

# 交通安全・情報系サービス提供を実現する「路車・車車間通信システム」

Dr. Andreas Festag · Roberto Baldessari · Dr. Long Le  
Dr. Wenhui Zhang · Amardeo Sarma · Masatoshi Fukukawa

## 要旨

CAR-2-Xコミュニケーションは、Geocastと呼ばれる、IEEE802.11規格の狭域無線技術をベースとした、車両通信向けのネットワーク・プロトコルにより実現されます。その先進的なソリューションとパフォーマンスは、車両通信実現のために、ヨーロッパの主要企業によって設立された、Car-to-Carコミュニケーション・コンソーシアム(C2C-CC)でも高い評価を得ています。CAR-2-Xコミュニケーションの基本コンセプト、Geocastの技術機能紹介、CAR-2-Xプラットフォームのハードウェア仕様を紹介し、ヨーロッパにおける、NECの活動方針を説明します。

## キーワード

- 狭域無線技術
- 路車間・車車間通信
- アドホック・ネットワーク
- Geocast
- マルチホップ通信
- IEEE802.11
- CAR-2-Xコミュニケーション
- CAR-2-Xプラットフォーム
- C2C-CC

## 1. まえがき

狭域無線技術を利用した車両通信は、車の安全性や快適性を向上させるアプリケーションに必要不可欠なものとなってきています。我々は、「路車間」および、「車車間」通信を実現する技術として、アドホック・ネットワークを基本方式とした、ネットワーク・プロトコル、“Geocast”機能を開発しました。Geocastは、マルチホップ無線通信において、位置情報を用いた宛先指定や、ルーティングを特長とします。

本稿では、実ネットワーク環境において、Geocastを活用するための先進的なコンセプトおよび、その詳細メカニズムを説明します。また、このGeocastを「路車間」および、「車車間」通信システムを実現する“コア・ネットワーク・コンセプト”として、次世代車両通信システム、“CAR-2-Xコミュニケーション”と、試作機を含めた“CAR-2-Xプラットフォーム”を紹介します。

## 2. はじめに

ドライバーや乗客が利用する新しい無線技術のなかでも、

IEEE802.11をベースとした狭域無線通信は、世界的にも高い評価を受けています。その低価格性、高可用性、そして高い汎用性からも、将来的には、IEEE802.11規格の車載通信機が車両に実装されると予想されます。また、この狭域無線技術に、アドホック・ネットワークの技術を組み合わせることにより、ネットワーク・ノードが、お互いを自律的に探索して接続し合い、車両通信ネットワークを広く構成することが可能となり、次世代車両通信システムのCAR-2-Xコミュニケーションを実現することができます。

CAR-2-Xコミュニケーションは、将来のITS(Intelligent Transport Systems)にとって、必要不可欠な技術と考えています(図1)。CAR-2-XコミュニケーションをITSに応用することによって、交通安全の向上と、交通事故による死亡者数の持続的な減少を実現可能とします<sup>1)</sup>。さらに、CAR-2-Xコミュニケーションは、情報系や交通の効率化を向上させる、様々なアプリケーションの実現を可能とし、これらのサービスで利用される場所では、専用の周波数が割り当てられます(図2<sup>2)</sup>に、ヨーロッパにおける周波数の割り当て案を示します)。CAR-2-Xコミュニケーションは、様々な可能性を持った車両通信システムであり、政府機関、企業、大学などが

