自動運転向け 無線通信システムの検討

浜口雅春 Masaharu Hamaguchi 沖電気工業株式会社

1 はじめに

自動運転は、交通事故削減、交通流円滑化など、従来の道路交通課題への更なる対策としての期待に加え、高齢者等の移動手段の確保、物流トラックや長距離バス等の商業ドライバ不足への対応など、広く社会的課題の解決に資するために官民挙げて取組みが進められている。自動運転システムは自律型と協調型が検討されており、自律型自動運転システムは自車の車載センサから得た情報を用いて自動運転制御を行う。一方、協調型自動運転システムは自律型自動運転システムに通信を用いて得た情報を加えることで高度な自動運転を実現するものである。ここで使われる車を中心とした通信は V2X (Vehicle to Everything) と呼ばれている。

図 1 に V2X ネットワークを示す。車両を中心に、狭域通信として V2I (Vehicle to Infrastructure, 路車間通信), V2V (Vehicle to Vehicle, 車車間通信), V2P (Vehicle to Pedestrian, 歩車間通信), 広域通信として V2N (Vehicle to Network, ネットワーク通信) から構成される。V2X は自動運転の高度化に不可欠なものとして期待されている。

ITS 情報通信システム推進会議では、2013 年度から

自動運転向け通信に関する技術調査に本格的に着手し、2015 年度からは一般社団法人日本自動車工業会（以下、自工会）と連携した活動を進めてきた。自工会が検討した「自動運転向け通信活用ユースケース」（以下、自工会ユースケース）に基づき、無線通信要件の抽出、通信仕様案の検討、机上検証／シミュレーションを進め、2019 年度にはこれまでの検討成果をまとめた「自動運転（自専道）通信活用ユースケース向け通信システムの実験用ガイドライン：ITS FORUM RC-015 1.0 版」を策定した。

ここでは ITS 情報通信システム推進会議におけるこれまでの活動経緯、自動運転のユースケースと通信要件検討、実験用ガイドラインの概要を紹介する。なおこれらの活動の一部は、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）自動運転及び総務省の関連プロジェクトと連携して実施したものである。

2 検討の概要

2.1 検討体制

ITS 情報通信システム推進会議（以下、推進会議）は、ITS (Intelligent Transport Systems, 高度交通システ

図 1 V2X ネットワーク

ム)の推進に向けて、民間企業・政府関係機関等約100団体が業種・業界の枠を超えて集結し、ITS情報通信システムの研究開発や標準化の推進及び普及啓発活動を行う団体である。1999年の設立以来、DSRC(狭域通信)、700MHz帯高度交通システム及び79GHz帯高分解能レーダの標準規格の原案策定など、具体的な成果を創出してきている。図2に推進会議の体制、図3に自動運転向け無線通信の検討体制を示す。2020年度にCAV検討タスクグループ(TG)が新設され、CAV(Connected Automated Vehicle)に関する国際標準化への貢献を目指して活動を開始している。

自工会からの検討依頼を高度化専門委員会にて受け、主検討はその配下の無線方式検討タスクグループ(以下、無線方式検討TG)にて対応している。2020年度末現在、無線方式検討TGは、自動車メーカ、通信機器メーカ、通信キャリア、ITS関連団体など、26社・団

体から約60名の構成員にて活動中である。無線方式検討TGの配下にユースケース検討グループ、ガイドライン検討グループ、通信方式検討グループを設置し、近年世界的に技術検討が加速しているセルラV2Xについては、セルラシステムタスクグループと連携を図っている。また通信の検討において重要となるユースケースの通信活用に関する情報収集については、次期システム企画タスクグループを窓口として自工会等との情報交換を進めてきた。

2.2 活動の目的

自工会ユースケースを分析し、ユースケースを満足する通信方式を検討する。最終的には自動運転向け通信仕様案を実験用ガイドラインとしてまとめることを目標としている。国内各所で実施されている自動運転向け通信の実機検証に活用され、そこから得られた結果を反映し

