

① 協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討

Research on Communication Methods to Realize Cooperative Automated Driving Use Cases

木村聡, 布本剛史 (日本電気株式会社), 小川真人, 小西友明 (京セラ株式会社)

Satoshi Kimura, Takeshi Nunomoto (NEC Corporation), Masato Ogawa, Tomoaki Konishi (KYOCERA Corporation)

(概要) 本事業は、協調型自動運転通信方式検討タスクフォースにて策定されたV2Xの活用が期待される協調型自動運転ユースケースについて、無線通信技術への具体的な要求仕様等、通信に関する技術的な実現性の検討、検証及び実証を踏まえ、自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装時期のロードマップを策定することを目的として実施した。具体的には、ユースケースに対する通信要件の検討、無線通信システムの一つであるセルラーV2X方式による対応可否の検証及び課題解決の対応策立案及び妥当性の検証、既存の無線通信システムである700MHz帯高度道路交通システムによる対応可否の検証及び課題解決の対応策立案、自動運転社会の実現に必要な協調型自動運転に関する通信要件のロードマップ案の策定を実施した。

キーワード：協調型自動運転, V2X, セルラーV2X (C-V2X), 700MHz帯ITS

1 協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討(セルラーV2X方式)

1.1. 概要

協調型自動運転通信方式検討タスクフォース(以下、検討TF)で策定されたSIP協調型自動運転ユースケース⁽¹⁾(以下、SIP-UC)に基づき、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(以下、無線方式検討TG)と共同でSIP-UCに対する技術要件及び通信要件を検討した。その通信要

件に対し、無線通信システムの一つであるセルラーV2X方式を適用した場合の対応可否の検証及び課題解決の対応策立案及び妥当性の検証を実施した。(V2X: Vehicle to X, V2I: Vehicle to Infrastructure, V2V: Vehicle to Vehicle, V2N: Vehicle to Network)

1.2. 通信要件の検討

SIP-UCに対し、無線方式検討TG及びSIP-UCのそれぞれのユースケースに関係する団体、企業との議論を通じ、ユースケースの実現に際し求められる技術要

表1 通信要件の例

機能分類	a. 合流・車線変更支援					
ユースケース	予備加減速合流支援	本線隙間狙い合流支援	路側管制による本線車両協調合流支援			
No.	a-1-1	a-1-2	a-1-3			
メッセージ名	位置情報	位置情報	位置情報	管制要求	調停要求/更新要求	調停応答/更新応答
通信形態	V2I(I→V)	V2I(I→V)	V2I(I→V)	V2I(V→I)	V2I(I→V)	V2I(V→I)
通信相手	非特定車両	非特定車両	非特定車両	路側インフラ	特定車両	特定車両
対象エリア(最小範囲)	合流起点6秒前から合流起点6秒前と合流起点の中央まで	合流起点6秒前から合流起点まで	合流起点6秒前から合流起点まで	管制要求範囲内	管制要求範囲内	管制要求範囲内
エリアあたり送信台数	1台	1台	1台	1台	1台(×管制数)	48台(管制数, 混雑時)
必要通信距離	33.9~59.3m (国総研仕様書:95m)	67.8~118.6m	連絡路:67.8~118.6m 本線:112.5~270.0m	67.8~118.6m	連絡路:67.8~118.6m 本線:112.5~270.0m	連絡路:67.8~118.6m 本線:112.5~270.0m
最大相対速度	連絡路:20~70km/h	連絡路:20~70km/h	連絡路:20~70km/h 本線:20~120km/h	連絡路:20~70km/h 本線:20~120km/h	連絡路:20~70km/h 本線:20~120km/h	連絡路:20~70km/h 本線:20~120km/h
最大データサイズ	1510byte 想定:46台	2752byte 想定:92台	5236byte 想定:184台	287byte	369byte	287byte
周期型もしくは非周期型	周期型	周期型	周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期	100ms	100ms	100ms		不定	
1/パケットあたりPAR	PAR≧99%(仮)	PAR≧99%(仮)	PAR≧99%(仮)	PAR≧99%(仮)	PAR≧99%(仮)	PAR≧99%(仮)
無線区間許容遅延	規定しない	規定しない	規定しない	100msを想定	100msを想定	100msを想定