## 安心・安全

### 交通安全・情報系サービス提供を実現する「路車・車車間通信システム」

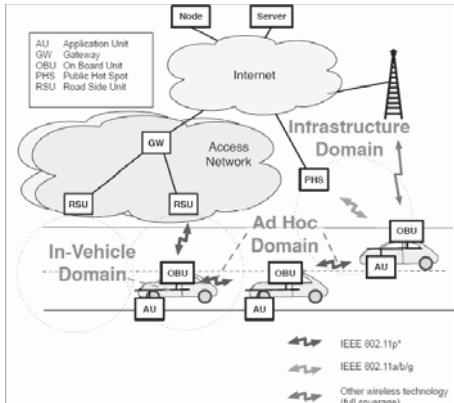


図1 CAR-2-Xコミュニケーションのシナリオ

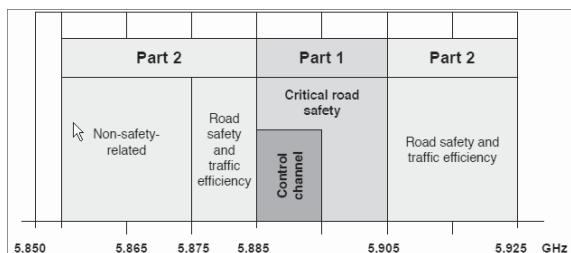


図2 ヨーロッパでの安全と交通の効率化に利用される周波数帯割り当て案

CAR-2-Xコミュニケーションの技術開発、標準化、適用に関して強い関心を寄せています。

車両通信環境におけるアプリケーションと、その特殊性により、ネットワークの観点で、具体的な要件がいくつかあります。たとえば、アドホック・ネットワークでは、ある車両と、他の車両、または周辺に固定された路側機アクセス・ポイントとが、お互いを自律的に探索して接続し合い、ネットワーク通信を構成します。無線技術の送信範囲（一般的に500m四方）を超えるような通信を行う場合、車載機や路側機といった、ネットワーク・ノードがお互いに連携して、他のノードのためにデータを中継します。このマルチホップ通信は、位置情報に基づいた特定領域内におけるデータ配信や、ユニキャスト通信として、位置情報に基づいた宛先ノードに対して、データを転送することが可能です。携帯電話のネットワーク環境とは異なり、路側機は様々な機能を実行します。たとえば、アドホック・ネットワークの通信範囲を広げるために、データを転送したり、道路が工事中であることを警告

するようなアプリケーションデータを送・受信したり、車両をインターネットに接続するといった機能を実行します。

車両通信特有の要件を満たすために、高モビリティ性、頻繁に変化するトポロジー、そして、ノードの数が飛躍的に増大する可能性があるスケーラビリティを視野に入れ、車両通信環境や、その利用ケースを想定した、位置情報を用いたルーティング・コンセプトを拡張し、適用しました。大規模ネットワークシミュレーションや、Geocastアプローチにおける第一段階での評価測定結果は、実環境においても、他のアドホック・ルーティング・プロトコルよりも良いパフォーマンスを実施可能なことを示します<sup>2)</sup>。その結果、Geocastは、IEEE802.11技術をベースとした車両通信のためのネットワーク・プロトコルとして、Car-to-Carコミュニケーション・コンソーシアム(C2C-CC)によって、高い評価を受けています。C2C-CCは、ヨーロッパにおいて、車両通信実現のために、ヨーロッパの主要企業が設立したコンソーシアムです<sup>3)</sup>。

次の2つの章で、CAR-2-Xコミュニケーションのコア・コンセプトとなるGeocastの最新のソリューションと、その試作機となる、CAR-2-Xプラットフォームを紹介します。

### 3. CAR-2-Xコミュニケーションを実現する技術の紹介

基本的に、Geocastとは、データを送信するために、地理的な位置情報を用いた、アドホック・ルーティング・プロトコルを示します。その基本方式は、インターネットワーキング<sup>5)</sup>や、モバイル・アドホック・ネットワーク<sup>6)</sup>のトポロジーの代替案として提案されました。Geocastでは、車両が、GPSまたは、ほかの測位システム経由で車両位置（すなわち測地座標）情報を取得するものとします。すべての車両が、近隣の車両に対し定期的にこの位置情報を広告することで、各車両は、通信範囲内にいる他のすべての車両の位置情報を得ることができます。ある車両が、ターゲットとする既知の位置情報を宛にデータを送信する場合、メッセージを中継するために他の車両（同じ進行方向を走る）を選択し、それを利用して、データをターゲットとする位置宛に向けて転送します。同様の手順でデータが宛先に到着するまで、マルチホップのパスに沿って、すべての中継車両によってデータが中継されます。パケットは、最新の位置情報をもとに“動的に”転送されるため、このマルチホップを利用した転送方法は、ルートの事前設置やその管理を必要としません（図3）。

