの EV 予約情報を基にスケジュールを作成する。

3.6 実験システムによる実証試験

3.6.1 実験システム構成

EV 向け ITS 情報通信システムの実験システムは、センタシステム・路側システム・路側無線装置（アンテナ）・車載器・カーナビゲーション・EV から構成され、センタ及び路側システムから車両状態の監視と車両情報に基づくサービスアプリケーションの動作と性能を評価する。屋外テストコースにて見通しによる安定した電波伝搬環境で試験を実施した。実証試験の諸元を表 3.2 に示す。図 3.7 に車両と路側アンテナとの位置関係を示す。

表 3.2 実証試験の諸元

Table 3.2 Feasibility test parameters.

テストコース直線	400m
実験で使用する車線数	1 車線
車両台数	4 台
車両速度	100km/h（車両情報収集）， 0 km/h（停車）（車両内情報提供／車両遠隔操作）

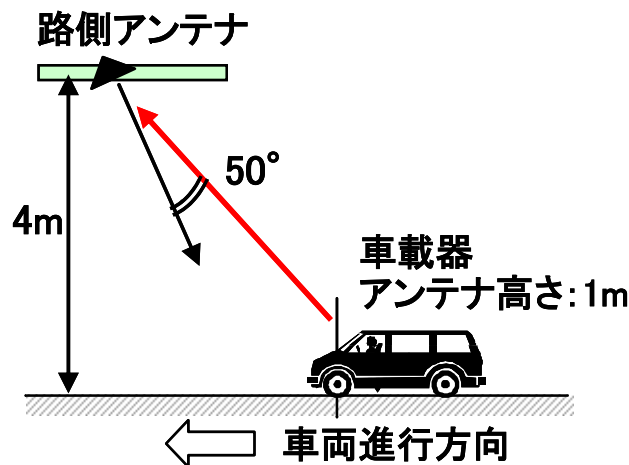


図 3.7 車両と路側アンテナとの位置関係

Figure 3.7 Relation of position between vehicle and roadside antenna.

3.6.2 実験システムの評価

3.6.2.1 機能評価

(1) 車両監視機能の確認

センタ及び路側アンテナと車載器との通信により、車両 ID を読み込み、センタ及び路側システムが登録車両を検出し、同時に表 3.1 の車両情報項目の状態をセンタ及び路側システム画面に表示することを確認した。

(2) 充電ステーション案内機能の確認

実車両で EV 充電率 30%以下の状態を発生させた場合、センタ及び路側システムが充電残量不足を検知すると、警告を表示し、車両内のカーナビゲーションに対して警告出力を行うことを確認した。車両が登録車両でない場合、車両 ID により判別し、充電率 30%以下の状態を発生させてもカーナビゲーションに警告出力を行わないことを検証した。さらに、車両内のカーナビゲーションに確実にルート周辺の最寄りの充電ステーションの位置や利用状況を情報提供することを確認した。

(3) 充電ステーションでのスケジューリング機能の確認

充電ステーションの予約情報と情報センタで管理する EV の充電残量を基に、充電スケジュールを作成すること、また、充電方法（急速/普通）を選択し、EV の充電の遠隔操作（開始・停止）を行うこと、乗車前に事

前にエアコンスイッチを作動させることを確認した。

カーシェアリングでは，事前に EV の利用予約を行うため，充電残量と次に EV を利用するまでの時間によって適正な充電方法を選択し，充電スケジューリングを行う．カーシェアリングの場合の EV の充電スケジュール例を図 3.8 に示す．次の予約までに十分な充電時間がある場合は，安価な深夜電力を使って普通充電を行うスケジュールを作成し，充電コストを削減することを検証した．

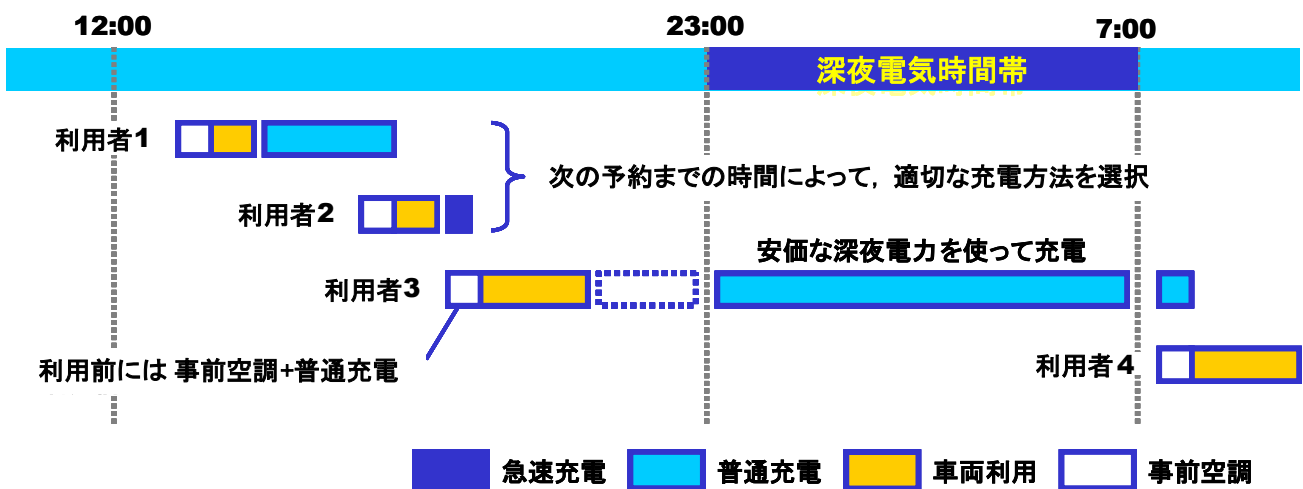


図 3.8 EV の充電スケジュール例

Figure 3.8 Example of battery charge schedule for EV.

3.6.2.2 性能評価

(1) 車両情報収集性能の評価

通信試験により実験システムの車両情報収集性能を評価した．車両 ID により登録車両を判別し，車両情報 1kbyte を 3.5G 通信回線または DSRC により収集する時間を計測した．この時間に CAN インタフェースのサンプリング周期 500msec を加えた処理時間の分布を図 3.9 に示す．ここで，DSRC は通信領域が狭いため，複数車載器同時通信において，1 台あたりの通信帯域が減少することにより再送処理が発生し，通信時間にばらつきが生じる．同時接続は 4 台まで可能であることを検証した．

高速通信である CAN を採用したこと，及び 3.5G 通信回線と DSRC の

連携により，センタ及び路側システムが車載器を介して 1 秒以内に車両情報を収集する割合はほぼ 100%である．以上より，実験システムによって 1 秒以内のサンプリング周期で車両情報を収集することを検証した．

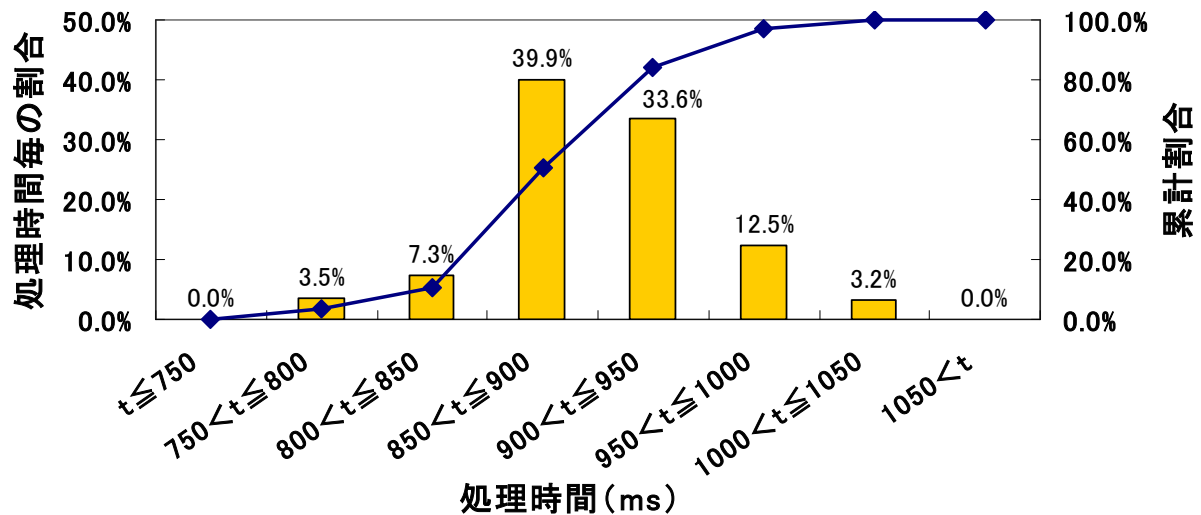


図 3.9 実験システムの車両情報収集時間分布

Figure 3.9 Distribution of time for collecting vehicle information by experimental system.

(2) 車両内情報提供性能の評価

実車両で EV 充電率 30%以下の状態を発生させ，センタ及び路側システムが充電残量不足を検知し，車両内のカーナビゲーションに対して警告出力を行うまでの時間を計測した．充電率が 30%以下となった時点からカーナビゲーションへの警告出力までの処理時間の分布を図 3.10 に示す．

3.5G 通信回線と CAN を接続する通信プロトコルを使用することにより，充電残量不足発生から警告出力まで 3 秒以下である割合はほぼ 100%である．以上より，実験システムの車両内情報提供性能を評価した．

(3) 車両遠隔操作性能の評価

通信試験により実験システムの車両遠隔操作性能を評価した．車両 ID により登録車両を判別し，DSRC と CAN インタフェースによりエアコンスイッチを ON に書き込む処理時間を計測した．車両データ書き込みの処

理時間の分布を図 3.10 に示す.

