

# 大型車隊列走行向け車車間通信の開発

浜口 雅春 星名 悟

未来の自動車交通社会を築くために期待されている技術に自動運転・隊列走行がある。このサービスを実現するために重要となる通信技術が、自動車の制御情報を車同士で直接交換するための車車間通信である。ここでは情報提供型の安全運転支援向け車車間通信よりも、さらに高い信頼性を要求される大型車隊列走行向け車車間通信の研究開発動向を紹介する。

## エネルギーITS推進事業

NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）では、2050年CO<sub>2</sub>半減に向けたITSの取り組みとして、エネルギーITS推進事業を立上げ、2008年度より5年間で「自動運転・隊列走行に向けた研究開発」を進めている<sup>1)</sup>。エネルギーITSは、不必要な加減速や、渋滞等によって発生している無駄な燃料消費をITSで軽減させるコンセプトであり、その中で大型車隊列走行は、高効率な幹線物流システムを実現するための技術として検討されている。高速道路の専用レーンを想定して、大型車が車間距離を詰めることによる空気抵抗の低減やエコドライブの自動化等により、省エネ走行を可能とするとともに、先頭車両のみ運転者を乗車させることで、運転者の作業負担低減の効果も期待できる。図1に専用レーンによる隊列走行のイメージを示す<sup>2)</sup>。

## 研究開発概要

大型車隊列走行を実現するための研究開発テーマとして「走行制御技術の開発」、「走行環境認識技術の開発」、「位置認識技術の開発」とともに、「車車間通信技術の開発」が掲げられている。さらに車車間通信技術の開発は、「車両制御のための通信技術」、「隊列走行の運行管理のための通信技術」、「セキュリティおよび認証技術」に分類されるが、OKIは、この中で最も重要な研究となる車両制御のための通信技術を担当した。OKIはこれまでに安全運転支援向け車車間通信技術開発の実績があり<sup>3) 4)</sup>、この技術をコアとして、より高い信頼性が要求される車両制御のための車車間通信技術開発にチャレンジした。



図1 専用レーンによる隊列走行のイメージ  
(エネルギーITS推進事業パンフレット<sup>2)</sup>より)

## 高信頼性車車間通信の開発

国内の車車間通信開発は、交差点の出会い頭事故防止等の安全運転支援サービスを実現するための手段として、700MHz帯の電波を使用したシステムの制度化が2011年度に完了している<sup>5) 6)</sup>。この安全運転支援サービスは情報提供型であるため、大型車隊列走行に必要な車車間通信とは通信への要求条件が異なる。表1にサービス毎の車車間通信要件をまとめる。隊列走行向け車車間通信は隊列内の車両間にて短い周期でブレーキ、ステアリング、アクセルなどの車両制御情報をやり取りする必要があるため、サービスエリア（通信エリア）、情報更新周期（許容通信遅延）が安全運転支援サービスとは大きく異なる。

表1 サービス毎の車車間通信要件

	安全運転支援	大型車隊列走行
サービスエリア	見通し外：79.7m+10m 見通し内：300m	前後に 数m～数十m
サービス対象台数	大都市交差点想定 にて3～4百台	3～4台隊列
通信品質	10m走行する間の 積算パケット到達率 95%以上	パケット到達率 99.92%以上
情報量	100byte程度	56byte程度
情報更新周期	100ms以上	20ms

また通信に要求される品質が安全運転支援向け車車間通信より高い目標値となる。パケット到達率99.92%は、情報更新周期が20msの場合、100ms連続してパケットエラーが発生しない確率が1E-10以下の時の値である。

この通信要件を満たすために検討した大型車隊列走行向け電波車車間通信仕様を表2に示す。主要諸元は、ITS FORUM RC-005 (以下RC-005と記す) を参考とした<sup>7)</sup>。さらに通信品質の達成のために受信ダイバーシチ、連送機能などを仕様として規定した。

表2 大型車隊列走行向け電波車車間通信仕様 (RC-005準拠)