PAR: Packet Arrival Rate

① 協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討

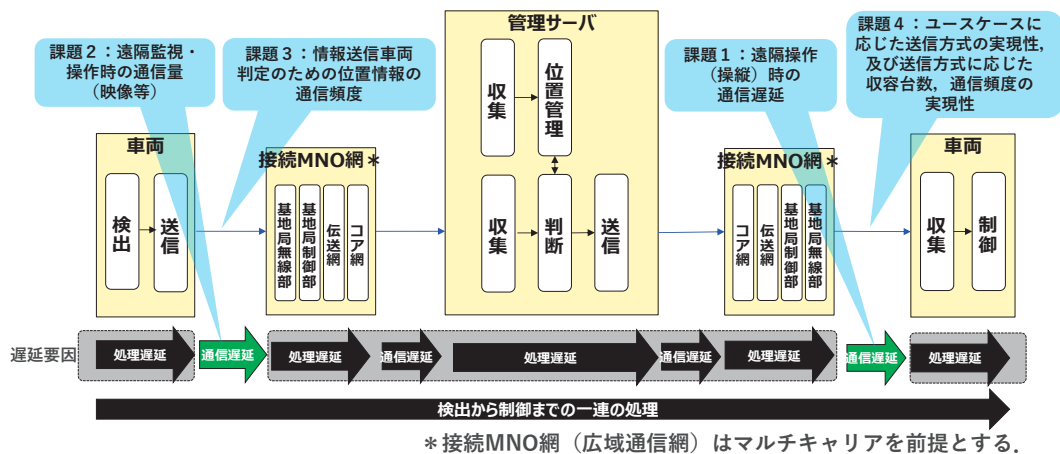


図1 通信要件の実現上の課題

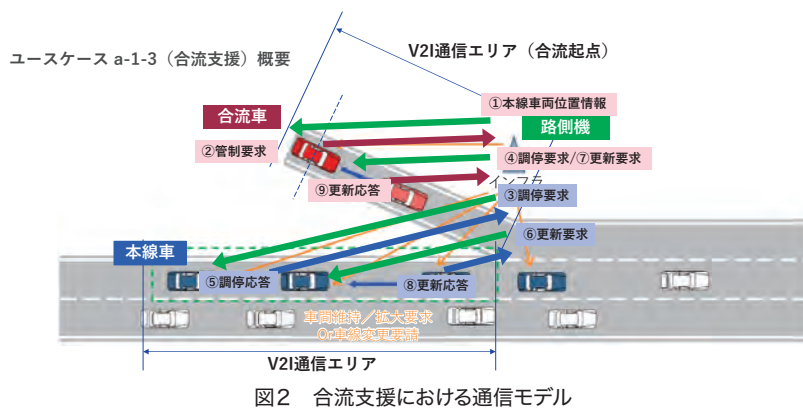


図2 合流支援における通信モデル

件（路車での機能分担，通信機能等）及び通信要件（通信シーケンス，メッセージ内容，通信性能等）を無線方式検討TGとの協働により規定した。合流・車線変更支援に関するユースケースに対する通信要件の例を表1に示す。

検討した結果は，無線方式検討TGによりSIP-UCに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料⁽²⁾として策定された。

表2 各課題への対応策案

課題	検討事項	方策案概要
課題1：遠隔操作（操縦）時の通信遅延	・通信遅延低減 (V⇔N)	・無線通信の優先度制御 ・専用周波数帯域の確保 ・End-to-Endでの専用帯域の確保(スライシング等)
課題2：遠隔監視・操作時の通信量(周辺映像等)	・通信遅延低減 (V→N)	・無線通信の優先度制御 ・アップリンク(V→N)通信容量の確保 ・専用周波数帯域の確保 ・End-to-Endでの専用帯域の確保(スライシング等)
課題3：情報送信車両判定の位置情報の通信頻度	・通信頻度低減 (V→N)	
課題4：ユースケースに応じた送信方式の実現性，送信方式に応じた収容台数，通信頻度実現性	・通信量低減 (N→V)	・送信方式ごとの実現性検討(ユニキャスト，マルチキャスト，ブロードキャスト)