図2 ITS情報通信システム推進会議の体制

図3 自動運転向け無線通信の検討体制

図 4 検討フロー

表 1 検討対象ユースケース一覧

本ガイドラインの想定ユースケース				
ユースケース	No.	分類	内容	
先読み 情報	車両からの 緊急ハザード 情報の発信	1-2-1 車車	緊急回避事象が発生した際に、後続車両に緊急ハザード情報を配信	
		1-2-2 車路	走行車両が収集した緊急ハザード情報を路側インフラへ伝達	
		1-2-3 路車	走行車両から収集した緊急ハザード情報を上流インフラから走行車両へ再配信	
		1-2-4 路車 車車 協調	上流インフラから取得した対向車線の緊急ハザード情報を対向車に再配信	
合流支援	合流車支援	2-1-1 路車	インフラで計測した本線上走行車両の走行情報を合流車両へ伝達し、合流を円滑化	
		2-1-2 車車	本線走行車両の走行情報を車車間通信で本線合流車両へ伝達し、合流を円滑化	
	本線車支援	2-2 路車	インフラで計測した合流車の出現情報を本線走行車両へ伝達し、合流を円滑化	
車線変更支援	3	車車	車線変更の際に、周辺車両の走行情報を交換し、車線変更を円滑化	

ながら、更なる検討を進めていく予定である。

2.3 検討の流れ

図4に無線方式検討TGにて実施してきた自動運転向け無線通信の検討フローを示す。自工会ユースケースをインプットに、ユースケースごとの通信要件の抽出を進め、この結果を踏まえて、候補となる既存のITS通信方式をベースに、机上検証による課題抽出、対策技術の検討を進め、通信仕様案としてまとめる。

3 自動運転のユースケース

自工会が検討した自動運転向けITS通信活用の前提条件を説明する。自動運転向け通信は、自律型自動運転に対してあくまで支援を行うための情報を提供するもの

と位置付けている。自動運転車両は通信機を持たない一般車両との混合走行を考慮し、必ずしも通信情報を得ることができなくても、自律系で自動走行ができることが前提となる。自律処理系の中に通信情報を加えることで、周囲の状況判断を早くできるようになることから、自動走行の際の判断の迅速性や確実性を高めることを目的とする。活用シーンとして自動運転の実用化時期が早い都市間高速、都市高速、若しくはこれらに準じた環境を想定する。表1に検討対象とした自工会ユースケースの一覧、図5に自工会ユースケースイメージを示す。

これらユースケースの前提条件を整理し、動作シナリオを分析することで各々の通信要件の抽出を行った結果を表2に示す。

通信要件を踏まえ、通信形態、必要通信距離、通信条件、通信品質等から通信シーケンスをユースケースごと

図 5 自工会ユースケースイメージ（自工会資料を基に推進会議が作成）

表 2 想定ユースケースの通信要件

ITS FORUM RC-015付属資料 2から							
ユースケース	先読み情報			合流支援			車線変更支援
	車両からの緊急ハザード情報の発信			合流車支援		本線車支援	
No.	1-2-1	1-2-4		2-1-1	2-1-2	2-2	3
通信形態	車車	路車・車車協調		路車	車車	路車	車車
対象エリア (最少範囲)	上流: 750m+255m 下流: 0m	33.3m	(路車情報での指定範囲)	33.3m	TBD	33.3m	TBD
通信品質	PER<1E-2 (仮)						
必要通信距離	410m~2m (再検討が必要)	規定しない	100m~3.5m	規定しない	TBD	規定しない	252m (前後 126m)
通信条件	データサイズ (※1)	289byte	簡易図形なし: 425byte 簡易図形あり: 4425byte	1022byte	合流側289byte 受入側275byte	452byte	合流側: 271byte 受入側: 273byte
	通信頻度	1s (2s間隔)	1s	1s	— (40km/h 1s車間: 1.45s)	1s	TBD (車両単位: 100ms)
	送信台数	4台 (再検討が必要)	1台	1台以上 (対象エリア/通信距離)	1台	TBD	1台
通信遅延	上流 0~255m : 0.1s以下 上流255m~1km : 0.1~30s以下	規定しない					100ms
通信相手	非特定車両		非特定車両 (対向車線)	非特定車両 (同報配信)	非特定車両 (受入車線)	非特定車両 (同報配信)	非特定車両 (受入車線走行車両)
走行速度 km/h	40~120		80~240 (40~120対向)	40~120	受入: 40~120 合流: 40	40~120	受入: 40~120 合流: 40→本線速度

※1) オーバヘッド: 250byte含む

に設定し、送信タイミング、連送等、通信制御パラメータを踏まえた通信プロトコルを検討した。

図 6 に通信適用フェーズごとの通信シーケンス例を示す。例えば車線変更支援の場合、車線変更車両が周辺の関係車両へ車線変更の意思を伝え、関係車両の情報により車線変更先を決定し、それを関係車両へ伝えて走行速度制御を行いながら、その状況メッセージを交換しながら合流する流れを想定した。

