

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

野原 光夫 (KDDI 研究所)

遠藤 洋介 (NHK)

堀松 哲夫 (富士通)

難波 秀彰 (デンソー)

間瀬 公太 (トヨタ IT 開発センター)

小花 貞夫 (ATR)

近年発展が著しいユビキタス・ネットワーク社会において、自動車がネットワークにつながることによって、人と自動車と道路に関連する情報が融合する新たな潮流が生じている。このような流れの技術は、ユビキタスITS (Intelligent Transport Systems) と呼ばれている。ユビキタスITSでは、交差点での出会い頭の衝突回避から交通情報の配信まで多様なニーズがあり、それぞれに異なる運用要求を持っている。これらの要求に対して、同様に多様化が進んでいる無線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ていくことが期待されている。本稿では、具体的な研究開発事例を通じて、ユビキタスITSについての現在の状況、および、今後の展望について紹介する。

自動車社会とユビキタス

近年、社会のユビキタス・ネットワーク化が進んでおり、その一環として自動車交通網への適用が考えられている。自動車がネットワークにつながることで人と自動車と道路に関する情報がリアルタイムで融合する新たな潮流となっており、このような技術は、ユビキタスITSと呼ばれている¹⁾。このユビキタスITSでは、交差点での出会い頭の衝突回避から交通情報の配信まで多様なニーズが想定される。一方で、近年、携帯通信や広帯域無線アクセス、さらには地上デジタル放送等、高速なデータ転送を可能とする無線メディアがさまざまに実現されている。多様なITSニーズに対して、同じく多様化が進む無線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できる。本稿では、このようなユビキタスITSの状況および具体的な研究開発事例を通じた取り組みについて紹介し、合わせて今後の展望を行う。なお、これらの取り組み事例は、(独)情報通信研究機構からの委託研究として2005年度から3カ年にわたり筆者らが実施したものに基いている。

ユビキタスITSのサービスと課題

図-1に通信エリアと即時性要求からのユビキタスITSサービスと研究課題の分類を示す。

図中、横軸はそれぞれの無線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。図中左下の近距離・低遅延領域では、車両・交差点情報等の配信を行い、交差点での出会い頭事故の防止等の安全への利用が想定される。ここでは早く確実な通信、すなわち高信頼、高速応答性が求められる。一方、右上の広域領域では、交通情報の配信等が想定される。ここでは放送も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・道路情報等、利用者の位置に関連しエリアを限定した交通情報の利用が想定され、的確で効率的な通信が求められる。以下、それぞれの通信領域を想定したシステムについて解説する。