V: Vehicle, N: Network

1.3. 広域通信に関する検討

広域通信網を利用するSIP-UCのそれぞれのユースケース(d.先読み情報：走行計画変更，f.インフラによる情報収集・配信等)に対し，通信要件の実現上の課題を整理し，その課題の対応策を机上検討した。通信要件の実現上の課題を図1に，各課題への対応策案を表2に示す。

1.4. 狭域通信に関する検討

狭域通信（路車間，車車間）を利用する各ユースケースに対し，通信要件の実現上の課題を整理し，その課題に対し，セルラーV2Xの通信シミュレーション(5.9GHz，10MHz帯域幅)を通じ通信性能を検証し，

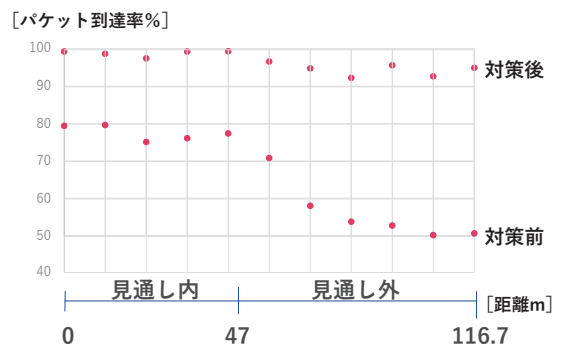


図3 通信シミュレーション結果例

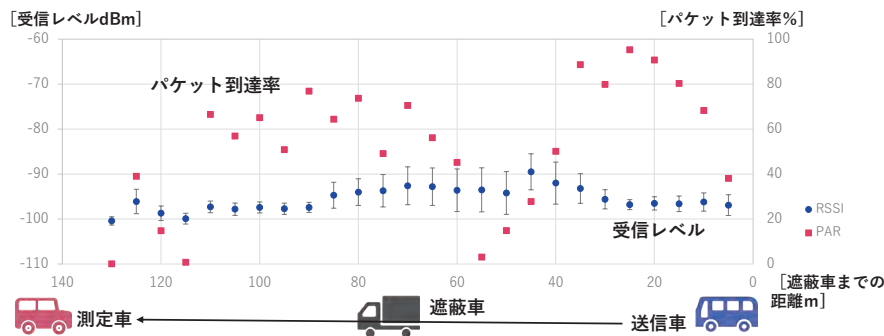


図4 遮蔽車によるシャドウイングの影響の実証結果例

対応策案を机上検討した。検証に際しては、代表的なユースケース2例(①合流支援, ②交差点周辺)を取り上げ実施した。図2に一例として合流支援における通信シミュレーションの際の通信モデルを示す。

通信シミュレーションを通じ通信要件実現のための課題が明らかになり、その対策を含めた再評価を実施した。図3に一例として当初のシミュレーション結果(距離に応じたパケット到達率)とパケット到達率の低下の要因と想定された要因(路側機における送受信タイミング競合による受信不能, 車両送信におけるパケット衝突(隠れ端末の影響))に対する改善策(路側機の送信メッセージの集約, 車両遮蔽損失の影響の低減)を対策後のシミュレーション結果を示す。

またシャドウイング及び通信輻輳の影響といった、無線通信を実フィールドで実証し、検証が必要な事項に関し、テストコースで車両及びセルラーV2X通信機を配した通信性能評価の実証を行った。通信性能として、①遮蔽車によるシャドウイングの影響, ②通信量に応じた通信輻輳の影響を評価した。図4に一例として遮蔽車によるシャドウイングの影響の実証結果を示す。

狭域通信に関する検討として、通信シミュレーション結果及び実証結果より、以下のことが確かめられた。

- 1) 単独ユースケースを実現するため、様々な通信要件の通信が混在し相互影響が生じる
- 2) 同じ場所で複数ユースケースを実現するため、様々な通信要件の通信が混在し相互影響が生じる