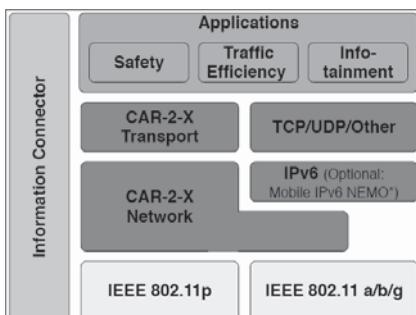


図3 CAR-2-Xプロトコル・スタック

Geocastの詳細として、まず、すべてのノードは、自身の位置情報を把握しており、また、他のノードの位置情報を反映したロケーション・テーブルを保持し、そのロケーション・テーブルはソフト・ステート型で状態管理されることを前提とします。つまり、ロケーション・テーブル上に保存された情報は、ある一定期間管理され、期間が満了すると、ロケーション・テーブル上から削除されます。

Geocastのコア・プロトコルは、ビーコニング、ロケーションサービス、そしてフォワーディングで構成されます。ビーコニングでは、各ノードは定期的にそのIDと、現在の位置情報と、速度と、進行方向の情報を格納された、ショートパケットをブロードキャストします。ビーコンを受信すると、ノードはロケーション・テーブル上にその情報を保持します。次に、ロケーションサービスとは、ノードのIDから、そのノードの現在位置を解決します。あるノードが、自身が保持するロケーション・テーブル上において、現在地情報を保持されていない別のノードのポジションを知る必要がある時に、探し求めているノードのID、シーケンス番号、そして、ホップ・リミット情報を格納したロケーション・クエリーメッセージを発行します。探し求めているノードに到達(またはホップ限界)するまで、近隣ノードはこのメッセージを再ブロードキャストします。要求が重複されていなければ、探し求められているノードは、その現在位置とタイム・スタンプを格納した、ロケーション・リプライメッセージを返答します。ロケーション・リプライメッセージを受信した基ノードは、自身が保持するロケーション・テーブルを更新します。最後に、フォワーディングに関しては、基本的に、ある任意の宛先に対して、パケットを中継することを意味します。

一方で、位置情報を利用したルーティングの最も革新的な情報伝達方法は、データパケットの宛先アドレスとして、地理上の領域を指定可能な点にあります。実際の現場において、車両は、メッセージが配信されるべき、明確に区切られた地理上の領域を選択し指定することができます。つまり、中間点に位置する車両は、データ・メッセージの中継器として働き、目標地域のなかに位置している車両だけが、受信したメッセージを処理し、ドライバーにその情報を表示します。このように、実際危険な状況、または、交通通知の対象となる車両は、そのイベントの通知を受信することができ、一方で、そのイベントに関係無い車両に関しては、対象としないといった情報伝達上の区別が可能となります。

Geocastの各フォワーディング基本方式を以下にまとめます。

- ・ GeoUnicast (図4(a)) は、複数の無線ホップを中継して2つのノード間でのパケット配信を実現します。あるノードがユニキャストパケットを送信する場合、はじめに、ロケーション・テーブルの検索または、ロケーションサービスによって、宛先ノードの位置を決定し、宛先ノードの方向に位置するノードにデータパケットを転送します。パケットは、宛先に到達するまでそのパスに沿って再転送されます。
- ・ GeoBroadcast (図4(b)) は、パケット内に指定された地理上の領域内に、各ノードが存在すれば、各ノードはパケットを再びブロードキャストするといった、フラッディング手法によってデータパケットを配信します。また、フラッ