車車間・路車間通信

～「安全の情報」を「早く」、「確実に」～

近距離域では安全への利用が想定され、これを実現す

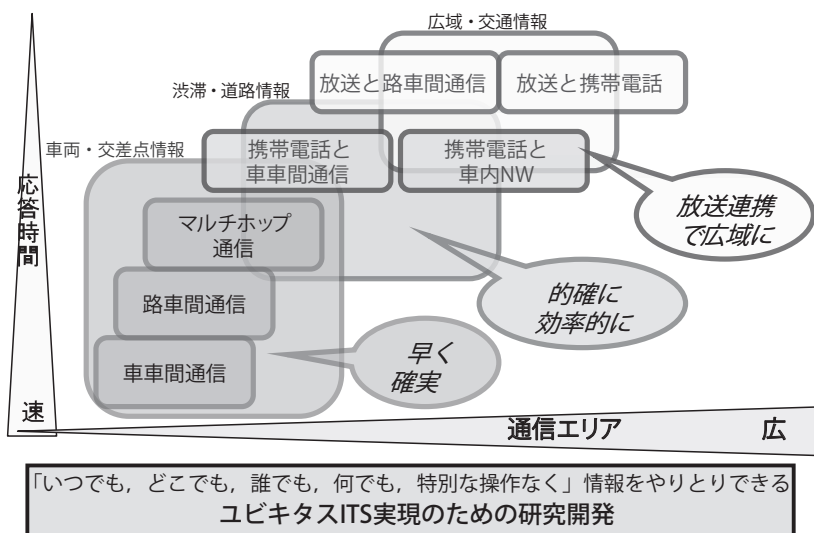


図-1 通信エリアと即時性要求からのユビキタスITSサービスと研究課題の分類

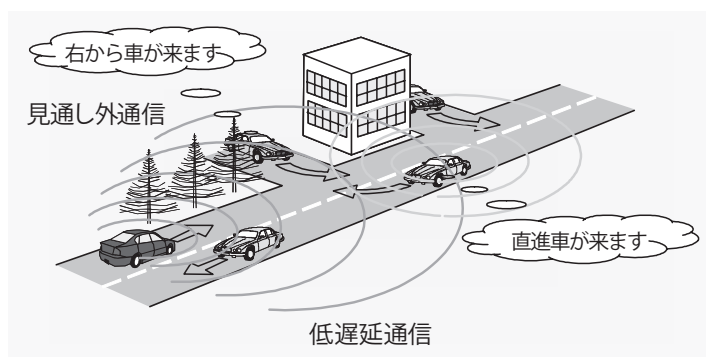


図-2 車車間通信の安全運転支援アプリケーション例

るために、多様な無線メディアを車車間あるいは路車間通信へ活用することが考えられる。図-2に交差点付近での車車間通信の安全運転支援利用アプリケーションの例を示す。

この領域で実現が期待されるサービスとして、死角・接近車両情報の提供、緊急車両の優先通行、および、停止・低速車両情報の提供等が想定される。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、短時間で確実な情報伝送、中継機能による通信エリアの拡大、VHF帯、UHF帯の電波の活用、緊急通信の優先確保、クロスレイヤ・アーキテクチャの確立、高信頼のマルチホップ通信といったものがあげられる。次に、これらの課題についての取り組みを紹介する。

[シングルキャリアを用いた車車間通信]

安全運転支援に必要とされる低遅延・高リアルタイム性を満たす車車間情報伝送のアクセス方式では、周期的に安定した間隔で情報を伝送できることが重要である。

このため、柔軟にネットワークを構成できるCSMA (Carrier Sense Multiple Access) 型制御に、周期的に安定かつ低遅延性が特徴であるTDMA (Time Division Multiple Access) 型の制御を取り入れた、タイミング同期式CSMA方式が実現手法として有望視されている。筆者らの実験においても、この方式を採用し、5.8GHz帯にてシングルキャリア方式の車車間通信装置を作成し、低遅延でのアクセス制御を実現している。またシミュレーション評価の結果でも、車両台数100台程度までのトラフィックで1ホップ転送に遅延が生じないことを確認している。この評価結果は、ITS Forum RC005 (5.8GHz帯を用いた車車間通信システムの実験用ガイドライン)にも採用されている。

[OFDMを用いた車車間通信]

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障するために、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