実運用においては、無線通信環境(シャドウイング, マルチパス等), 走行車両環境(台数, 車間)が一義に特定あるいは制限できるものではなく、想定と異なる環境下において通信が生じた場合、通信が輻輳し、結果として相互影響による通信遅延, 通信未達が生じ得る。そのための方策検討が求められる。具体的には、

- 1) 通信レイヤでの通信輻輳制御に加えた、無線通信

環境, 走行車両環境等に応じたアプリケーションレベルでの通信輻輳制御を行うことでの通信輻輳の影響の低減, 2) 通信エリア(車線, 道路の上下線等), もしくは通信内容に応じた通信チャネルの割当を行うことでの通信輻輳の影響の低減が考えられる。

2 協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討(700MHzITS)

2.1. 概要

1章と同様に検討TFで策定されたSIP-UCのうちV2I, V2Vの対象である20ユースケース(表3参照, 以下ユースケース名を記号で記す。)において、無線方式検討TGのSIP-UCに関する通信シナリオ/通信要件の検討資料⁽²⁾の通信要件に基づき、700MHz帯高度道路交通システム(以下, 700MHz帯ITS)での対応可否の検証及び課題解決の対応策立案を、机上検討及びシミュレーションにより実施した。

2.2. 机上検討

机上検討ではリンクバジェットの観点で通信品質, 送信時間制約, 路側機設置制約, メッセージセットの評価を実施した。

通信品質, 送信時間制約評価において、意思疎通が必要なユースケースの一部(a-1-3, a-1-4, a-2, a-3)はエリアあたりの送信台数が原因で送信時間制約評価が未達であった。電子牽引による後続車無人隊列走行(g-1)のユースケースは緊急時の送信周期が20msと通信要件に定められているが、700MHz帯ITS規格ARIB STD-T109では通信周期を100ms周期と規定しているため、通信要件未達とした。その他のユースケースでは通信要件を達成した。

路側機設置制約評価において、路側機の無線送信スロット(以下, スロット)割当を検討した結果、SIP-

UCに必要な4スロットが確保可能となった。よって、路車間・路路間通信は700MHz帯ITSサービスにSIP-UCを加えてもスロット割当が成立することを確認した。

メッセージセット評価において、700MHz帯ITSのメッセージにSIP-UCのメッセージセットが追加可能かの検討を行った結果、ITS Connect TD-001⁽³⁾の自由領域(オプションの領域)を活用することでSIP-UCの車載機メッセージセットが追加可能なことを確認した。

2.3. シミュレーション

SIP-UCが700MHz帯ITSで対応可能かを確認するために複数の路側機、車載機から送信される電波が相互に干渉し合うシミュレーション環境を構築した。図5にSIP-UC検討モデルを示す。道路モデルは既存モデルシミュレーション⁽⁴⁾の中で最も路側機設置密度

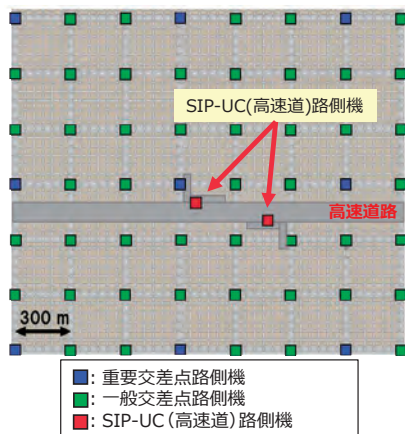


図5 SIP-UC検討モデル

表3 シミュレーション結果

SIP-UC名	700MHz帯ITSでの対応可否
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-1-1. 信号情報による走行支援(V2I)	○
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-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-1. 緊急車両の情報による走行支援	×
f-2. 交通流の最適化のための情報収集	○
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-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	×

が高い300m面配置に高速道路の本線及び連絡路を配置したものとした。

表3にシミュレーション結果を示す。

SIP-UC路車間通信(a-1-1, a-1-2, a-1-3, b-1-1, c-2-2, d-1~d-5)とSIP-UC車路間通信の一部(d-1~d-4, f-2)は、無線方式検討TG提示の通信要件を達成した。SIP-UC車車間通信(a-1-4, a-2, a-3, c-1, c-2-1, c-3, e-1, g-1, g-2)とSIP-UC車路間通信の一部(a-1-3)は無線方式検討TG提示の通信要件を達成することができなかった。この原因は、700MHz帯ITSの車載機送信時の無線方式であるCSMA/CAにおいて、車載機A及びBが互いにキャリアセンス範囲外に位置し互いの送信タイミングを把握していない場合において、車載機A及びBが同タイミングで送信すると、それぞれの送信メッセージが到達する位置ではメッセージが衝突する問題(隠れ端末問題)が発生するためと考えられる。