高速通信である CAN を採用したこと, 及び DSRC と CAN を接続する通信プロトコルを使用することにより, 路側システムが車載器を介して 3 秒以内にエアコンスイッチを ON に書き込む割合はほぼ 100%である. 以上より, 実験システムによって充電ステーションのスケジュールに基づき, 乗車前に事前にエアコンスイッチを作動させることを検証した.

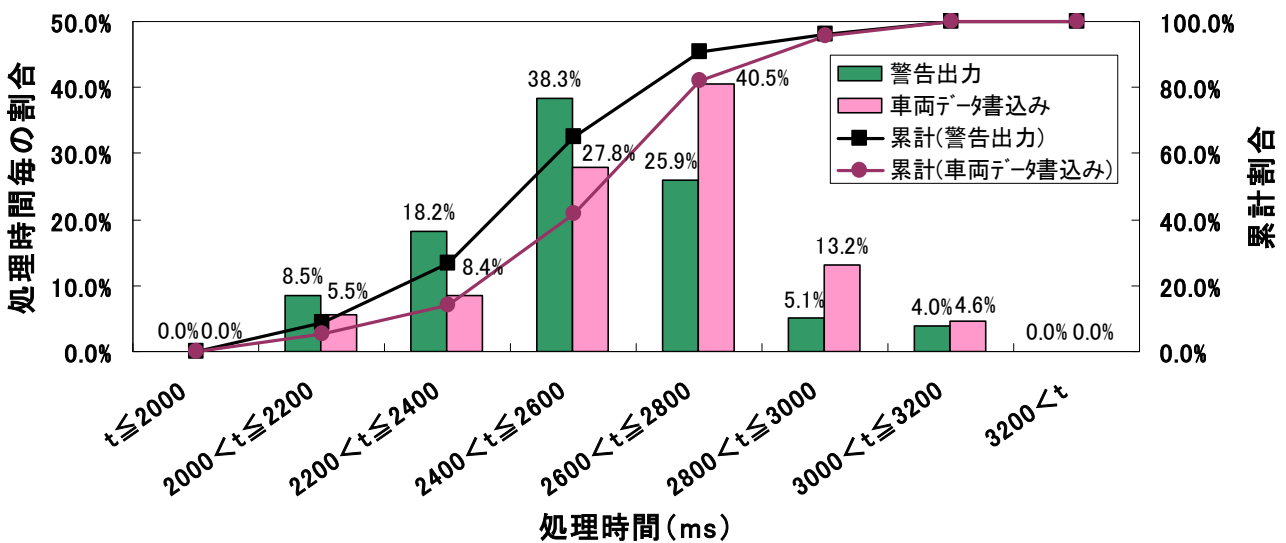


図 3.10 実験システムの処理時間分布

Figure 3.10 Distribution of processing time by experimental system.

(4) システム全体のパフォーマンス評価

提案した EV 向け ITS 情報通信システムと, 広域通信システム及びセンタレスシステムとを比較し, 提案システムのシステム全体のパフォーマンスを評価する. システム構成, コスト, 通信の速度, 安定性, セキュリティといった観点から比較し, コストはセンタレスシステムが最も安価であるが, 通信の速度, 安定性, セキュリティにおいては提案システムが優位であり, システム全体のパフォーマンスは最も高いといえる. 提案システムと他のシステムとのパフォーマンスを比較した結果を表 3.3 に示す.

表 3.3 提案システムのパフォーマンス評価

Table 3.3 Performance evaluation of proposed system.

項目	広域通信システム	センタレスシステム	提案システム
システム構成	情報センタ+車載器+カーナビ	車載器+カーナビ+センサ	情報センタ+路側装置+車載器+カーナビ
コスト	○ 通信費+センタ運営費	◎ センタ運営費不要	△ 路側装置設置費用+通信費+センタ運営費
通信の速度	○ 実効速度低下	- 情報ダウンロードに時間がかかる	○ 最大 4Mbps
安定性	○ プル型で車両が要求したときに提供可能	△ 収集データを車載器内部に格納	◎ プッシュ型で車両への情報提供の安定性高い
セキュリティ	○ 比較的高い	○ 外部通信接続なし	◎ 限定された路側装置との通信のため高い
システム全体のパフォーマンス	○ センタにて情報収集・生成・提供するためオーバーヘッド大	△ ・自車の情報に限定 ・情報ダウンロード必要 ・情報量が少ない	◎ ・路車間通信で直接情報交換するため高い ・センタで情報管理

3.7 むすび

本章では、EV が持つ課題と特性に対応した ITS サービスを提供するため、広域通信網と路車間通信及び車載ネットワークを活用した EV 向け ITS 情報通信システムを提案した。路車間通信として DSRC、広域通信網として 3.5G 通信回線、車載ネットワークとして CAN を採用し、DSRC または 3.5G 通信回線と CAN を接続する通信プロトコル、及び DSRC と 3.5G 通信回線を連携する通信プロトコルを開発し、センタ及び路側無線装置から車載器を介して車両データの読み出しと車両の遠隔操作を行う、車載システムと路側システムを開発した。

実験システムにより実証試験を行い、センタ及び路側システムが車両の状態変化を検知し、車両内に確実に情報提供することを確認した。さらに、センタ及び路側システムから車両を遠隔操作することにより、リアルタイムに車両状態を変化させることを確認した。これらの通信システム上で動作するサービスアプリケーションを開発することにより、提案した EV 向け ITS 情報通信システムが EV 車内での安心感向上と充電

ステーションでの利便性・快適性向上において、有効なサービスを提供することを評価した。

今後は、EV 向け ITS 情報通信システムの実用化評価を行うとともに、車車間通信などの他通信メディアシステムとの連携を可能とし、EV 通信ネットワークを活用したサービス、EV を情報通信インフラとして利用することも可能とする所存である。

第4章 車の情報プラットフォーム化とインターネット利用

4.1 まえがき

自動車に乗ったまま商品やサービスが提供されるドライブスルー店舗が増加している。通常，ドライブスルー利用者は，ドライブスルーレーンに車で進入した後に，窓口で商品を選択し，会話により注文する。混雑時は，前の利用者が注文を終えるまで，後続の利用者は長く待たされることになる。そこで，車内で事前に商品を選択し，注文まで行ってからドライブスルーレーンに進入し，窓口でスムーズに注文を確定し，料金支払を行う ITS サービスが求められている[38]。インターネット経由で注文・決済を行い，ドライブスルー窓口で携帯電話を鍵として注文情報を呼び出すシステム[39]では，携帯電話をリーダ/ライタにかざす必要がある。

本章では，ドライブスルーレーンでのサービス時間短縮を目的として，DSRC 路車間通信[30]を使用した車利用型システムを提案する。具体的には，インターネットプロトコル (IP) 通信と非 IP 通信を共存させる通信プラットフォーム，カーナビゲーションにより注文情報を登録できる IP アプリケーション，及び注文確定・支払処理を行う非 IP アプリケーションを開発した。実店舗での実証実験の結果，ドライブスルー利用時のサービス時間が現行より 50%短縮できることが示され，サービスの有効性とシステムの実用性が実証された。

以下，4.2 節で IP 通信と非 IP 通信の連携について述べたのち，4.3 節で車利用型注文・支払システムの開発について解説する。4.4 節で実験システムによる実証実験について説明し，最後に 4.5 節で本章をまとめる。

4.2 IP 通信と非 IP 通信の連携

4.2.1 DSRC-IP 接続

DSRC は ARIB STD-T75[9]，STD-T88[23] に準拠し，安定した通信ゾーン (20m) を構成し，伝送速度が速い (4Mbps) ことなどを特長としている。DSRC では 1 つの路側装置が複数の車載器と同時に通信を行う。DSRC-IP 接続[40] は以下の機能を有する。

- (1) RFC1661 (1994年7月版) で規定される PPP (リンク制御プロトコルと IP 制御プロトコルにより構成) を用いて, ローカルコントローラと車載器をポイント・ツー・ポイントで接続する.
- (2) 初期接続 URL (Uniform Resource Locator) は, ITS FORUM RC-004 [33] の擬似プッシュ機能, 個別通信による通常ポートで確認応答なしプッシュ型情報配信を用いて, 路側装置から車載器へ通知される.
- (3) 切断は 4 通りある (エリアアウトによる切断, 車載器/路側装置側からの PPP 接続の切断, 車載器側からの DSRC 切断).

4.2.2 DSRC-SPF (セキュリティプラットフォーム)

DSRC 路車間通信においては, 無線通信路上を経由して支払の金銭に係わる情報が取り扱われるため, なりすましや盗聴, 改ざんといった脅威から路側装置と車載器を保護する必要がある. DSRC 路車間通信にあたっては, DSRC セキュリティプラットフォーム (DSRC-SPF) [41] を用いて, 路側装置-車載器間の相互認証, 後述の基本アプリケーション [33] のプロトコルデータユニットの暗号化/復号化, 及び MAC (Message Authentication Code) 生成/検証を行う.

4.2.3 サービスの利用状況

本章で対象とするサービスの利用状況は, 以下の 4 つの利用シーンを想定する.

(a) 店舗外での事前注文登録

車両がドライブスルー店舗に進入する前に, 店舗外に設置された路側装置からカーナビゲーションへメニューを配信し, 車両の搭乗者が事前に商品を選択し, 注文を行う. 注文内容と当該車両の識別 ID が紐付けられて登録される. 本章では, 車両の識別 ID を車両に搭載されている「車載器 ID」と定義する.

(b) 店舗入口での広告配信

ドライブスルー店舗入口に路側装置を設置し, 店舗に進入してきた車両に搭載された車載器へ広告情報を配信する.