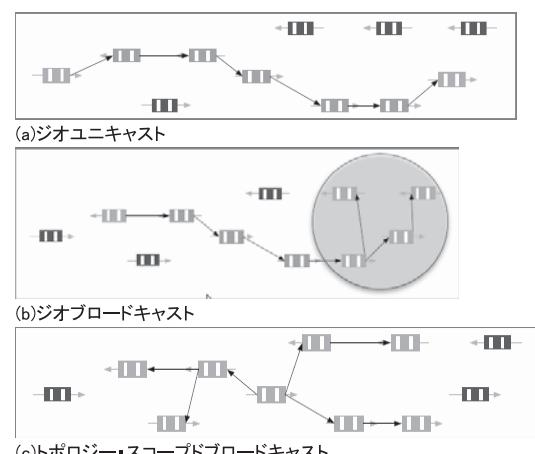


図4 Geocastの基本構成

ディングによる、ブロードキャスト・ストームの影響は、無線アドホック・ネットワークで典型的な問題とされますが、パケットナンバリングに基づいた技術を強化することにより、緩和されます。なお、GeoAnycastは、ジオブロードキャストに類似していますが、地理上の領域内の任意の1つのノードのアドレスで展開されます。

- Topologically-scoped broadcast (図4(c)) は、ソースからnホップ付近のすべてのノードに対し、データパケットの再ブロードキャスティングを実行します。シングルホップ・ブロードキャストは、周期的なメッセージ（ビーコンまたは、ハートビート）を送るために使われるTSB(Topologically-scoped broadcast)の一例です。

NECのCAR-2-Xコミュニケーションへのアプローチは、位置情報を利用したネットワーキングというコンセプトに基づいています。我々は、先進的なソリューションを開発するとともに、Geocastの基本仕様を強化し、この技術領域においての様々な課題に挑戦しています。また、本稿で、ロバストネス、信頼性、セキュリティとプライバシー、そして、インターネットとの統合についてフォーカスし、紹介します。

### 1) ロバストネスと信頼性

我々は、車両通信におけるパケット配信のロバストネスと信頼性向上させるためのメカニズムを強化しています。ロバストネスと信頼性のために主に強化されたメカニズムをここで説明します。具体的には、重複パケットの検出と、フィルタリング、データパケットの一時的なキャッシュ、そして、ビーコンとデータパケットの送信パワー・コントロールです。

各ノードが受信するデータパケットを再ブロードキャストし、潜在的にデータパケットの重複受信を招く可能性があるブロードキャスト・ストームを緩和するために、各ノードは、受信したデータパケットのシーケンス番号をキャッシュします。このキャッシュ・メカニズムにより、ノードが重複されたパケットを検出し、そのパケットを廃棄します。

車両密度が低い場合、データパケットの一時的なキャッシュは潜在的にパケット配信の信頼性向上させることができると想定されます。ユニキャスト通信では、宛先周辺に接近するノードが存在しない場合、ノードは一時的にパケットをキャッシュします。新規に、隣接する車両が到着

した場合、この車両が宛先に接近していれば、ノードはキャッシュされたパケットをこの新規の隣接ノード宛に転送します。同様なテクニックはGeocastにも適用され、あるノードが新規の隣接ノードを検出した上でデータパケットを再送します。信頼性に関しては、位置情報をベースとしたルーティングと、コンテンツベースのルーティングと、動的な冗長レベルのコントロールを結合することによってさらに高められます<sup>7)</sup>。

システムのロバストネスを強化するために、NECは、パケットごとベースにIEEE802.11無線通信をコントロールするメカニズムを開発しました。このメカニズムは、すべてのデータパケットごとに送信電力をコントロールすることが可能で、これにより分散送信電力のコントロールアルゴリズム<sup>8)</sup>とルーティングの基本方式との効率的な組合せを実現することが可能となります<sup>9)</sup>。これらの基本方式は、ノード間の物理的な無線通信干渉を減少させ、全体的にネットワークパフォーマンスを向上させます。

### 2) セキュリティとプライバシー

NECは、非対称暗号と電子証明をベースとした、データセキュリティのソリューションを開発しました<sup>10)</sup>。NECのソリューションは、認証と、車両間で交換された情報の否認防止と、悪意に満ちたユーザに対する保護を保証します。さらに、タイム・スタンプと通信範囲に基づいた妥当性のチェックは、受信したすべてのパケットで実施され、その妥当性のチェックに失敗したパケットは廃棄されます。また、各ノードはその隣接ノードの信頼性評価を判断するために、その妥当性のチェック結果を利用します。妥当性のチェックに失敗するようなパケットを大量に送信する発信ノードは不正ノードとして分類され、不正ノードからのパケットは単純に廃棄されます。プライバシーの保護に関しても、可変ネットワーク識別子（仮名）をベースとした方式を研究・開発しています<sup>11)</sup>。