2.4. 課題と対策

2.2, 2.3節の結果より、無線方式検討TG提示の通信要件未達となったユースケースに対し、課題の抽出と対策立案を行った。

無線方式検討TGから提示された通信要件は、サービス要件の詳細が未確定な状態であり、より厳しい要件となっている。当該通信要件を詳細に確認していくなかで、SIP-UCそれぞれに対する適用シーンや情報収集手段など自動運転に関するサービス要件について更なる整理が必要であることがわかった。対策としては、各ユースケースを検討した関連団体と連携し、サービス要件の更なる具体化を図り、実用的・最適な通信要件を定めていくことが挙げられる。

意思疎通が必要なSIP-UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3については、700MHz帯ITSの通信方法がブロードキャストであるため意思疎通への対応は困難である。対策として下記2つを提案する。

案1) 新たな通信方式のみ

周囲状況の認知(位置や速度情報等)も含めて新たな通信方式で行う。この場合、帯域幅や伝搬性の検討が必要である。また既存の安全運転支援サービスとの関係(共存の場合、コストと搭載のインパクトが大きい。新方式への移行は車両の展開・普及、品質担保が課題)の検討が必要である。

案2) 700MHz帯ITS+新たな通信方式

周辺状況の認知（位置や速度情報等）を700MHz帯ITSで行い、その後の意思疎通のシーケンスは新たな通信方式で行う「ベーシックメッセージ+高度化メッセージ」の考え方を導入する。

上記について今後検討を行う必要がある。

システム実用化に向けて、メッセージセットの規格化、スロット割当配置ルール、セキュリティの要件などを定義することが課題となる。対策は各関連団体と協議しガイドライン策定や規格化の推進が挙げられる。

g-1のユースケースは、急制動時（緊急時）の20ms周期送信が課題となる。対策として、ARIB STD-T109の規格変更、あるいはユースケース要件の深掘りによる要件変更が挙げられる。

2.5. 今後の展望

2.5.1. 長期的な活用が可能である700MHz帯ITSの実証実験・社会実装推進

本研究開発ではSIP-UCに関して、机上検討、シミュレーションを通じて700MHz帯ITSでの対応可否を検証した。意思疎通が必要なSIP-UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3以外の多くのユースケースで扱う車両の位置、速度、方向などといった基本情報は、現在利用されている700MHz帯ITSサービスと同一である。また、700MHz帯波の遠くまで届き回り込む特性は、見通しが悪いといった日本の道路事情や車両におけるアンテナ設計等に対しても非常に有利であると言われている。よって、国際動向を踏まえつつ700MHz帯ITSは協調型自動運转向けにも最大限活用することが重要であると考えられる。そのためには、各SIP-UCに対して、道路状況など様々な状況を踏まえた、より詳細なサービス要件や、そこから求められる通信要件をしっかりと定義すること、ユースケースのロードマップに従い、自動運転車両を走らせるために必須のサービスを優先し、これを着実に社会実装しつつ、通信に関してもより高度化を図ることが求められる。

2.5.2. 意思疎通が必要なSIP-UCの実現時期を想定し、新たな通信方式を検討

意思疎通が必要なSIP-UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3は、情報配信を想定したブロードキャストである700MHz帯ITSでは対応が困難であるため、意思疎通を行うための双方向通信ができる新たな通信方式での対応が必要である。しかしながら意思疎通を行うためには通信

要件の深掘り、新たな通信方式の検討など多くの課題が残されているため更なる検討が必要である。今後も継続して検討を行うなかで、「ベーシックメッセージ+高度化メッセージ」の考え方を取り入れた案も含めて新たな通信方式についての議論が重要であると考えられる。