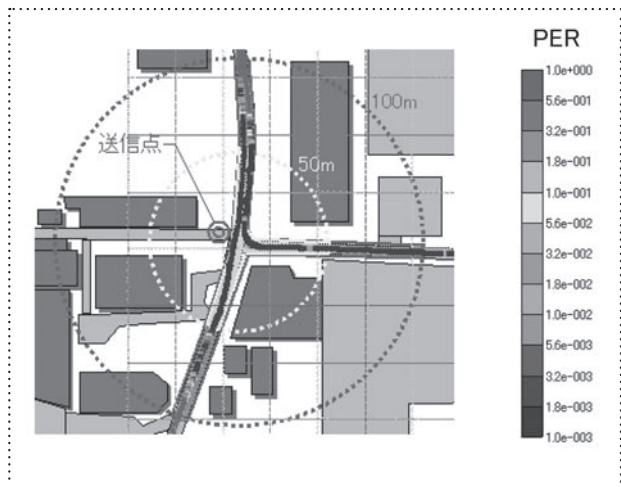


図-3 車車間通信実験受信パケット誤り率 (PER) 特性測定結果の一例

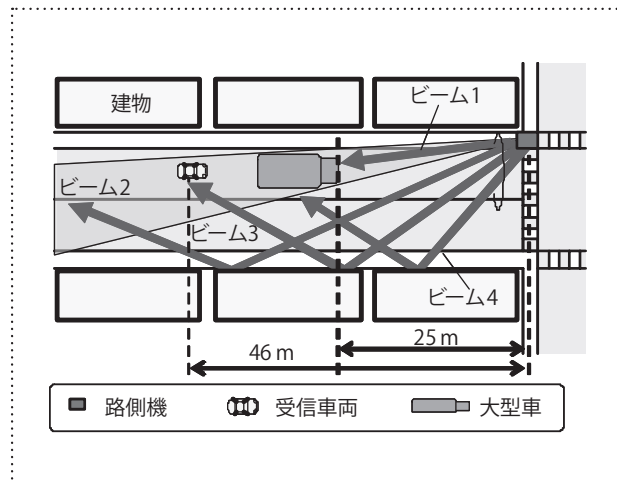


図-4 交差点周辺での路車間通信モデル例 (大型車両による遮蔽に対して、狭アンテナビームを適用した場合)

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に、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。図-3 に、筆者らが行った OFDM 方式を用いた車車間通信実験にて、交差点付近の車両から信号を送信し、他の車両で測定した受信パケット誤り率 (PER) 特性の一例を示す。ここで利用した車車間装置は、シングルキャリアと同じく 5.8GHz 帯を用い、物理レイヤに IEEE 802.11a および 802.11p を、また MAC 層に同じく 802.11 (CSMA) 改を適用している。この無線機を用いて、交差点付近に実験車両を配備し、信号を送信し、周辺での受信電力分布の伝送特性測定を行ったところ、見通し外エリアで急激に PER の劣化が見られた。車車間中継はこの劣化を保障するために用いられることになる。

[安全運転支援路車間通信技術]

車車間通信と同じく重要な技術に路車間通信技術がある。路車間通信は信号機に路側機が備え付けられる利用イメージで交差点周辺等において用いられ、センタからの緊急情報通信などの高信頼な通信の提供が期待されるが、一方で大型車両等による遮蔽の回避が課題となっている。これらの課題に対しては、複数の無線メディアを用いた高信頼化と、電波の狭ビーム・マルチパス利用による対応が検討されている。

筆者らの実験では、交差点周辺に路側機を設置し、路側機と車載機との間に (路車間) リンクを設定することで、安全運転支援を実現する検討を行った。具体的には、

5.8GHz 帯に UHF 帯を加えた 2 つの無線リンクを使用し、緊急情報送信の際にメッセージを両方のリンクへ同時送信する。そして、受信側にて受信できたほうを採用することにより高信頼化を図った。なお、複数リンクへの同時送受信は MAC 層上に拡張層を設け、上位層からのデータを下位の複数の通信モジュールに分岐して受け渡す構成としている。また、5.8GHz 帯の信号を、ビーム切替により指向性制御可能な狭ビームで送信する構成となっている。図-4 に、交差点周辺での路車間通信モデル例として、大型車両による遮蔽に対して、狭アンテナビームを適用した場合の構成を示す。

この方式では、道路反対側での反射を使うことにより、大型車両等による遮蔽を回避する効果がある。また、指向性ビームを用いることにより 5dB 程度の所要電力低減も得ることができる。

[マルチホップ通信クロスレイヤ制御技術]

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、高い信頼性と速い応答性を確保するための技術開発が行われている。

筆者らの事例においては、クロスレイヤ・アーキテクチャ、高信頼マルチホップ通信技術、高速ルーティング技術について検討している。クロスレイヤ・アーキテクチャは、通信の階層構成として規定される物理層、MAC 層、ネットワーク層、トランスポート層とアプリケーション層の複数の通信レイヤにまたがって、無線リンクの通信品質情報、車両の位置・移動情報などの情報の効率的な共有を可能とするものである。高速ルー