(c) 店舗窓口での注文確定

ドライブスルー店舗の注文窓口を設置された路側装置が, ドライブス

ルーレーンに進入してきた車両に搭載されている車載器と無線通信を行い、相互認証を行う。事前登録されている注文内容を注文者に通知し、注文確認・確定を行う。

(d) 店舗窓口での料金支払

路側装置と車載器の間で相互認証を行う。路側装置から車載器へ支払金額を送信し、支払意思確認後、ICカードによる料金決済処理を行う。

4.2.4 要求条件

本章で提案する「DSRCによる車利用型注文・支払システム」では、高速でセキュリティ性の高い通信手段が要求される。ここで、システムが満たすべき要求条件を以下にまとめる。

- (1) IP接続によりWEBコンテンツに5秒以内にアクセスし、4台の車から同時に注文情報を登録できること。
- (2) 注文者の車両がドライブスルー窓口に来ると、路車間の相互認証を行い、注文情報を読み出し、注文確定・支払が30秒以内に完了すること。

4.3 車利用型注文・支払システムの開発

前節で整理した要求条件を満足するシステムとして、「DSRCによる車利用型注文・支払システム」を提案する。本節ではシステム構成について述べたのち、IP通信と非IP通信を共存させる通信プラットフォーム、及びサービスアプリケーションの実装について述べる。

4.3.1 システム構成

提案システムは、センタサーバ、路側装置、車載器、カーナビゲーションから構成される。システム構成を図4.1に示す。

センタサーバは、ローカルコントローラ、WEBサーバ、データ管理サーバから構成される。ローカルコントローラは、情報コンテンツを路側装置により車載器及びカーナビゲーションへ配信するための制御を行う。データ管理サーバは、システムが取り扱う情報をDBに蓄積し、登録・更新・削除等の管理制御を行う。WEBサーバは、IP接続によりカーナビゲーションに配信するコンテンツの管理を行う。路側装置は、DSRC路側無線装置とアンテナで構成され、DSRC-IP接続によりサーバにIP

接続するとともに，DSRC により車載器へ情報配信を行う．車載器は，ITS 車載器 DSRC 部標準仕様[34] に準拠し，路側装置と DSRC 通信を行い，カーナビゲーションとのインタフェースを持つ．カーナビゲーションは，車載器インタフェースによりサーバに接続するとともに，DSRC により路側装置から配信される情報コンテンツを再生する．

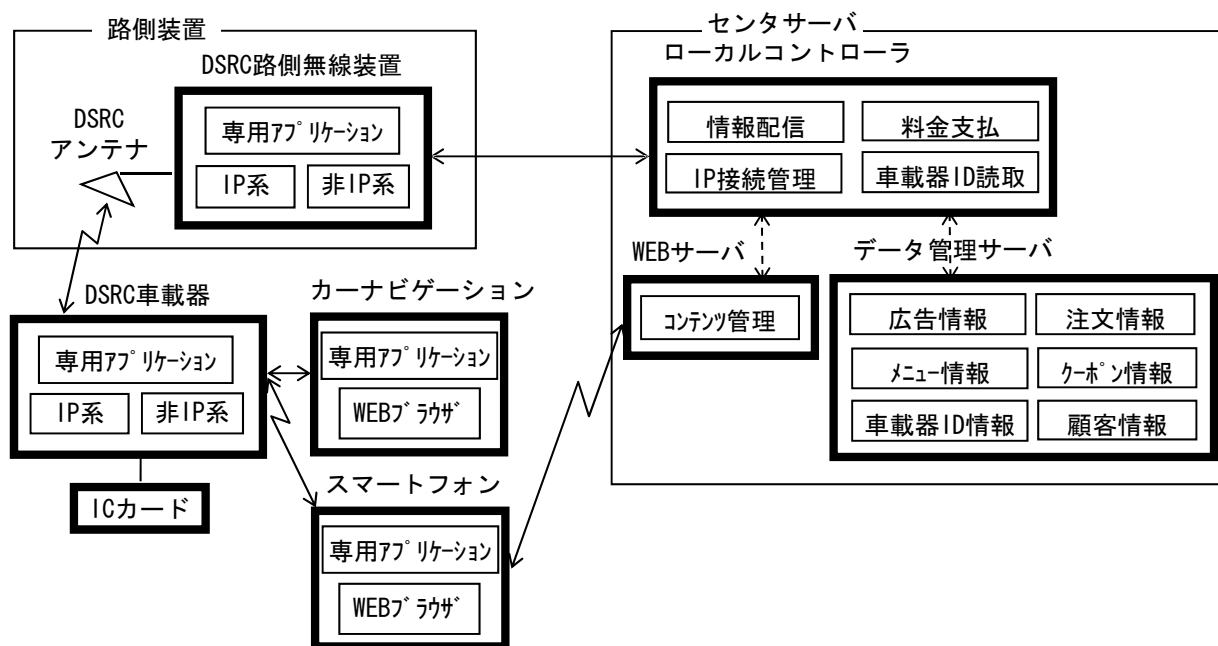


図 4.1 DSRC による車利用型注文・支払システムの構成

Figure 4.1 Configuration of order and payment system via DSRC in-vehicle use.

4.3.2 通信プラットフォーム

IP 通信と非 IP 通信を共存させる通信プラットフォームを図 4.2 に示す．DSRC プロトコル及びその上位にアプリケーションサブレイヤ (ASL) [23] を車載器及び路側装置に実装する．IP 通信と非 IP 通信の各通信プロトコルは，ASL の拡張通信制御プロトコル部 (ASL-ELCP) 上に位置する．ASL はマルチプロトコルに対応しており，一つの AID (Application ID) により，DSRC-IP 接続と非 IP 通信プロトコルの共存が可能である．非 IP 通信はバルク転送制御，同報モード制御などの機能を有しており，これらの機能を DSRC-IP 接続と同時に利用可能とすることで，リソース量の軽減を図ることができる．

非 IP アプリケーションのうち，プッシュ型情報配信では比較的大容量

(25kbyte) のデータを送信するとともに同報通信機能も必要である。注文・支払などのサービスではデータ損失に対する要求も厳しくなる。さらに、多様な ITS アプリケーションを効率的に開発・動作させるために、DSRC プロトコルとサービスアプリケーション間の汎用的なインタフェース (IF) 及び各種アプリケーションで共通化が可能な基本アプリケーション (プッシュ型情報配信・IC カードアクセス・車載器指示応答・車載器メモリアクセス) をソフトウェア共通基盤として実装する [33]。DSRC のセキュリティ機能を担う DSRC-SPF は、基本アプリケーションと ASL のローカルポートプロトコル (LPP) の間に位置し、基本アプリケーション毎に DSRC-SPF を利用してアクセスできるセキュアポートと DSRC-SPF を利用せずにアクセスできるノンセキュアポートが割り当てられており、相互認証が正常に完了した場合のみセキュアポートへのアクセスが可能となる。

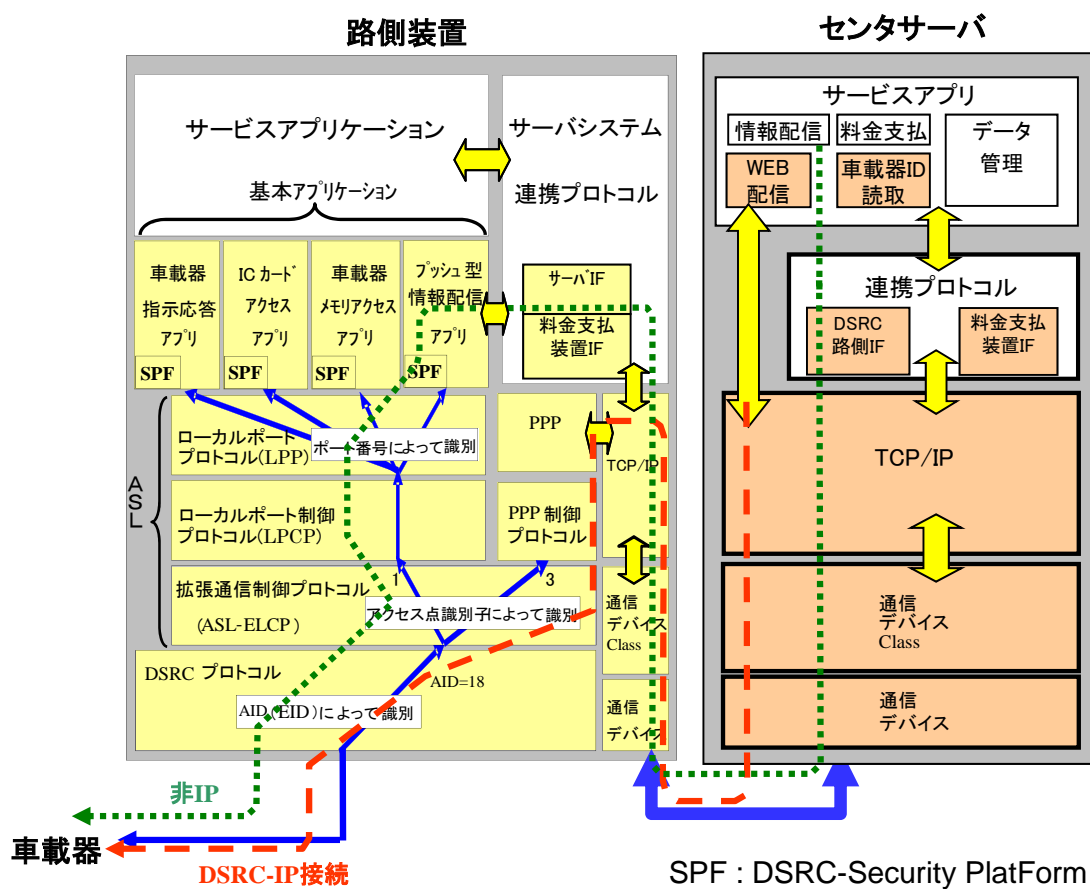


図 4.2 通信プラットフォーム

Figure 4.2 Communication platform.