3 自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装時期のロードマップ策定

3.1. 概要

ロードマップの策定にあたり、関係府省庁及び団体により既に策定されている計画や各所の取組事例等をもとに、SIP-UCの各ユースケースの実現時期を設定し、実現時期を時系列に列挙したユースケース展開計画を整理した。続いて、1章及び2章で述べたユースケースの通信要件実現上の課題を考慮し、展開計画の実現に必要な事項を整理した。以上を踏まえ、展開計画の実現に必要な実施事項を時系列上にロードマップとして取りまとめた。

3.2. ユースケース展開計画の検討

ユースケース展開計画の検討にあたり、各ユースケースに適用される通信方式（路車間通信：V2I, 車車間通信：V2V, 広域通信：V2N）を検討TFでの協議を通じ、想定し検討を進めた。またユースケースは基本的に協調型自動運転として実現されるものであるが、一部のユースケースは先行して安全運転支援に供することも考えられるため、展開計画においては、協調型自動運転と安全運転支援に分けて整理した。以上を踏まえ、関係府省庁及び団体により既に策定されている計画や各所の取組事例等をもとに、各ユースケースの実現時期を設定し、実現時期を時系列に列挙したユースケース展開計画を整理した。図6～8に通信方式ごとのユースケース展開計画を示す。

3.3. ユースケース展開計画の実現に向けた実施事項

1章及び2章で述べたユースケースの通信要件実現上の課題を踏まえ、展開計画の実現に必要な事項を整理した。ユースケース展開計画の実現に際し、以下の2つに区分し実施事項を整理した。

A) 各種の論点について関係主体間で検討・議論し方向性を明確化（詳細は図9に示す）

通信メディアごとの各ユースケースの展開と想定される通信要件：V2I

		2025-	2030-	2035-	2040-
安全運転支援	安全運転支援	▼：ユースケース開始時期に関する想定 ●：関連するインフラ等の整備計画想定 (太字=関係省庁ロードマップ等の記載から想定 細字=受託者想定)			
		▼既存サービスの提供状況から想定 (受託者想定) b-1-1. 信号情報による走行支援 (V2I) ユースケースの一部はITS connectによりサービス提供開始済み (赤信号注意喚起・信号待ち発進準備内)			
協調型自動運転	安全運転支援・協調型自動運転	▼既存サービスの提供状況から想定 (受託者想定) c-2-2. 交差点の情報による走行支援 (V2I) ユースケースの一部はITS connectによりサービス提供開始済み (右折時注意喚起)			
		▼官民ITS構想・ロードマップ「限定地域における無人自動運転移動サービスを2025年度目途に40か所以上へ展開」 ▼限定地域における無人自動運転移動サービス実現のためにはb-1-1・c-2-2が必要と想定し、2025年ごろに開始と想定 (受託者想定) b-1-1. 信号情報による走行支援 (V2I) c-2-2. 交差点の情報による走行支援 (V2I) ●モビリティサービスの展開箇所 40か所 (官民ITS構想・ロードマップ) ●モビリティサービスの展開箇所 100か所 (受託者想定) ●モビリティサービスの展開箇所が更に拡大 (受託者想定)			
協調型自動運転	協調型自動運転	▼官民ITS構想・ロードマップ「2025年度ごろの高速道路でのレベル4自動運転トラックの実現」 ▼官民ITS構想・ロードマップの目標実現に向けて、本線合流支援のサービス実現を目指す想定 (受託者想定) 本線合流支援 (V2I) a-1-1, a-1-2			
		▼合流支援Day3システム自動運転普及率30%~ (自工会資料より) a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援 (V2I) ●自動運転車 (L3以上) の普及率30%程度に到達 (受託者想定)			

図6 ユースケース展開計画 (V2I)