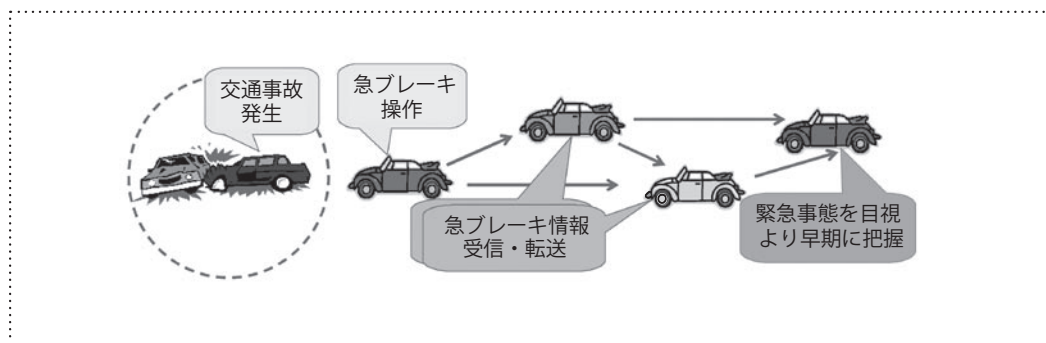


図-5 車車間マルチホップ通信での緊急情報転送例

ティング技術では、これらの情報を参照して位置移動予測を行い、切替先ルート候補を事前に確保することによりルーティングの高速化を実現した。また、高信頼マルチホップ通信では、車両の位置・移動情報を周囲の車両にフラッディング(=ブロードキャスト)を用いて高信頼に、しかも効率的に配布する中継方式を実現した。緊急情報については、MAC層で低遅延・優先中継を行うフラッディング処理を実施する。この処理により、たとえば、先行車両の急ブレーキを確認した車両から、後続車両に対して緊急情報を連絡する状況にて、瞬時の情報転送が可能となる。図-5に、車車間マルチホップ通信での緊急情報転送の例を示す。

間サービス連携の技術が必要である。

筆者らの検討では、QRコードを用いてユーザの乗車を検出し、車内ネットワーク・リソースを提供するシステムを構築した。また、融合された車内のネットワーク・リソースをユーザが柔軟に選択/切替可能とし、たとえばユーザが持ち込んだゲートウェイが車内ネットワーク上の共用端末に仮想アドレスを割り当てることで、車両側の端末を通信セッションに取り込むことを実現している。

テレマティクス高度化

～「欲しい情報」を「的確で」、「効率的に」～

テレマティクスとは、テレコミュニケーション(通信)とインフォマティクス(情報工学)から作られた用語で、移動体通信システムを利用してサービスを提供することの総称である。一般的には、自家用車や輸送車両などへの安全・安心機能の提供と情報配信による利便性の向上を目的としている。このようなサービスにおいて、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、人と自動車のシームレスなテレマティクス環境の提供や、交差点動画情報の提供等が挙げられる。

[テレマティクス交通情報配信技術]

渋滞情報などの交通情報は、現在、自動車における情報サービスの重要な要素となっている。このような自動車への交通情報配信では、渋滞個所の映像等の大容量データを、車車間通信を用いて効率的に配信する技術が求められる。このような技術では、混雑時の交差点では多数の車が集中することから無線リンクも競合・多様化し、不必要なパケットのフラッディングは通信トラフィックの輻輳を生じかねないという課題がある。フラッディングは、ネットワーク上に接続された送信可能なすべての端末に対して、データパケットを洪水のように流すこととなり、トラフィックの輻輳に悪影響を及ぼす。これに対しては、中継開始時に送受信元IDやホップ数等を規定する制御信号をパケットに付加した上で送信する手法が検討されている。受信した車両ではその内容から重複を検出し、不必要な中継を停止することができる。

[テレマティクス・ネットワーク高機能連携技術]

車両内でネットワークを利用する際には、ユーザが端末を車両内に持ち込んでシームレスに利用できることが望まれる。そのために、ユーザが持ち込む端末ネットワークと車内端末ネットワークを動的に融合・分離する動的ネットワーク融合技術の開発が行われている。これには、融合後のネットワーク上で端末同士を連携させるとともに、より快適なサービス環境を提供可能とする端末

図-6に、筆者らが行った、交差点での複数車両間の重複中継検出と回避の例を示す。図中、左図では、車両Cが、車両Aから送信されたパケットを直接および車両B経由の複数ルートから受信したことを検出し、一方のみを送信する。また、右図では車両BとCとの間に大型車両が入り直接のパケット通信が行われず、車両B経由のパケットが車両Dへ送られるが、車両Dにて車両Cからのパケットとの重複受信を検出し、以降の重複送信を回避する。このような方式によりパケット中継による通信範囲の拡大と、中継による通信トラフィック増加の抑制を行うことが可能となる。