また、通信制御フローとプロトコルスタックを図 7 に示す。通信上位層（アプリケーション）を設定した通信制御方式を検討し、ユースケース情報に応じて追加機

能（連送、送信タイミング制御）のパラメータを変更する構成とした。

4 ガイドラインの策定

4.1 背景

これまでの無線方式検討 TG における検討をまとめる形で、自動運転（自専道）通信活用ユースケース向け通信システムの実験用ガイドライン「ITS FORUM RC-015 1.0 版」を 2019 年 10 月 18 日に策定した。

https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p64/ITS_

図6 通信適用フェーズごとの通信シーケンス例

図7 通信制御フローとプロトコルスタック

表3 実験用ガイドラインの構成

章	タイトル
第1部	ITS FORUM RC-005 参照方式
第2部	LTE V2X (PC5) 参照方式
第3部	LTE V2X (Uu) 参照方式
第4部	ARIB STD-T75 参照方式
第5部	ARIB STD-T109 参照方式
付属資料	付属資料1：想定ユースケースのメッセージサイズ（暫定） 付属資料2：想定ユースケースの通信要件（暫定） 付属資料3：中継機能の適用シーン（例） 付属資料4：想定ユースケースの回線設計（暫定） 付属資料5：各通信方式のパケットサイズ

FORUM_RC-015_v10.pdf

自動運転向けに活用が想定される通信の国内の標準化に向け、自工会等で議論が進められているユースケースを対象とした実験に対応するため、その候補となる通信仕様をまとめたものである。ガイドラインは5部構成となっている。表3に自動運転（自専道）通信活用ユースケース向け通信システムの実験用ガイドラインの構成を示す。

4.2 適用範囲と位置付け

本ガイドラインは、自動運転（自専道）通信活用のユースケースを対象とした通信システムの実験用ガイドラインである。通信方式として、国内既存 ITS 通信方式である ARIB STD-T75（ETC 等の国内 DSRC に使用）、ARIB STD-T109（ITS Connect に使用）、及び海外の動向を踏まえ、IEEE802.11p、LTE V2X（PC5、Uu）を取り上げた。これら5方式に関して、通信仕様の調査、机上評価、実現のための条件、追加・変更が必要となる機能等についてまとめたものである。なお IEEE802.11p に関しては、この通信方式を参照した実験用ガイドラインである ITS FORUM RC-005 を検討対象とした。また LTE V2X のうち、PC5 は直接通信方式、Uu はネットワーク通信方式である。

4.3 技術的前提条件

本ガイドラインでは、陸上移動局（車載器）及び基地局（路側機）に必要な無線設備の技術的条件、各レイヤの仕様に関して記載しているが、これらの方式、仕

様、技術条件は、高度化専門委員会において検討した結果を用いている。またユースケースについては、自専道（都市間高速／都市高速、等）における先読み情報、合流・車線変更支援情報、緊急ハザード情報の配信を想定ユースケースとした。

なおユースケースは今後も継続して追加・見直しを実施していく予定である。

4.4 机上検討結果

ガイドラインに記載の五つの通信仕様（案）について、コンピュータシミュレーション等の机上検証の結果より、これら候補通信方式による自動運転のユースケースへの適用可能性を実施した。以下に机上検討結果より得られた課題等を示す。実験を行うにあたっては、これらを十分に考慮する必要がある。

(a) ITS FORUM RC-005

- ・想定ユースケースのうち、路車間通信及び車車間通信のユースケースを対象とする。
- ・回線設計の結果、一部のユースケースの特定条件において、通信要件（暫定）を満足しない可能性がある。対策として連送機能等が必要となる。また一部のユースケースにおいて、メッセージサイズが一定以上となる場合、パケット分割機能等が必要となる。
- ・これら対策を実現するための手段として、アプリケーションレベルにおける対応や ITS FORUM RC-014 の適用が考えられる。
- ・また、ユースケース 1-2-1 の通信において通信距離を満足しない可能性がある。対策として、アプリケーションレベルでの中継機能の追加、複数の路側機を使った中継機能の追加や通信範囲の広い LTE V2X (Uu) を用いることが考えられる。

(b) LTE V2X (PC5)

- ・想定ユースケースのうち、路車間通信及び車車間通信のユースケースを対象とする。
- ・回線設計の結果、ユースケース 1-2-1 の通信において通信距離を満足しない可能性がある。対策として、アプリケーションレベルでの中継機能の追加、複数の路側機を使った中継機能の追加や通信範囲の広い LTE V2X (Uu) を用いることが考えられる。