通信メディアごとの各ユースケースの展開と想定される通信要件：V2V

		2025-	2030-	2035-	2040-
安全運転支援	安全運転支援	▼：ユースケース開始時期に関する想定 ●：関連するインフラ等の整備計画想定 (太字=関係省庁ロードマップ等の記載から想定 細字=受託者想定)			
		▼既存サービスの提供状況から想定 (受託者想定) c-2-1. 交差点の情報による走行支援 (V2V) ユースケースの一部はITS connectによりサービス提供開始済み (右折時注意喚起)			
協調型自動運転	安全運転支援・協調型自動運転	▼既存サービスの提供状況から想定 (受託者想定) e-1 (1). 緊急車両の情報による走行支援 (V2V) ユースケースの一部はITS connectによりサービス提供開始済み (緊急車両存在通知)			
		c-1. 前方での急停止, 急減速時の衝突回避支援 (V2V) c-3. ハザード情報による衝突回避支援 (V2V)			
協調型自動運転	協調型自動運転	▼安全運転のための既存サービスの提供状況から想定 (受託者想定) c-2-1. 交差点の情報による走行支援 (V2V) e-1 (1). 緊急車両の情報による走行支援 (V2V)			
		▼官民ITS構想・ロードマップ「2030年の目標:国民の豊かな暮らしを支える安全で利便性の高いデジタル交通社会を世界に先駆け実現する」 ▼官民ITSロードマップの目標実現に向けて、c-1のサービス実現を目指す想定 (受託者想定) c-1. 前方での急停止, 急減速時の衝突回避支援 (V2V) ▼車線変更の支援も想定するため、c-1よりも遅れて実現すると想定 (受託者想定) c-3. ハザード情報による衝突回避支援 (V2V)			
協調型自動運転	協調型自動運転	▼隊列走行の商用化 (経済産業省「RoAd to the L4」にて想定) ▼官民ロードマップ「2025年度ごろの高速道路でのレベル4自動運転トラックの実現」 ▼類似サービスが実証実験を実施済。実証結果の展開, あるいは実証を前提とした早期の実用化を想定 (受託者想定) 隊列走行 (V2V) g-1. g-2			
		●大阪-東京の幹線高速道の一部に優先レーン整備 (受託者想定) ●大阪-東京の幹線高速道に優先レーン整備 (受託者想定) ●本州の幹線高速道に優先レーン拡大 (受託者想定)			
協調型自動運転	協調型自動運転	▼合流支援Day4システム自動運転普及率50%~ (自工会資料より) ネゴシエーションによる車線変更・合流支援 (V2V) a-1-4, a-2, a-3 ●自動運転車 (L3以上) の普及率50%程度に到達 (受託者想定)			

図7 ユースケース展開計画 (V2V)

通信メディアごとの各ユースケースの展開と想定される通信要件：V2N

	2025-	2030-	2035-	2040-
安全運転支援	▼：ユースケース開始時期に関する想定 ●：関連するインフラ等の整備計画想定 (太字=関係省庁ロードマップ等の記載から想定 細字=受託者想定)			
	▼自動運転車の普及には時間を要し、当面は安全運転支援のためにサービスが提供されると想定 SIPの研究開発動向から、2025年ごろに開始と想定 (受託者想定)			
	b-1-2. 信号情報による走行支援 (V2N)			
	▼速やかに広範囲への展開が見込め、早期から開始することで効果が期待できることから2025年からサービス開始を想定 (受託者想定)			
	先読み情報: 走行計画変更 (V2N)			
	d-1, d-2, d-3, d-4, d-5			
	▼SIPの研究開発動向から、2025年ごろに開始と想定 (受託者想定)			
	e-1 (2) . 緊急車両の情報による走行支援 (V2N)			
	▼既存サービスの提供状況から想定 (受託者想定)			
	f-1. 救援要請(e-Call) (V2N)			
ユースケースの一部はヘルプネットによりサービス提供開始済み				
安全運転支援・協調型自動運転	▼OEMテレマティクスサービスによるサービス開始 (車両情報・走行情報の収集)			
	▼既存サービスの提供状況から想定 (受託者想定)			
	f-2. 交通流の最適化のための情報収集 (V2N)			
	f-4. ダイナミックマップ情報配信 (V2N)			
	▼f-3. について実証実験による技術検証が必要		▼実現に向けた技術検証が必要であるため、他のユースケースより遅れて実現すると想定 (受託者想定)	
	f-3. 地図更新・自動生成 (V2N)			
	▼SIPにて自動運転のためのV2Nによる信号情報の提供に向けた検討・研究開発を実施中			
	▼受託者想定 (自動運転のためのユースケース開始時期については議論が必要)			
	b-1-2. 信号情報による走行支援 (V2N)			
	先読み情報: 走行計画変更 (V2N)			
d-1, d-2, d-3, d-4, d-5				
協調型自動運転	▼SIPにて実証を実施			
	▼SIPの研究開発動向から早期の実現を想定 (受託者想定)			
	e-1 (2) . 緊急車両の情報による走行支援 (V2N)			
	f-1. 救援要請(e-Call) (V2N)			
	f-2. 交通流の最適化のための情報収集 (V2N)			
	f-4. ダイナミックマップ情報配信 (V2N)			
	f-3. 地図更新・自動生成 (V2N)			
	▼遠隔監視を用いた移動サービスカーの実用化 (経済産業省「RoAD to the L4」にて想定)			
	▼官民ITS構想「ロードマップ」(指定地域における無人自動運転移動サービスを2025年度目途に40か所以上へ展開)			
	▼類似サービスの実証実験を実施			
▼実証結果の展開、あるいは実証を前提とした早期の実用化を想定 (受託者想定)				
h-1. 移動サービスカーの操作・管理 (V2N)				
●モビリティサービスの展開箇所40か所 ●モビリティサービスの展開箇所100か所 (受託者想定)				