項目	仕様
中心周波数	5.820MHz
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK
帯域幅	4.096MHz
送信電力	10dBm
アンテナ指向性	無指向性(全方位)
アンテナ利得	4dBi
ダイバーシチ	受信ダイバーシチあり(選択方式)
誤り訂正	Turbo符号(符号化率1/3)
MAC方式	CSMA/CA
連送回数	2回以上
情報更新周期	20ms
データサイズ	56byte
通信品質	パケット到達率99.92%(目標値)

この通信仕様を前提に、システムとしての高信頼性の確保に向けて、通信系の二重化を検討した。二重化は通信メディアの耐環境性(外来ノイズ、妨害波)を考慮して、電波通信と光通信による二重化を採用することとした。光車車間通信の通信仕様を表3に、高信頼性車車間通信のシステム構成図を図2に示す。

電波車車間通信は、大型車の荷装部ルーフにアンテナを取付けることで、車両間が見通し通信となるようにした。光車車間通信は、走行環境を考慮して、車両の前方、

表3 光車車間通信仕様

項目	仕様
光波長	850nm
変調方式	ON-OFF-keying
変調周波数	CH4: 3.56MHz、CH5: 4.32MHz
通信速度	100kbps
通信距離	1~15m
通信角度	7~30deg
通信品質	パケット到達率99.92%以上
通信方式	全二重通信
通信周期	20msec
連続無通信時間	100msec
データ長	56byte
エラー検出	CRC-CCITT

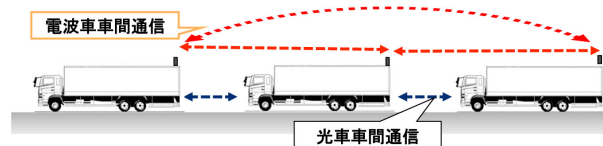


図2 高信頼車車間通信のシステム構成図

後方の2箇所に送受信機を装着した。そのため光車車間通信はデータ中継機能を搭載することで、先頭車両から最後尾車両までデータを配信する構成とした。

図3に本研究にて開発した車車間通信装置とその車両搭載図を示す。

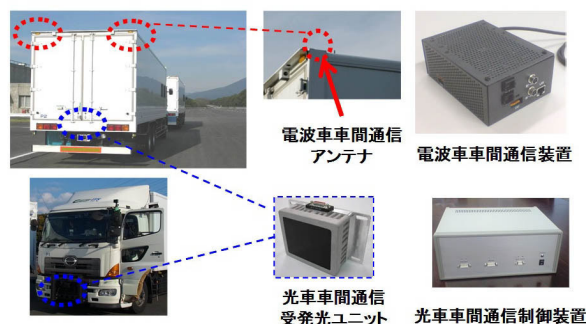


図3 車車間通信装置と車両搭載図

### システム検証(1): シミュレーション

大型車隊列走行の車車間通信要件から検討した通信仕様を用いて、コンピュータシミュレーションによるシステム検証を実施した。光車車間通信については、回線設計と各種環境データから、検討仕様による目標値の成立性を確認した。ここでは、電波車車間通信の検証結果を紹介する。

表4-1及び表4-2にシミュレーション条件を示す。高速道路環境を前提に、交通流を模擬し、周囲に安全運転支

表4-1 シミュレーション条件(通信方式)

項目	RC-005	RC-006	IEEE802.11p
チャンネル	5.8GHz帯	760MHz帯	5.9GHz帯
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK	OFDM(QPSK 1/2)	OFDM(QPSK 1/2)
送信電力	10dBm	20dBm	20dBm
アンテナ利得	4dBi	0dB	4dBi
ケーブル・コネクタロス	0.2dB	1.5dB	4dB
雑音指数	6dB	15dB	15dB
無線機二重化	あり(隊列車両のみ二重化)	なし	なし
マルチチャンネル	あり/なし	なし	あり/なし
連送回数	1~5回(隊列車両のみ連送)		
APDUサイズ/生成周期	隊列走行: 56byte/20msec、安全運転: 100byte/100msec		
伝搬損失	大地反射(2波モデル): ITU-R P.1411-5のLOS式		
フェージング	レイリ分布		
反射、シャドウイング、回折	なし		