### 3) インターネット統合

IPv6プロトコルと、位置情報を利用したルーティングの統合によるソリューションを開発しています。直接、または、マルチホップ通信経由でインターネットに接続するだけでなく、IP(Internet Protocol)に基づいた、既存アプリケーションを車両内で利用可能とし、NEMO(Network Mobility)サポートのようなモビリティに特化した、IPソリューションの利用も検討しています<sup>12)</sup>。本ソリューションに関し

て、NECは、自動車メーカから具体的な要件を集めるために積極的に活動しています<sup>13)</sup>。

#### 4. CAR-2-Xコミュニケーションプラットフォーム

車両通信の研究を目的とした実証試験用に、NECは、試作の通信機と、ソフトウェアパッケージのCAR-2-XコミュニケーションSDKを提供します。本試作機は、車載機としての柔軟性と、プログラマビリティに優れたプラットフォームであり、CAR-2-Xコミュニケーションの実証実験に要求される仕様を実現します。写真に試作機の外観を示します。

本試作機は、64ビットのMIPSマイクロプロセッサを実装し、512MB NANDフラッシュ、16MBフラッシュ、および128MB SDRAMのメモリを実装します。また、イーサーポート、USB、VICS(Vehicle Information and Communication System)、統合UART、CAN(Controller Area Network)、そして、MOST(Media Oriented Systems Transport)といった、各種インターフェースを内蔵します(表)。無線通信インターフェースに関しては、異なる無線通信カードを柔軟に装着することが可能です。

本試作機上にCAR-2-Xプロトコル・スタックを実装することによって、Geocastによるアドホック無線通信や、マルチホップ通信を実現可能とします。このプロトコル・スタックは、強化されたアルゴリズムと、プロトコル・メカニズムを



(a)前面



(b)背面

写真 NEC CAR-2-Xハードウェアプラットフォーム試作機

表 本試作機の各種インターフェース

Interface	Specification
Rj-45 Ether port	10/100Base-T, 1 port
USB	Version 2.0, 2ports
VICS	1 port
Integrated UART	GPS,CAN,DSRC,232C
MOST	1 port
ANT RP-SMA connector	2 ports
PCMCIA	2 slots
Mini-PCI: IEEE802.11p or a/b/g	1 slot
Power(DC12V)	1 port

実装します。これにより、効率的かつ信頼性の高いデータ通信を保証し、セキュリティとプライバシーを保護し、IPv4および、IPv6をベースとした安全と情報系のアプリケーションをサポートします。また、本プロトコル・スタックは、2つの主要なコンフィギュレーションを実現します。まず、コ・ロケーテッドと呼ばれるコンフィグレーションでは、通信プロトコルとアプリケーションの実行を可能とします。スタンドアロンと呼ばれるコンフィギュレーションでは、通信プロトコル・スタックのみを実行し、カーナビゲーション、テレマティック・ユニット、または携帯電話などと連携して動作することになります。

CAR-2-XコミュニケーションSDK (<http://c2x-sdk.neclab.eu/>) は、交通安全や、交通の効率化、そして、情報系アプリケーションを、開発者が容易に開発可能とするオープンAPIと、プロトコル・スタックを提供するツールキットです。CAR-2-XコミュニケーションSDKは、CAR-to-CARコミュニケーション・コンソーシアムのパートナーに提供され、ヨーロッパにおける様々な研究プロジェクトで利用されています。

#### 5. むすび

狭域無線技術とアドホック・ネットワークをベースとしたCAR-2-Xコミュニケーションは、将来のITSが実現する安全・快適な道路交通社会において重要な技術です。本稿では、NECの先進的なネットワーク技術開発の一部を紹介し、CAR-2-Xプラットフォームに関して説明しました。これらの成果を今後、欧州はじめ、国内の各プロジェクトの実証実験で活用する予定です。