(c) LTE V2X (Uu)

- ・ネットワークを経由する本方式はほかの方式に比べ通信遅延が相対的に大きくなることに留意すること。また、通信網に加えてアプリケーションメッセージを処理・転送するアプリケーションサーバが必要であり、

アプリケーションサーバを含めた通信アーキテクチャを検討する必要がある。

(d) ARIB STD-T75

- ・想定ユースケースのうち、路車間通信のユースケースを対象とする。
- ・回線設計の結果、一部のユースケースの特定条件において、通信要件（暫定）を満足しない可能性がある。また一部のユースケースにおいて、メッセージサイズが一定以上となる場合は、パケット分割機能等が必要となる。
- ・これら対策を実現するための手段として、アプリケーションレベルにおける対応や ARIB STD-T88 の適用が考えられる。

(e) ARIB STD-T109

- ・想定ユースケースのうち、路車間通信及び車車間通信のユースケースを対象とする。
- ・回線設計の結果、車車間通信の一部のユースケースの特定条件において、通信要件（暫定）を満足しない可能性がある。車車間通信のメッセージサイズが一定以上となる場合は、アプリケーションレベルでのパケット分割が必要となる可能性がある。
- ・また、ユースケース 1-2-1 の通信において通信距離を満足しない可能性がある。対策として、アプリケーションレベルでの中継機能の追加、複数の路側機を使った中継機能の追加や通信範囲の広い LTE V2X (Uu) を用いることが考えられる。

今後、本ガイドラインの通信仕様が実証実験により検証されていくことで、自動運転に通信を活用する検討が更に促進することを期待する。なお実験を実施する際には、既存システムへの干渉回避策を十分に考慮する必要がある。

5 新たなユースケースへの対応

2020 年 9 月に「SIP 自動運転（システムとサービスの拡張）システム実用化 WG 協調型自動運転通信方式検討 TF」が、「SIP 協調型自動運転ユースケース」の第 1 版を公開した。

<https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf>

推進会議では、SIP 自動運転 システム実用化 WG 協調型自動運転通信方式検討 TF と協力関係を構築して、これらユースケースについても図 3 の検討フローに沿った検討を進めていく計画である。以下に SIP 協調型自動運転ユースケース（以下、SIP ユースケース）の概要

を紹介する。

5.1 協調型自動運転システムの定義

「協調型自動運転システムとは、自律型自動運転システムをベースに、車載センサ検知外の情報の入手、自車が保有する情報の提供、及び車車／路車間の意思疎通を通信で行うことで、より安全でスムーズな自動運転制御を可能とするシステム。」と定義されている。

5.2 協調型自動運転システム検討対象範囲

検討対象の車両と走行範囲は以下としている。

- ・オーナーカー（高速道路／一般道）
- ・物流／移動サービスカー
- －隊列走行（高速道路）
- －シャトル／バス（一般道既定ルート／遠隔操作）
- －タクシー／物流車両（一般道不定ルート／遠隔操作）

5.3 SIP ユースケース選定の考え方

協調型自動運転システムを考える上での前提条件を以下のように置き、その前提条件に合致したものを SIP ユースケースとして選定している。

(a) 全ての交通参加者は基本的に法規を遵守するものとする

- ・理由：周囲の交通参加者の故意による交通法規違反に起因する事故を回避するための機能の実現は協調型自動運転システムに過度な性能・コストの負担を要求することになるため。

(b) 自律型自動運転システムで実現できるユースケースは含めない

- ・理由：自律型自動運転システムをベースにして協調型

自動運転システムは実現されるため、自律型自動運転システムで実現できる機能については冗長機能となり協調型自動運転システムとしての実用化可能性は低いと考えるため。

協調型自動運転通信方式検討 TF にて設定した協調型自動運転システム定義を基に、SIP ユースケース選定要件として以下の3項目が挙げられている。

- ① 車載センサ検知外の情報の入手が必要
- ② 自車が保有する情報の提供が必要
- ③ 車車間及び路車間の意思疎通が必要

協調型自動運転システムの前提条件に該当するユースケースを抽出し、更に SIP ユースケース選定3要件ごとに選別、a～hの8機能に分類し、トータル25ケースが選定された。表4にSIP ユースケース選定結果を示す。