4.3.3 サービスアプリケーション

4.3.3.1 IP 系アプリケーション

IP 系アプリケーションとして、事前注文登録アプリケーションを実装する。IP 系アプリケーションの処理手順を以下に記す。

相互認証完了後、路側装置が車載器 ID を読み取る。ローカルコントローラが車載器 ID を付加した WEB コンテンツの URL を生成し、路側装置から車載器へ車載器 ID 付 URL を送信する。複数の車から同時にアクセスする場合は、それぞれのカーナビゲーションから異なる URL にアクセスすることにより、システムが各車両の情報を車載器 ID により識別管理し、セキュリティを確保することができる。カーナビゲーションから URL の WEB コンテンツに接続し、メニュー画面を表示する。メニュー選択を行い、注文情報が WEB サーバの車載器 ID に紐付けられたバスケットに保持される。カーナビゲーションでの注文確定により、サーバに車載器 ID を付加した事前注文情報が登録される。

4.3.3.2 非 IP 系アプリケーション

非 IP 系アプリケーションとして、広告配信、注文確定、及び料金支払の各アプリケーションを実装する。図 4.3 に非 IP 通信の通信シーケンスを示す。

(1) 店舗窓口での注文確定処理

車載器と路側装置が DSRC 通信を行い、相互認証を行う。ローカルコントローラがサーバに登録されている車載器 ID に紐付けられた事前注文情報を読み出し、車載器へ注文確認のための画面表示と音声を確認応答ありプッシュ型情報配信により送信する。ローカルコントローラが車載器から注文確定応答を受信し、サーバに注文情報を登録する。

(2) 店舗窓口での料金支払処理

ローカルコントローラが車載器 ID に紐付けられた注文内容を読み出し、車載器へ料金金額と支払意思確認のための画面表示と音声を確認応答ありプッシュ型情報配信により送信する。ローカルコントローラが車載器から支払意思確認応答を受信し、サーバにて IC カードによる料金決済処理を行う。

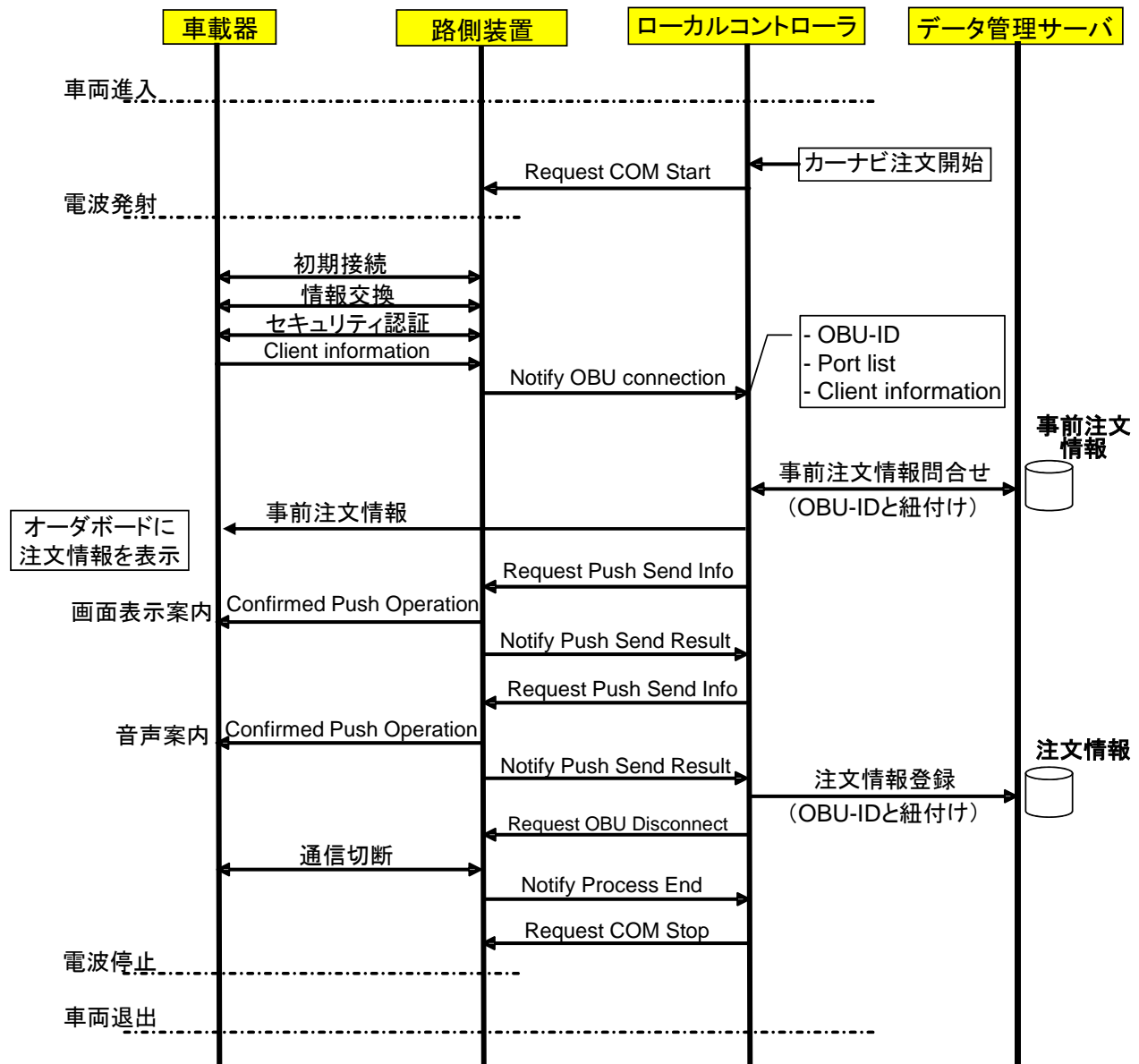


図 4.3 非 IP 通信の通信シーケンス

Figure 4.3 Communication sequence for non-IP communications.

4.4 実験システムによる実証実験

4.4.1 実験システム構成

ドライブスルー実店舗にて 4 台の路側装置（アンテナ）を設置し，車載器とカーナビゲーションを搭載した車両 8 台を使用して実環境で実証実験を実施した．ドライブスルーレーンのレイアウトを図 4.4 に示す．図 4.4 の A, B, C, D の 4 カ所に路側装置（アンテナ）を設置し，車両を A で停車，その後，B→C→D（停車）の順に走行させて実験を実施した．

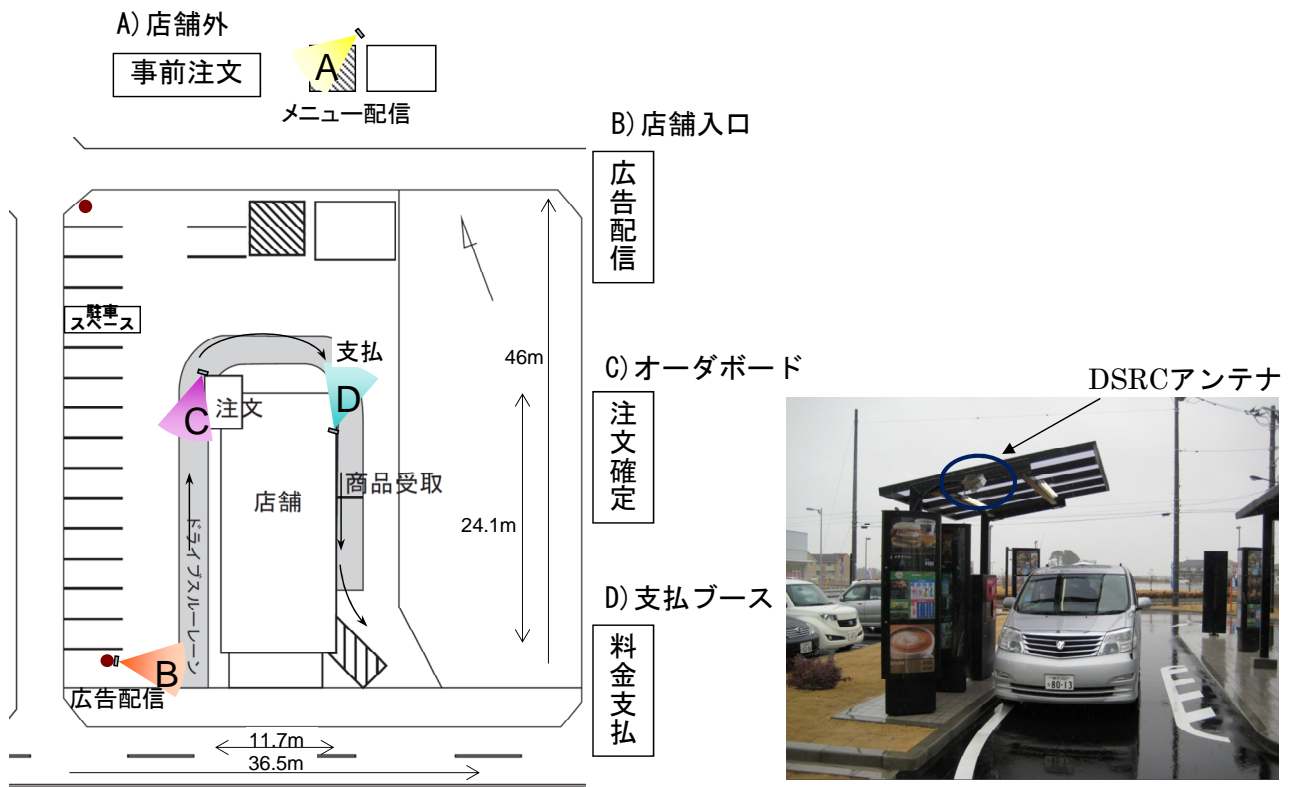


図 4.4 ドライブスルーレーンのレイアウト図

Figure 4.4 Layout chart of drive-through lane.