## 参考文献

- 1) E. Commission, "White Paper: European Transport Policy for 2010:Time to Decice," 2001.
- 2) A. Festag, H. F. "u&szlig;ler, H. Hartenstein, A. Sarma, and R. Schmitz, "FleetNet: Bringing Car-to-Car Communication into the Real World," in Proceedings of 10th ITS World Congress and Exhibition, Nagoya, Japan, November 2004, 8 pages.
- 3) Car-to-Car Communication Consortium, "C2C-CC Manife - to," Version 1.0, July 2007, available at <http://www.car-to-car.org>
- 4) ETSI Technical Committee Electromagnetic compatibility and Ra - dio spectrum Matters (ERM), "Technical Characteristics for Pan- European Harmonized Communication Equipment Operating in the 5 GHz Frequency Range and Intended for Critical Road-Safety Ap - plications," ETSI, Tech. Rep. ETSI TR 102 492-1/2, 2005.
- 5) G. Finn, "Routing and Addressing Problems in Large Metropolitan- Scale Internetworks," University of Southern California, ISI Re - search Report ISI/EE-87-180, March 1987.
- 6) B. Karp and H. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," in Proceedings of the 6th Annual ACM/ IEEE International Conference on Mobile Computing and Network - ing (MobiCom' 00), Boston, Massachusetts, USA, August 2000, pp. 243-254.
- 7) M. Torrent-Moreno, "Inter-Vehicle Communication: Achieving Safe - ty in a Distributed Wireless Environment, Challenges, Systems and Protocols," Ph.D. dissertation, University Karlsruhe, Karlsruhe, July 2007.
- 8) M. Torrent-Moreno, P. Santi, and H. Hartenstein, "Distributed Fair Transmit Power Adjustment for Vehicular Ad Hoc Networks," in Proceedings of 3rd Annual IEEE Communications Society Confer - ence on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON2006), Reston, VA, USA, September 2006, p.10 pages.
- 9) A. Festag, R. Baldessari, and H. Wang, "On Power-Aware Greedy Forwarding in Highway Scenarios," in Proceedings of 4th Interna - tional Workshop on Intelligent Transportation (WIT), Hamburg, Ger - many, March 2007, pp. 31-36.
- 10) C. Harsch, A. Festag, and P. Papadimitratos, "Secure Position- Based Routing for VANETs," in VTC Fall, Baltimore, MD, USA, October 2007, 5 pages.
- 11) E. Fonseca, A. Festag, R. Baldessari, and R. Aguiar, "Support of Anonymity in VANETs-Putting Pseudonymity into Practice," in Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Hong Kong, March 2007.
- 12) R. Baldessari, A. Festag, and J. Abeille, "NEMO meets VANET: A Deployability Analysis of Network Mobility in Vehicular Communi - cation," in Proceedings of 7th International Conference on ITS Tel - ecommunications (ITST 2007), Sophia Antipolis, France, June 2007, pp. 375-380.
- 13) R. Baldessari, A. Festag, and M. Lenardi, "C2C-C Consortium Re - quirements for Usage of NEMO in VANETs," Internet Draft, draft-baldessaric2ccc-nemo-req-00, work in progress, February 2007.

## 執筆者プロフィール

Dr. Andreas Festag  
NEC Deutschland GmbH  
Senior Researcher

Roberto Baldessari  
NEC Europe  
NEC Laboratories Europe  
Network Research Division  
Networking  
Ubiquitous and secure Communication  
Research Scientist

Dr. Long Le  
NEC Europe  
NEC Laboratories Europe  
Network Research Division  
Networking  
Ubiquitous and Secure Communication  
Senior Researcher

Dr. Wenhui Zhang  
NEC Europe  
NEC Laboratories Europe  
Network Research Division  
Networking  
Ubiquitous and Secure Communication  
Research Scientist

Amardeo Sarma  
NEC Europe  
NEC Laboratories Europe  
Network Research Division  
Networking  
Ubiquitous and Secure Communication  
Senior Manager

Masatoshi Fukukawa  
Broadcast and Control Systems Operations  
Unit  
ITS Business Promotion Center  
Assistant Manager