5.4 SIP ユースケース検討の進め方

通信シナリオの確認のため、各ユースケースの技術要件保有団体とやり取りを実施しながら内容を整理し、過去に検討した類似事例を参考に通信要件をまとめる。表5に通信要件検討事例を示す。またこの事例のユースケースである、a. 合流・車線変更支援／a-1-1. 予備加減速合流支援のイメージを図8に示す。

6 今後の検討

自動運転向け無線通信システム活用の実現に向け、ユースケースの分析、無線方式の調査検討、基本性能検証を実施してきた。またこれまでの成果を基に実験用ガ

表4 SIP ユースケース選定結果

機能分類	ユースケース名
① 車載センサ 検知外情報の入手が必要なユースケース	
a.合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援 a-1-2.本線隙間狙い合流支援
b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援(V2I) b-1-2.信号情報による走行支援(V2N)
c.先読み情報:衝突回避	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援 c-2-1.交差点の情報による走行支援(V2V) c-2-2.交差点の情報による走行支援(V2I) c-3.ハザード情報による衝突回避支援
d.先読み情報:走行計画変更	d-1.異常車両の通知による走行支援 d-2.逆走車の通知による走行支援 d-3.渋滞の情報による走行支援 d-4.分岐・出口渋滞支援 d-5.ハザード情報による走行支援
e.先読み情報:緊急車両回避	e-1.緊急車両の情報による走行支援
② 自車が保有する情報の提供が必要なユースケース	
f.インフラによる情報収集・配信	f-1.救援要請(e-Call) f-2.交通流の最適化のための情報収集 f-3.地図更新・自動生成 f-4.ダイナミックマップ情報配信
③ 車車間及び路車間の意思疎通が必要なユースケース	
a.合流・車線変更支援	a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援 a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援 a-2.混雑時の車線変更の支援 a-3.渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援
g. 隊列・追従走行	g-1.電子牽引による後続車無人隊列走行 g-2.追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行
h. 遠隔操作	h-1.移動サービスカーの操作・管理

表 5 通信要件検討事例

a.合流・車線変更支援 / a-1-1.予備加減速合流支援		
No.	項目	無線方式検討TG(案)
1	配信の目的	インフラで計測した本線上の走行情報を合流車両へ伝達し合流を円滑化
2	配信の形態	スポット計測情報を元に、計測地点から合流開始までの 予測位置情報を0.1秒間隔で定期的に配信
3	路側センサーの設置位置	本線、合流受け入れ開始位置から上流266.7m (120km/h道路)
4	路側センサーの計測距離	≒0m (スポット)
5	路側センサーの計測車線数	1車線
6	最大検知(データ送信)車両数	30台分程度
7	通信開始タイミング	合流開始6秒前 (仮値)
8	通信頻度	0.1秒
9	情報提供期間	合流起点まで
10	通信対象距離	66.7m(40km/h)~116.7m(70km/h)
11	通信遅延	規定せず
12	通信対象距離に対する通信品質	パケット到達率: 99%
13	通信形態	1対多 (路側インフラ⇒合流車両)
15	データ最大サイズ(Byte数)	581 (仮値)
16	認証に関するセキュリティ情報	(検討中)
17	特定外車両への情報提供の制限	無
18	シミュレーションモデル	(未定)

図 8 SIP ユースケースイメージ
a. 合流・車線変更支援 a-1-1. 予備加減速合流支援
(SIP 資料を基に推進会議が作成)

イドラインを策定した、今後は更に以下への取組みが必要となる。

- ・自動運転のユースケース拡張への対応
- ・既存サービスとの共用条件の精査
- ・各種検証に活用可能な実験用ガイドラインの更新
- ・実環境における無線通信適用可能性の検証

具体的には、SIP ユースケースに基づく協調型自動運転通信要件の策定、既存 ITS 通信適用時の課題解決や新たな通信方式の検証 (シミュレーション、実証実験)、協調型自動運転通信に関する実験用ガイドラインの改定を実施する計画である。ITS 情報通信システム推進会議は、自動運転の更なる高度化を支えるために、今後も自動運転向け無線通信の検討を進めていく。

浜口雅春

ITS 情報通信システム推進会議高度化専門委員会無線方式検討タスクグループ主査、沖電気工業株式会社ソリューションシステム事業本部 DX 事業推進センター部門長。

1987 沖電気工業入社、防災無線、PHS の開発に従事。1997 から横須賀リサーチパーク (YRP) の OKI 拠点にて ITS の無線研究開発に従事。

2021 からソリューションシステム事業本部 DX 事業推進センター長として事業本部の DX 推進を担務。ITS 情報通信システム推進会議には 2003 から参加。