4.4.2 実験システムの評価

(1) IP 接続による事前注文登録

路側アンテナ A の周囲 5m に 4 台の車両を停車し、4 台のカーナビゲーションから同時に注文操作を行い、カーナビゲーションが DSRC-IP 接続を開始してから WEB コンテンツのトップ画面が表示されるまでの時間を計測した。4 台の車両が同時にトップ画面を表示するまでの応答時間は 5 秒以下で要求条件を満たしている。カーナビゲーションでの注文確定により、サーバに車載器 ID を付加した事前注文情報を登録することを検証した。

(2) 非 IP 通信による注文確定と支払処理

車両 1 台を路側アンテナ C の通信領域に車速 10km/h で進入させ、路側装置と車載器の間で相互認証を行い、車載器へ注文確認を送信することをカーナビゲーションの画面と音声により確認した。車載器から注文確定応答を受信し、サーバに注文情報を登録することを検証した。認証

失敗した場合は、当該車両に対してそれ以降の処理を行わないことを確認した。

次に、車両 1 台を路側アンテナ D の通信領域内に停車させ、車載器へ料金金額と支払意思確認を送信することをカーナビゲーションの画面と音声により確認した。車載器から支払意思確認応答を受信し、サーバにて IC カードによる料金決済処理を行うことを検証した。

車両がドライブスルーの注文窓口 C に来てから相互認証を行い、注文確定が完了するまでの時間、加えて支払窓口 D での支払処理時間を計測し、処理時間が 25 秒以下となり、目標の 30 秒以内に完了することを確認した。提案システムによりドライブスルー利用時のサービス時間が現行より 50%短縮できることが実証された。

4.5 むすび

ドライブスルー実店舗での実証実験の結果、車両が注文窓口に来てから注文確定と支払が完了するまでの処理時間は 25 秒以下となる。提案システムにより、ドライブスルー利用時のサービス時間と利用者の待ち時間が短縮できることが示され、サービスの有効性とシステムの実用性が実証された。

今後は、ドライブスルー店舗における走行試験により、通信不安定や走行中の電波環境において提案システムの有効性を評価するとともに、車からのインターネット利用サービスをさらに発展させていく所存である。

第5章 路車間通信と IC カードアクセスの連携技術

5.1 まえがき

交通渋滞は、特にアジアの開発途上国で深刻な問題となっている。道路課金システムの導入は、大都市の渋滞緩和のための効果的な解決策の一つである。本章では、日本で実績のあるアクティブ DSRC と非接触式 IC カードをベースとした「統合都市内道路課金システム (Integrated Urban Road Pricing: IURP)」を提案する。提案システムでは、非接触式 IC カード内のメモリアクセスは、路側制御装置が DSRC を介して IC カードに直接アクセスすることにより、セキュリティ性を向上できる。開発したバッテリー型車載器 (OBU) は、アジア各国で買い物の支払メディアとして広く流通しているセキュリティ性の高い非接触式 IC カードとのインタフェースを有する。加えて、車載器を車両に取り付けるための配線が不要で、利用者は容易に車載器を導入することができる。アクティブ DSRC を使用する場合、車載器の電力消費が大きいため、通常は外部バッテリーによる電力供給が必要であるが、スリープ・ウェークアップ制御により消費電力を 30%削減し、バッテリー寿命が 2 年以上のバッテリー内蔵型車載器を開発した。

マレーシアの高速道路での 1 年間のトライアルにて、IURP システムは、道路課金システムとしてエラー率 10^{-5} 以下でトラブルなく、全ての対象 IC カードに対応して、車速 80km/h にて通信エリア内で料金収受をセキュアに完了することを実証した。

以下、5.2 節で DSRC 通信と IC カードアクセスの連携について述べたのち、5.3 節で都市内道路課金システムを提案し、5.4 節で実験システムの開発について解説する。5.5 節で実験システムによる実証試験について説明し、最後に 5.6 節で本章をまとめる。

5.2 DSRC 通信と IC カードアクセスの連携

5.2.1 アクティブ DSRC 通信

本章では、路車間通信として日本の ETC に用いられている 5.8GHz 帯アクティブ DSRC を採用する。DSRC は ARIB STD-T75 [9] , STD-T88

[23] に準拠し，路側装置を中心とした直径 30m の範囲を通信領域として安定した通信ゾーンを構成し，1 つの路側装置が複数の車載器と同時に通信を行う．アクティブ通信方式によって通信領域が広域で高速伝送（4Mbps）を実現し，高速道路の料金所のシングルレーンバリア方式とマルチフリーフローレーン方式の両方に共通で使用することができる．

5.2.2 非接触式 IC カード

車載器の支払メディアとして，例えば Mifare Classic [42], Mifare DESfire, Mifare Plus のような複数のセキュリティ性の高い非接触式 IC カードに対応することが求められる．これらの非接触式 IC カードは，アジア各国で買い物に多数流通しているカードであり，公共交通にも実際に利用されている．従って，利用者は新たなカード運用を必要とせず，既存のインフラを利用することができる．

5.2.3 バッテリー型車載器

バッテリー型車載器は内蔵バッテリーにより動作する．バッテリー型車載器を車に取り付ける場合，配線が不要で，利用者は容易に車載器を導入することができる．一方，車載器は，載せ替えといった不正運用のリスクがある．バッテリー型車載器を実用化するためには，低電力消費と不正使用に対応する対策が必要であり，電力管理機能やセットアップ機能を開発した．

5.2.4 要求条件

本章で提案する IURP システムは，アジア諸国における道路課金の課題に対応するシステムであり，路車間通信と非接触式 IC カードアクセスを連携する，高速で高品質，高セキュリティな通信手段が要求される．ここで，システムが満たすべき要求条件を以下にまとめる．

- 車速 80km/h で料金収受を正確かつセキュアに完了すること．情報伝送が高速で低遅延であること．
- MiFare SAM（Secure Application Module）を搭載し，Mifare Classic, Mifare DESfire, Mifare Plus といった複数のセキュリティ性の高い非接触式 IC カードに対応すること．車載器のバッテリー寿命が 2 年以上であること．

5.3 都市内道路課金システム

要求条件を満たすために、路車間通信，非接触式 IC カード，バッテリー型車載器を使用する IURP システムを提案する． 提案システムでは，路車間通信としてアクティブ DSRC，非接触式 IC カードアクセスとして Mifare SAM を採用する．

5.3.1 システム構成

IURP システムは，車線制御装置（LCL：Lane Controller），キーサーバ，路側装置，路側アンテナ，車載器，非接触式 IC カードから構成される． LCL と路側アンテナが DSRC を介して車載器と通信し，Mifare インタフェースにより IC カードにアクセスする． 図 5.1 に IURP システム構成を示す． Mifare Classic, Mifare DESfire, Mifare Plus に対応するため，路側装置または車載器のいずれかに Mifare SAM を実装する．

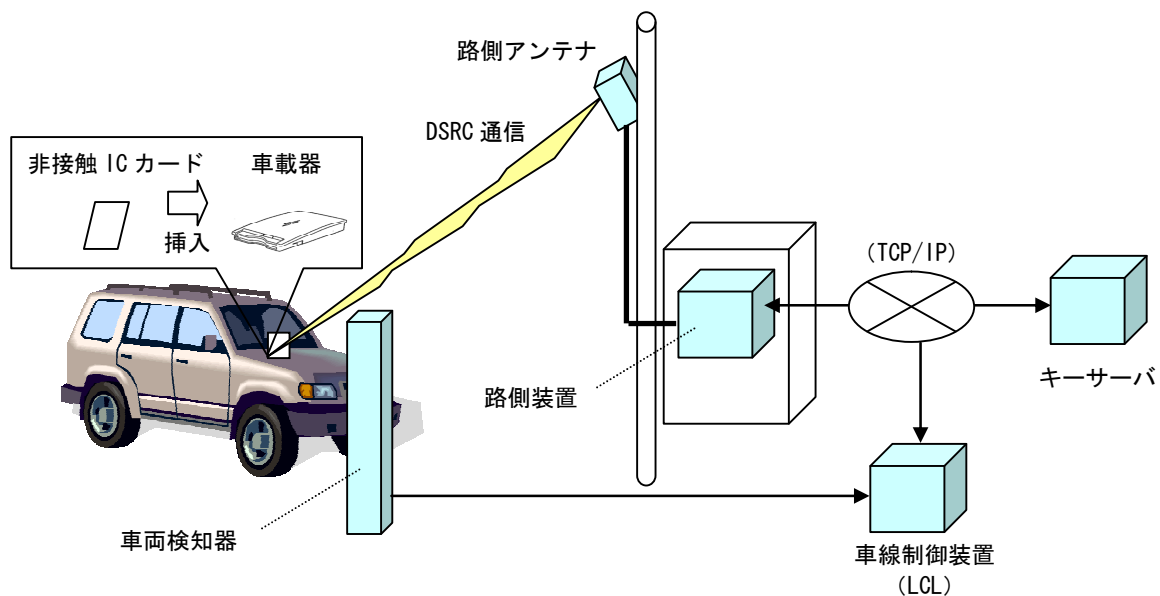


図 5.1 IURP システム構成

Figure 5.1 Configuration of IURP system.