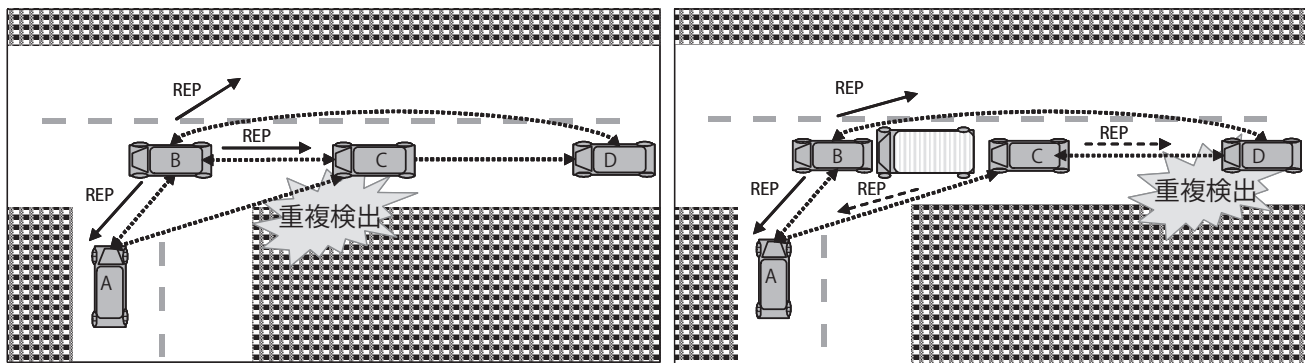


図-6 交差点での複数車両間での重複中継検出・回避例

地上デジタル放送との連携 ～「送るべき情報」を放送連携で「広域に」～

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べく、たとえば放送と連携した交通情報配信といった、汎用なサービスが期待される。そこでは ITS 通信による緊急の通知、あるいは汎用性の高い道路交通情報の符号化技術による確実な交通情報の配信が課題となる。

[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・安心にかかわる情報の提供や、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。この実現に地上デジタル放送と DSRC (Dedicated Short Range Communication) を連携させるシステムが検討されている。DSRC は、ETC (Electronic Toll Collection System) などに用いられている双方向無線通信技術のことで、狭域通信、もしくは専用狭域通信と呼ばれ、通信できる距離は数メートルから数百メートルと短い、利用可能範囲を狭くすることで、特定のスポット内での高速な通信 (約 4Mbps) を実現している。ここではまず、広域の地上デジタル放送と路側の DSRC を連携させ、放送局からの緊急警報を道路管理者が DSRC 経由で車両に報せるような緊急警報放送を通知する技術が考えられる。また、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・地域各情報がマージされた新しいサービスを実現しようとする ITS 情報補完放送も検討されている。これらのサービスにより、たとえば、広域の交通情報の上に走行中地域の交差点ごとの混雑状況を重畳して表示することにより、より密で便利な情報を提供することが可能となる。図-7 に、DSRC で配信された局所的な情報のマージ・表示例を示す。左図

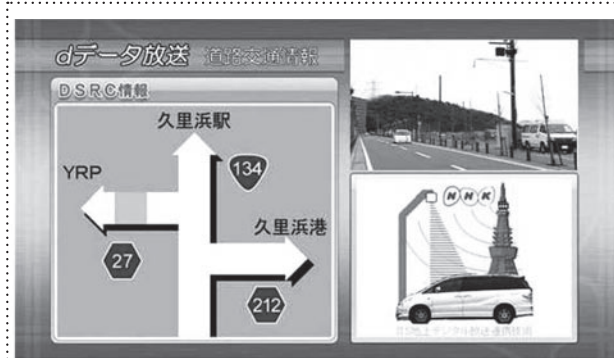


図-7 DSRC で配信された局所的な情報のマージ・表示例

では、DSRC から該当地域の詳細な交通情報が配信され、表示されている。

[道路交通情報の効率的配信技術]