表4-2 シミュレーション条件 (道路構造、トラフィック)

項目	値	
道路構造	道路長	直線10km
	進行方向	双方向通行
	縦断勾配	なし
	断面構造	第1種第1級
交通容量	最大交通量	1800pcu/h/lane
トラフィック	加速度・速度・位置	一定速度(全車両80km/h)
	車両発生	等間隔
	車種構成	大型車両20%、一般車両80%
	隊列発生率	100%(全大型車両が隊列走行)
	1隊列の車両数	3
	隊列内車両距離	4m
	隊列車両走行車線	指定車線(各方向につき1車線)

援向け車車間通信を搭載した一般車両と他の隊列走行車両が存在することによる電波干渉の発生も想定した。また隊列走行車両に搭載する電波と光による通信系の二重化は、電波のみによる二重化にて代替評価した。さらに今回採用したRC-005に加え、ITS FORUM RC-006 (以下RC-006と記す)<sup>8)</sup>、及び欧米で検討されている車車間通信方式であるIEEE802.11pを比較評価した。

図4-1及び図4-2にシミュレーション結果を示す。図4-1は連送回数を1回(連送なし)～5回まで設定した場合のPER (Packet Error Rate) の結果である。RC-005の場

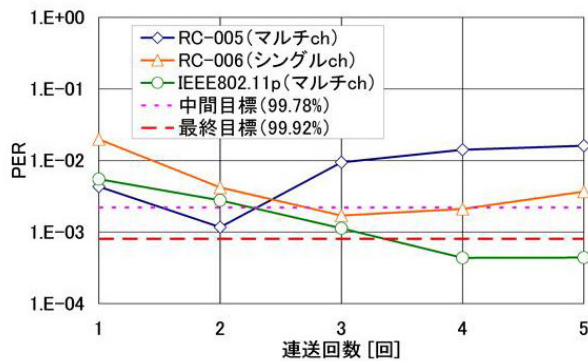


図4-1 PER—連送回数特性

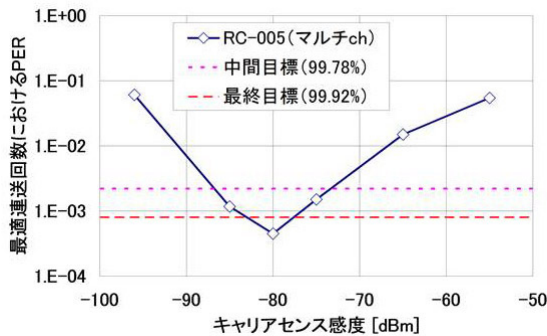


図4-2 PER—キャリアセンス感度特性

合は連送回数2回が最適値となることがわかったが、最終目標の packets 到達率99.92%は満足していない。RC-006も同様に99.92%を下回った。IEEE802.11pは連送回数4または5回で最終目標値を達成している。RC-006は周波数による電波特性により周囲からの電波干渉量が多いこととマルチチャンネルが確保できないことが通信品質劣化の要因となっている。また同じ5GHz帯であるRC-005とIEEE802.11pの性能差は伝送速度の違いが主要因と考えられる。

次にRC-005が最終目標値を満足するための条件を抽出するために、キャリアセンス感度をパラメータとしたPER特性を算出した。図4-2に結果を示す。キャリアセンス感度を-85dBmから-80dBmに調整することにより、packets 到達率が99.92%を達成することが確認できた。

### システム検証 (2) : フィールド実験

表2及び表3の通信仕様をもとに開発した電波車車間通信装置と光車車間通信装置を図3に示したように大型車両へ搭載して、テストコース等の模擬道路環境にて性能検証を実施した。

電波車車間通信の packets 到達率—走行距離特性の測定は、2台の大型車が約25mの車両距離を維持しながら、時速80kmにてテストコースを周回し、データを取得した。スタートから10km走行間に約23,000 packets を送信したが、エラーは観測されなかった。

表5に光車車間通信 packets 到達率の結果を示す。テストコースに2台の大型車を停止させて、車両距離を4m、10m、20mと変えて通信品質を測定した。同一条件で2回測定を行い、測定毎に10,000 packets を送信した。いずれも packets 到達率99.92%を達成できた。