5.3.2 DSRC 通信と非接触式 IC カードの通信シーケンス

IURP システムでは，DSRC と非接触式 IC カードを連携する通信シーケンスを開発した． 図 5.2 に IURP システムの通信シーケンスを示す． 車載器は DSRC 通信エリア内でのみカードアクセス処理を行うことができ，通信エリア外ではカードアクセスを行うことができない（透過トラ

ンザクションによる動作)。これにより、以下のとおり、システムのセキュリティ性を向上することができる。

- 非接触式 IC カードにアクセスするためのカードキーは、車載器内ではなく、路側装置内に保持される。
- 非接触式 IC カード内のメモリアクセス手順は、車載器によって制御せず、LCL は DSRC を介して IC カードに直接アクセスする。

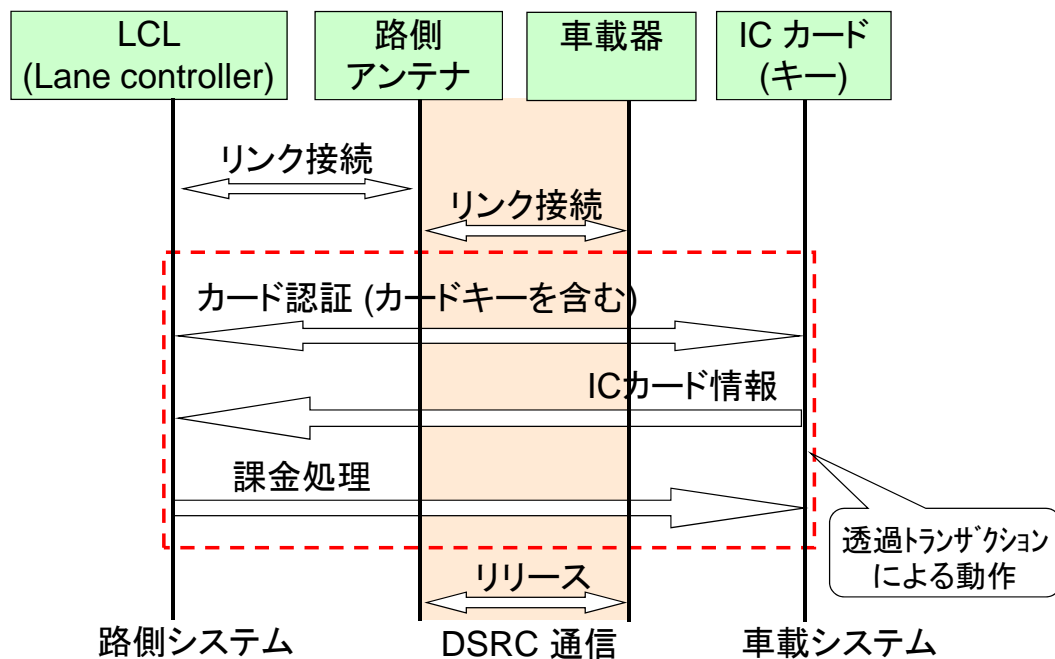


図 5.2 DSRC と非接触式 IC カードの通信シーケンス

Figure 5.2 Communication sequence of DSRC and contactless IC card.

5.4 実験システムの開発

5.4.1 車載器

車載器は ITS 車載器の DSRC 部標準仕様[34] に準拠し、DSRC 通信機能を有する。利用者は、車載器のホルダを両面テープで車のフロントガラスに容易に設置することができる。車載器本体はホルダに取り付けることができ、車載器不使用時は盗難防止のため、ホルダから取り外すことができる。

5.4.2 電力管理機能

車載器の動作モードは「deep sleep mode」、「sleep mode」、「active mode」に分類される。車載器にカードが挿入されていない場合は「deep sleep mode」となる。カードが挿入されると、「active mode」に遷移して非接触カードの認証を行い、一定時間経過後、「sleep mode」に遷移する。「sleep mode」時に無線部が路側からのキャリアを検知（電波を受信）した場合、車載器はウェークアップし、「active mode」に遷移して路車間通信を行い、通信終了後、「sleep mode」に遷移する。CPU をスリープさせ、スリープ時間を現行車載器の 2 倍にして車載器の消費電力を 30%削減することができる。カードが抜き取られた場合、車載器は「deep sleep mode」に遷移する。車載器の状態遷移を図 5.3 に示す。

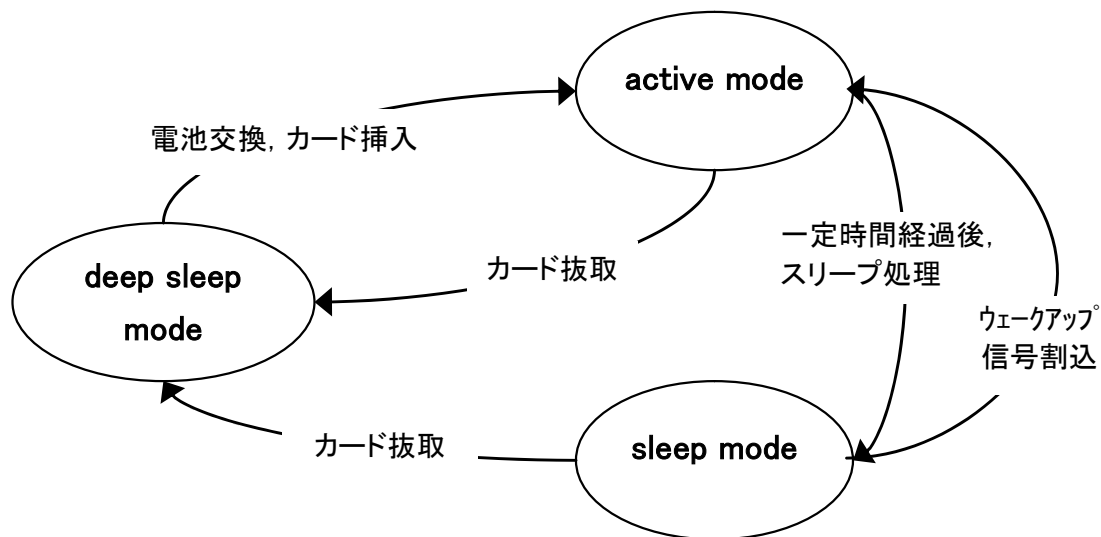


図 5.3 車載器の状態遷移図

Figure 5.3 State transition of OBU.

5.4.3 セットアップ機能

利用者が車から車載器の取付け/取外しを容易に行えるため、載せ替えによる不正運用が行われやすい。車載器のメモリに車載器 ID、車種等のようなセットアップ情報を書き込み、DSRC によりセットアップ情報を LCL に転送する。一方、車種判別装置が LCL と連結され、車種の不一致が検知されると、不正車両取締りシステムと連携して不正車両に対する対策を講じることができる。

5.4.4 料金收受機能

料金收受の基本手順は下記のとおりである。

- (1) 路側装置は、LCL から車との通信開始要求を受信して DSRC 通信を開始し、車載器と DSRC 通信を確立する（コネクション）。
- (2) 車載器の機器認証とカード認証を行う。
- (3) 車載器 ID、契約者番号、カード ID を読み取り、カード ID からカードキーを生成する。
- (4) 車載器 ID や属性情報等を使って課金額を決定する。カード残額を調べ、料金を引き去る。
- (5) 車載器で課金結果を表現し、リリースする（コネクション切断）。

5.4.5 非接触式 IC カードアクセス機能

DSRC を介した非接触式 IC カードのデータアクセスを表 5.1 に示す。ここで、各項目のデータ量は 16 バイトである。車載器は、DSRC 通信エリア内でのみ IC カードアクセス処理を行う。

表 5.1 非接触式 IC カードのデータアクセス

Table 5.1 Data accesses in contactless IC cards.

非接触式 IC カードの データアクセス項目	データアクセスポイント		
	入口	出口	バリア
(1) 契約者情報 (Read)	○	○	○
(2) 残額 (Read)	○	○	○
(3) 残額 (Decrement)	○	○	○
(4) 残額 (Read)	○	○	○
(5) トランザクション履歴 (Read)	○	○	○
(6) トランザクション履歴 (Write)	○	○	○
(7) 課金履歴 (Read)	○	○	○
(8) 課金履歴 (Write)	○	○	○
(9) 入口情報 (Read)	—	○	—
(10) 入口情報 (Write)	○	—	—

5.5 実験システムによる実証試験

5.5.1 シミュレーション結果による評価

IURP システムの構成として、SAM を路側装置に搭載する路側 SAM と、車載器に搭載する車載 SAM 構成が考えられ、各構成の性能をシミュレーションにより比較した。シミュレーション条件として、DSRC の 1 フレーム周期を 7ms、IC カード伝送速度を 106kbps とする。その結果、路側 SAM では IC カードアクセスを含む DSRC 通信時間は 281ms となり、車速 80km/h で料金収受するために通信エリアが 7m 必要である。車載 SAM では DSRC 通信時間は 217ms で通信エリアは 5m となるが、システム運用上いずれも問題ない。そのため、車載器コストを削減できる路側 SAM を採用した。また、複数カード対応可能な低消費電力設計の車載器のバッテリー寿命を計算した。1 日の車載器使用モデルを「deep sleep」16h、「sleep」8h（スリープ時間を現行車載器の 2 倍とする）、ウェークアップ 8 回として、公称 2400mAh のリチウム一次電池を採用すると、バッテリー寿命は 2.2-2.3 年となる。

5.5.2 トライアルによる評価

マレーシアの高速道路の料金所シングルレーンにて、1 年間トライアルを実施した。実験用車載器を選定した利用者に配布し、公共交通の非接触式 IC カードを支払メディアとして使用した。トライアルの結果、IURP システムは、公共交通カードとの相互運用を実証することができた。利用者は、既存カードのインフラを利用し、利便性を享受することができる。IURP システムは、道路課金システムとしてエラー率 10^{-5} 以下でトラブルなく、長期安定運用することを実証した。

5.6 むすび

シミュレーション結果により、全ての対象 IC カードに対応して、車速 80km/h にて通信エリア内で料金収受をセキュアに完了することができ、また、車載器のバッテリー寿命 2 年以上を満たしている。

マレーシアのシングルレーンでの 1 年間のトライアルにて、アクティブ DSRC、非接触式 IC カード、バッテリー型車載器を採用した IURP システムは、トラブルなく実運用を実施し、システムの有効性を確認できた。

トライアルの結果，路側システムはシングルレーンバリア方式からマルチフリーフローレーン方式に更新することが可能で，IURP システムは両方式に共用できる見通しを得た．今後は，IURP システムを最良の交通需要管理システムへとアップグレードすることを目標とする．