渋滞情報などの交通情報の配信では、地図や混雑状況等、道路交通情報データの配信が必須となるが、この情報の配信も効率的に行うことが必要である。このため、道路交通情報データ仕様として LBR (Location-Based Resource) を利用するとともに、汎用性を高めるべく世界標準のグラフィック仕様である SVG (Scalable Vector Graphics) および RSS (RDF Site Summary) をベースとした方式が検討されている。ここで、SVG はリソースのプレゼンテーション用 2 次元ベクトルグラフィックスの世界標準である。また、RSS はリソースのメタデータ記述用であり、メタデータ仕様の世界標準となっている。さらに、今後の交通情報の大容量化に備え、効率的な圧縮手法の検討も必要である。筆者らの検討した方式では、圧縮率が gzip 方式の約 2 倍、復号速度が従来の 1/2、消費メモリが 1/4 という結果が得られている。



写真1 ユビキタス ITS 実証実験風景

今後の無線メディア利用への期待

本稿では、ユビキタス ITS でのサービス事例とそれぞれへの広帯域メディアの適用について、ユビキタス ITS 実証実験での具体的な研究開発事例を通じて紹介した。これらの検討では、通信領域の広さをパラメータとして、それぞれの領域サイズに対応したサービス要求とそれらに対する技術課題として取り組まれている。筆者らは、車車間・路車間通信、地上デジタル放送、携帯電話網などさまざまな無線メディアをユビキタス ITS へ活用するシーンを想定し、2008年2月25と26日の2日間にわたり横須賀リサーチパーク（YRP、神奈川県横須賀市）にて実証実験を実施した。この実験では、YRP 地域内の実際の道路を使用し、交差点等を利用して研究課題ごとの実験場所を設定し、実験を実施した。実験には国内外から200名超の参加者を得て、2台のバスで7回の走行実験を行った（写真1）²⁾。

近い将来において、携帯通信や広帯域無線アクセス、さらにはデジタル放送等のサービスが開始され、多様な無線メディアが一層充実されることから、これらの利用を通じてさらに効果的な交通情報の配信が実現されるものと考えられる。また、ユビキタス端末としての車載機器から、その位置や移動等の情報が通信網を介して収集され、これらが有機的に結合されて有意義な情報サービ

スに展開されることも期待される。一方、日本政府では、2012年に交通事故死者数5千人以下の達成を目標に掲げている。そのための方策として、安全運転支援システムの技術開発を精力的に進めており、本年には大規模実証実験が行われる予定である。さらに、この実験の成果を活用し、通信メディアの利用を可能とするための制度整備を行って、2010年にシステムの実用化を行うこととしている。このように、我々の交通社会において、ユビキタス ITS の重要性はますます増加している。このような状況において、本解説が、読者の理解の一助となれば望外の喜びである。

参考文献

- 1) ITS 推進の指針, 日本 ITS 推進会議(2004年10月).
- 2) ユビキタス ITS の研究開発と実証実験, 第3回ユビキタス ITS シンポジウム(2008年2月).

(平成20年11月29日受付)

野原 光夫

mi-nohara@kddilabs.jp

KDDI 研究所開発センターにて ITS および無線システムの開発に従事。北大院修士了, 博士(工学)。IEEE 802.16WG Relay TG Chair, 電子情報通信学会, IEEE 各会員。

遠藤 洋介

endo.y-fq@nhk.or.jp

NHK 放送技術研究所にて研究企画業務に従事。東工大院修士了, 電子情報通信学会, 映像情報メディア学会各会員。

堀松 哲夫

thori@jp.fujitsu.com

富士通 次世代 IT・ITS プロジェクト室にて無線通信技術開発・標準化に従事。東工大院修士了, 電子情報通信学会会員。

難波 秀彰

hideaki_nanba@denso.co.jp

デンソー基礎研究所 YRP 研究室にて無線通信技術の研究開発に従事。阪大院修士了, 電子情報通信学会会員。

間瀬 公太

mase@jp.toyota-itc.com

トヨタ IT 開発センターにて ITS および無線システムの開発に従事。立命館大理工学部卒業。

小花 貞夫(正会員)

obana@atr.jp

国際電気通信基礎技術研究所(ATR)執行役員, 適応コミュニケーション研究所所長, ITS, アドホックネットワーク, センサネットワークの研究・開発に従事。慶大院修士了, 工学博士, 電子情報通信学会会員, 本会フェロー。