表5 光車車間通信 packets 到達率

測定 No.	車両	CH		車両4m		車両10m		車両20m	
		TX	RX	到達率	エラー数/総数	到達率	エラー数/総数	到達率	エラー数/総数
1	P1	4	5	100%	0/9982	99.94%	6/9990	100%	0/9993
	P2	5	4	100%	0/10000	100%	0/9986	100%	0/9986
2	P3	4	5	100%	0/9971	100%	0/9973	99.98%	2/9992
	P4	5	4	100%	0/9988	100%	0/9974	100%	0/10011

### まとめと今後の展望

安定した隊列走行状態を実現するために、車両同士での車両制御情報交換に必要な、高信頼性かつ頻度の高い



低遅延の通信方式の確立を目的に、隊列走行向け車車間通信の仕様検討、装置開発、コンピュータシミュレーション及び実機によるフィールド検証の結果を紹介した。過去に取組んできた安全運転支援向け車車間通信との要求条件の違いから、従来の車車間通信技術をベースにしながらも、高信頼性を確保するための通信品質の向上技術、システム二重系の構築、電波と光による車車間通信装置の開発と各々の通信性能確保にチャレンジし、目標達成の目処付けができた。エネルギーITS推進事業は今年度(2012年度)が最終年度である。昨年度までに3台の大型車による車間距離10mの隊列形成、車線変更、障害物検知による急制動などの自動運転がテストコースで実証されている。今年度はさらに車間距離4m、時速80km定常の4台隊列走行の最終目標に向けたシステム総合検証、デモンストレーションが行われる予定である。ここまで開発してきた高信頼性車車間通信技術が大きな役割を果たすこととなる。

自動運転・隊列走行は、既に特定の条件下であれば技術的には実現できるレベルにきている。もちろん実用化に向けては各種規制や、安全性の担保、道路環境整備、専用機器の商品化など技術だけでは解決できない課題も少なくない。しかしながら、SF小説や映画の中の“未来社会”の象徴である自動運転が近い将来必ず実現され、ITS社会に欠くことのできないサービスになることは間違いない。このシステムを支える車車間通信技術のさらなるアドバンスと各種アプリケーションへの技術展開を引き続き進めていく。

## 謝 辞

本研究は独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託研究「エネルギーITS推進事業」のプロジェクトにより実施したものである。◆◆

## 参考文献

- 1) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 報道資料  
[http://www.nedo.go.jp/activities/FK\\_00023.html](http://www.nedo.go.jp/activities/FK_00023.html)
- 2) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, エネルギーITS推進事業パンフレット  
<http://www.nedo.go.jp/content/100079701.pdf>
- 3) 浜口雅春, 筒井英夫, 徳田清仁: “車々間通信実用化に向けた大規模実証実験への取り組み”, OKIテクニカルレビュー215号, Vol.76 No.1, p.70-73, 2009年4月
- 4) 「沖電気、車両への取り付け容易な超小型の車々間通信装置を開発」, OKIプレスリリース, 2010年11月29日

- 5) 平成23年総務省令第162号  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000139822.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000139822.pdf)
- 6) ARIB STD-T109 700MHz帯高度道路交通システム, 2012年2月, 1.0版策定
- 7) ITS情報通信システム推進会議, 「5.8GHzを用いた車々間通信システムの実験用ガイドライン (ITS FORUM RC-005)」  
[http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p32/ITSFORUMRC005V1\\_0.pdf](http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p32/ITSFORUMRC005V1_0.pdf)
- 8) ITS情報通信システム推進会議, 「700MHz帯を用いた運転支援通信システムの実験用ガイドライン (ITS FORUM RC-006)」  
[http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p34/ITSFORUMRC006V1\\_0.pdf](http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p34/ITSFORUMRC006V1_0.pdf)

## ● 筆者紹介

浜口雅春: Masaharu Hamaguchi. 交通・防災システム事業部  
無線技術研究開発部 部長

星名 悟: Satoru Hoshina. 交通・防災システム事業部 統合SE  
部