第6章 結論

6.1 本研究の成果

本論文は、ITS サービスに求められる伝送情報量の増大、高速で高レスポンス、高信頼性、高セキュリティ性に対応することを目的として、モバイル通信を伝送媒体とする ITS 無線情報システムの高度化に関する研究成果をまとめたものである。

本研究で得られた成果を総括すると、以下のとおりである。

第2章では、安全運転支援協調システムで実用化されている路車間通信において、同報通信の情報提供サービスと個別通信のアップリンク情報サービスを同時に提供する、同報・個別通信混在環境で安定したサービスを提供するために、ARIB 標準に規定されている 5.8GHz 帯 DSRC を前提として既存の標準規格の拡張により通信特性を改善する制御方式について研究した。

まず、高速で移動する車環境でシャドウイング等により通信回線状況が悪化した場合の通信接続に関する課題を解決するために、移動局の通信接続管理に着目し、移動局の通信接続管理タイマによる通信リンク切断判定を改良した。通信回線状況悪化により通信不安定になった場合も、再接続により接続可能時間を確保する制御方式を提案した。さらに、DSRC は通信領域が狭域なため、通信帯域に関する課題を解決するために基地局の通信帯域制御に着目し、基地局の移動局に対する通信接続維持動作を改良した。占有する通信帯域を開放することにより通信効率を向上させ、基地局が通信領域内の複数の移動局と所望のデータ量の情報交換を可能とする方式を提案した。実証試験の結果、提案方式による通信接続管理改善及び通信帯域制御の効果を確認し、提案方式の適用により4台の移動局が720ms内に同報50kbyte、アップリンク4kbyteを同時に受送信完了することを確認した。DSRC 路側装置が設置されている高速道路上のITSスポットにて、100km/hの高速移動車両に対し、同報・個別通信のサービスを同時に提供できることを実証した。

第3章では、車内の様々なセンシング情報を車両から情報センタにアップロードし、それを用いてセンタが車両に情報配信するための外部通

信ネットワークと車載ネットワークの相互接続技術について研究した。路車間通信として DSRC，広域通信網として 3.5G 通信回線，車載ネットワークとして CAN を採用し，DSRC または 3.5G 通信回線と CAN を接続する通信プロトコル，及び DSRC と 3.5G 通信回線を連携する通信プロトコルを提案した。

次に，EV が持つ課題と特性に対応した ITS サービスを提供するため，広域通信網と路車間通信及び車載ネットワークを相互接続した EV 向け ITS 情報通信システムを提案し，具体的にはセンタ及び路側無線装置から車載器を介して EV データの読み出しと EV の遠隔操作を行う車載システムと路側システムを開発した。実証試験の結果，センタ及び路側システムが EV の状態変化を検知し車両内に確実に情報提供すること，また，センタ及び路側システムから EV を遠隔操作することによりリアルタイムに車両状態を変化させることを確認した。EV のバッテリー残量を 1 秒以内のサンプリング周期で連続的に収集すること，カーエアコンのスイッチを 3 秒以内に作動させることを実証した。これらの通信システム上で動作するサービスアプリケーションにより，EV 車内での安心感向上と充電ステーションでの利便性・快適性向上において，有効なサービスを提供することを検証した。充電ステーションでの最適な充電スケジューリングを行い，安価な夜間電力を使って充電コストを削減できることを実証した。

第 4 章では，車内でカーナビゲーションからインターネットにより注文情報等を登録し，実際のサービス窓口でサービスの提供を受ける，IP 通信と非 IP 通信の連携技術について研究した。カーナビゲーションから車載器を介して注文情報等をセンタサーバに登録し，その後，サービス窓口を設置した DSRC 路側装置により即時に相互認証し，注文情報を呼び出す，IP 通信と非 IP 通信を共存させる通信プラットフォームを実装した。

次に，ドライブスルー実験システムとして，双方向情報伝送により複数の車から同時に注文情報を登録できる IP アプリケーションと，DSRC 通信により注文確定・支払処理を行う非 IP アプリケーションを開発した。ドライブスルー実店舗に DSRC 路側装置を設置し，実環境で実証実験を

行い、4台の車から同時にIP接続した場合に5秒以内にトップ画面が表示され、車両が注文窓口に来てから相互認証し、注文確定と支払が完了するまでの処理時間が25秒以下となり、現行より50%削減できることを確認した。提案システムにより、ドライブスルー利用時のサービス時間と利用者の待ち時間が短縮できることが示され、店舗利用効率を向上できることを実証した。

第5章では、路車間通信とICカードアクセスの連携技術について研究し、DSRCと非接触式ICカードを連携する通信シーケンスを提案した。車載器はDSRC通信エリア内でのみカードアクセス処理を行うことができ、通信エリア外ではカードアクセスを行うことができない。これにより、非接触式ICカードにアクセスするためのカードキーは、車載器内ではなく、路側装置内に保持され、非接触式ICカード内のメモリアクセスは、路側制御装置がDSRCを介してICカードに直接アクセスすることによりセキュリティ性を向上できる。

次に、DSRCと非接触式ICカードをベースとした道路課金システムを開発した。複数のセキュリティ性の高い非接触式ICカードに対応するため、路側装置にSAMを実装した。実証試験により、実験システムが全ての対象ICカードに対応して、車速80km/hにて通信エリア内で料金収受をセキュアに完了することを確認した。トライアルの結果、実験システムは公共交通カードとの相互運用を実証し、道路課金システムとしてエラー率 10^{-5} 以下で長期安定運用することを実証した。

以上のように本研究では、ITS無線情報システムに求められる無線通信方式の要件を明確化し、実現に向けた技術課題を整理し、課題解決のための方策の検討を行った。さらに、実験システムを開発し、実用化に向けて実環境で実証試験を行い、ITS無線情報システムの高度化を図った。今後、高齢化がますます進む中、高齢者の社会・経済活動のための安全でしかも環境に配慮した移動を支援する車環境の実現が期待される。

6.2 本研究の将来展開

本研究では、通信エリアと即時性要求からITSサービスと研究課題を分類し、それぞれの通信エリアを想定したシステムを実現するにあって

解決すべき技術課題について技術検討を行った。

今後は、安全・安心で、環境に優しく効率的な、しかも利便性が高く快適な車社会を実現するために、電波による通信の信頼性を高める必要があるとともに、見通しの悪い交差点などでの安全運転支援のため、協調システムの車車間通信技術について研究し、国内で使える 700MHz 帯と 5.8GHz 帯の 2 つの帯域をどのように有効利用するのかという点と、国内と欧米の規格の違いをどのように整合させていくのかという点を十分に検討する必要がある。また、路車間・車車間通信を効率よく切り替えるあるいは共存させる路車間・車車間通信の共用方策についても研究する所存である。さらにその後は、安全で環境に配慮した自動運転の実現を目指してゆきたい。

参考文献

- [1] VICS
<http://www.vics.or.jp/index.html>
- [2] ETC
<http://www.go-etc.jp>
- [3] ITS スポット
http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spot_dsrc/index.html
- [4] テレマティクスサービス
<http://toyota.jp/g-book/index.html>
- [5] Y. Hattori: Commercial vehicle control management system based on vehicle operation data, Proc. 8th ITS World Congress, Sydney (Oct. 2001).
- [6] ASV (先進安全自動車)
<http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/index.html>
- [7] スマートグリッド・スマートコミュニティ
http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/smart_community/
- [8] Y. Hattori, T. Shimoda, and M. Ito: Development and evaluation of ITS information communication system for Electric Vehicle, Proc. IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC2012-Spring), Yokohama (May 2012).
- [9] 社団法人 電波産業会 : ARIB STD-T75 狭域通信 (DSRC) システム標準規格 (2008).
- [10] 社団法人 電波産業会 : ARIB STD-T109 700MHz 帯高度道路交通システム 標準規格 (2012).
- [11] 総務省 総合通信基盤局電波部移動通信課 : 「ITS 無線システムの高度化に関する研究会」報告書 (案) (2009).
- [12] 情報通信審議会, 情報通信技術分科会 : 「移動通信システム委員会」報告 (案) (2011).
- [13] 三瓶政一 : 人と環境が調和する社会を支える将来のモバイル・通信技術, 電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン, No.19 [冬号],

- pp.186-190 (2011).
- [14]インターネット ITS 協議会
<http://www.internetits.org/ja/top.html>
- [15]永田 剛志, 大野 秀和, 服部 有里子: 低炭素社会の実現に向けた ITS (高度道路交通システム) の役割と可能性, 三菱重工技報, Vol.47, No.4, pp.2-6 (2010).
- [16]野原光夫, 遠藤洋介, 堀松哲夫, 難波秀彰, 間瀬公太, 小花貞夫: 多様な無線メディアを用いたユビキタス ITS の実現に向けて, 情報処理, Vol.50, No.1, pp.64-69 (2009).
- [17]Y. Hattori and M. Yasui: Vehicle information collection system by compact DSRC, Proc. 11th ITS World Congress, Nagoya (Oct. 2004).
- [18]国土交通省 国土技術政策総合研究所: 路側無線装置 (DSRC: スポット通信) 仕様書 (2009).
- [19]財団法人 道路新産業開発機構: DSRC-A07400 電波ビーコン 5.8GHz 帯 路車間インタフェース仕様書 (2008).
- [20]財団法人 道路新産業開発機構: DSRC-A07320 電波ビーコン 5.8GHz 帯 データ形式仕様書 アップリンク編 (2008).
- [21]平岩賢志, 坂本敏幸, 森光正, 野明俊道, 西澤隆彦: DSRC (ARIB STD-T75 準拠) システムの実装及び評価, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J86-A, No.12, pp.1382-1393 (2003).
- [22]伊川雅彦, 後藤幸夫, 熊澤宏之, 津田喜秋, 岡賢一郎: DSRC の多目的利用を実現する路車間通信の環境に適した通信プロトコルの設計と実装, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J88-A, No.2, pp.218-227 (2005).
- [23]社団法人 電波産業会: ARIB STD-T88 狭域通信 (DSRC) アプリケーションサブレイヤ 標準規格 (2007).
- [24]通信・放送機構: 平成 14 年度 走行支援システム実現のためのスマートゲートウェイ技術の研究開発報告書 (2003).
- [25]福井良太郎, 柿田法之, 屋代智之, 重野寛, 松下温: 道路照明を用いた連続無線ゾーン構成法による路車間通信システムの実用性の評価, 情

- 報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3931-3938 (2002).
- [26]セコム : ココセコム自動車用サービス
<http://www.855756.com/car/ichijouhou/>
- [27]三菱自動車 : EV (電気自動車) に関連する総合ポータルサイト
<http://www.ev-life.com/>
- [28]佐藤雅明,石田剛朗,堀口良太,清水克正,春田仁,和田光示,植原啓介,村井純 : 実車両を用いたセンタレスプローブ情報システムによる道路交通情報生成アルゴリズムの提案と評価,情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.253-264 (2008).
- [29]Y. Hattori and M. Ito: Car security system using DSRC in-vehicle system, Proc. 16th ITS World Congress, Stockholm (Sep. 2009).
- [30]伊川雅彦,五十嵐雄治,後藤幸夫,熊澤宏之,津田喜秋,森田茂樹 : 車両への情報配信サービスに適したプッシュ型プロトコルの設計と実装,情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.42-50 (2009).
- [31]International Organization for Standardization: ISO 11898-1
Road vehicles - Controller area network (CAN) – Part 1: Data link layer and physical signaling (2003).
- [32]ルネサスエレクトロニクス株式会社 : RJJ05B0937-0100 Rev.1.00
CAN 入門書 (2006).
- [33]ITS 情報通信システム推進会議 : ITS FORUM RC-004 1.1 版 狭域通信 (DSRC) 基本アプリケーションインタフェース仕様ガイドライン (2007).
- [34]社団法人 電子情報技術産業協会, ITS 事業委員会 : JEITA TT-6002A
ITS 車載器 DSRC 部標準仕様 (2008).
- [35]International Organization for Standardization: ISO 11898-2
Road vehicles - Controller area network (CAN) – Part 2:
High-speed medium access unit (2003).
- [36]International Organization for Standardization: ISO 11898-3
Road vehicles - Controller area network (CAN) – Part 3: Low-speed,
fault-tolerant, medium-dependent (2006).
- [37]M. Ito, Y. Hattori, H. Takeuchi, and H. Matsumoto: Study for the

- security method of car-sharing system using DSRC, Proc. 16th ITS World Congress, Stockholm (Sep. 2009).
- [38]Y. Hattori, Y. Sakai, and T. Saito: Development and evaluation of order and payment system via Internet in-vehicle use, Proc. 19th ITS World Congress, Vienna (Oct. 2012).
- [39]杉山寛和,栗田太郎 : 携帯電話と FeliCa を融合したモバイル FeliCa 技術, 情報処理, Vol.48, No.6, pp.561-566 (2007).
- [40]財団法人 道路新産業開発機構 : 5.8GHz 帯 DSRC 情報接続サービス 路車間インタフェース仕様書 (2010).
- [41]一般社団法人 ITS サービス推進機構 : 狭域通信 (DSRC) セキュリティプラットフォーム (SPF) インタフェース仕様書 (2008).
- [42]NXP Semiconductors: MF1ICS50 Functional specification Rev.5.4, Eindhoven (2008).

謝 辞

本論文をまとめるにあたり，終始変わらぬ暖かい励ましと貴重なご指導を賜りました，京都大学大学院情報学研究科 吉田進教授に心から深甚なる感謝の意を表し上げます．また，ご親切なるご指導，ご鞭撻を賜りました高橋達郎教授，守倉正博教授に謹んで感謝の意を表します．

本研究は，著者が三菱重工業株式会社 交通・先端機器事業部 ITS 部にて行った ITS 無線情報通信利用に関する一連の研究をベースとして，京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻博士後期課程にて，吉田進教授のご指導のもとに研究成果をまとめたものであります．この間，本研究の機会を与えて下さり，またその遂行を温かく見守りいただいた歴代事業部長の山口武生氏，長島是氏，渡辺芳治氏に深く感謝いたします．また，上司としてご指導，ご激励をいただいた ITS 部歴代部長の西村守康氏，重永久夫氏，田中康夫氏，戸田裕之氏，首藤浩行氏，内田研氏に心より感謝いたします．

さらに，本研究を進めるにあたり，有益な助言，討論をいただき，あるいは実験の面でご協力をいただいた，三菱自動車工業株式会社 開発本部の早船一弥副本部長，原徹電子技術部長，伊藤政義マネージャー，三菱重工業株式会社 交通事業部 制御技術部 ITS設計課の竹内久治課長ならびに関係各位に深く感謝いたします．

最後に，論文作成と研究室での生活において，有益な助言，討論をいただいた吉田研究室の村田英一准教授，山本高至准教授ならびに学生の皆様に感謝いたします．

関連発表文献一覧

I 学術論文

- [1] 服部 有里子：路車間通信における同報・個別通信混在時の安定したサービス提供のための制御方式，情報処理学会論文誌，Vol.53, No.1, pp.175-183 (2012).
- [2] 服部 有里子，下田 智一，伊藤 政義：電気自動車（EV）向けITS情報通信システムの開発と評価，情報処理学会論文誌，Vol.53, No.7, pp.1721-1731 (2012).
- [3] Y. Hattori, T. Nagata, and K. Terasaka: Development and evaluation of urban road pricing system based on active DSRC and contactless IC cards, IEICE Communications Express, Vol.1, No.6, pp.190-195 (2012).
- [4] Y. Hattori, Y. Sakai, and T. Saito: Development and field tests of order and payment system via DSRC in-vehicle use, IEICE Communications Express, Vol.1, No.7, pp.240-245 (2012).

II 国際会議(査読付き)

- [1] 服部 有里子，下田 智一，伊藤 政義：電気自動車（EV）向けITS情報通信システムの開発と評価，FIT2011第10回情報科学技術フォーラム論文集（査読付き），第4分冊，RM-007，pp.67-72 (2011) (船井ベストペーパー賞受賞).
- [2] Y. Hattori, T. Shimoda, and M. Ito: Development and evaluation of ITS information communication system for Electric Vehicle, Proc. IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC2012-Spring), Yokohama (May 2012).
- [3] Y. Hattori: Commercial vehicle control management system based on vehicle operation data, Proc. 8th ITS World Congress, Sydney (Oct. 2001).
- [4] Y. Hattori and Y. Miyazaki: Area information providing system by

- FM teletext broadcasting, Proc. 9th ITS World Congress, Chicago (Oct. 2002).
- [5] Y. Hattori and M. Yasui: Vehicle information collection system by compact DSRC, Proc. 11th ITS World Congress, Nagoya (Oct. 2004).
- [6] Y. Hattori: Estimate of economic effect and effect of CO₂ emissions reduction according to ETC spread expansion, Proc. 15th ITS World Congress, New York (Nov. 2008).
- [7] M. Ito, Y. Hattori, H. Takeuchi, and H. Matsumoto: Study for the security method of car-sharing system using DSRC, Proc. 16th ITS World Congress, Stockholm (Sep. 2009).
- [8] Y. Hattori and M. Ito: Car security system using DSRC in-vehicle system, Proc. 16th ITS World Congress, Stockholm (Sep. 2009).
- [9] Y. Hattori, T. Shimoda, and M. Ito: Development of ITS information system for EV (Electric Vehicle), Proc. The 11th Asia-Pacific ITS Forum & Exhibition, Kaohsiung (Jun. 2011).
- [10] Y. Hattori, T. Shimoda, and M. Ito: Development of ITS information system for EV (Electric Vehicle), Proc. 18th ITS World Congress, Orlando (Oct. 2011).
- [11] Y. Hattori, Y. Sakai, and T. Saito: Development and evaluation of order and payment system via Internet in-vehicle use, Proc. 19th ITS World Congress, Vienna (Oct. 2012).

Ⅲ 学会口頭発表

- [1] 服部 有里子, 坂井 康彦: 同報・個別通信混在時の安定したサービス提供のための制御方式, 2010電子情報通信学会ソサイエティ大会, 基礎・境界講演論文集, A-17-7, pp.153 (2010-9).
- [2] 服部 有里子, 下田 智一, 伊藤 政義: 電気自動車 (EV) 向けITS情報通信システムの開発と評価, FIT2011第10回情報科学技術フォーラム, 第4分冊, RM-007 (2011-9).
- [3] 服部 有里子, 坂井 康彦: 車からのインターネットによる注文・支払

システムの開発と評価，2012電子情報通信学会総合大会，基礎・境界講演論文集，A-17-9，pp.277 (2012-3).

- [4] 牧野 浩志，田中 伸治，平沢 隆之，服部 有里子，齋藤 卓，青木 新二郎：車両IDを活用した複数駐車場の連携管理システムの開発，第9回ITSシンポジウム2010論文集，1-C-10 (2010-12).

IV その他

- [1] 永田 剛志，大野 秀和，服部 有里子：低炭素社会の実現に向けたITS（高度道路交通システム）の役割と可能性，三菱重工技報，Vol.47，No.4，pp.2-6 (2010).
- [2] 牧野 浩志，田中 伸治，平沢 隆之，服部 有里子，齋藤 卓，青木 新二郎：車両IDを活用した複数駐車場の連携管理システムの開発，生産研究，東京大学生産技術研究所先進モビリティ研究センター，Vol.63，No.2，通巻679号，pp.275-280 (2011-2).
- [3] 伊藤 亜生，服部 有里子：CVM（仮想市場評価法）を用いたETCの評価，第27回日本道路会議発表論文，50043 (2007-11).