図8 ユースケース展開計画(V2N)

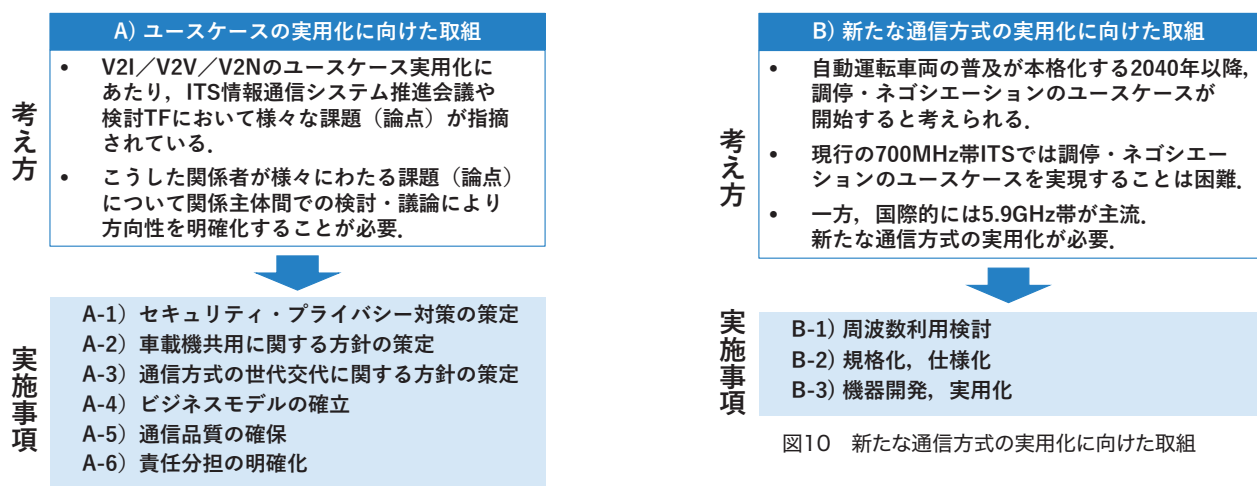


図10 新たな通信方式の実用化に向けた取組

図9 ユースケースの実用化に向けた取組

B) 新たな通信方式 (例えば5.9GHzの適用など) を実用化 (詳細は図10に示す)

なおA) の取りまとめに際しては、ITS情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 セルラーシステムTGにおける検討結果⁽⁵⁾を参照した。

3.4. ロードマップの策定

これまでの検討結果を踏まえ、25のSIP-UCを全て実現するためには、V2I及びV2Vについて2040年ごろに新たな通信方式が必要であること、新たな通信方式をユースケース展開計画で想定する2040年に30%の協調型自動運転車に装着されるために、2030年ご

① 協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討

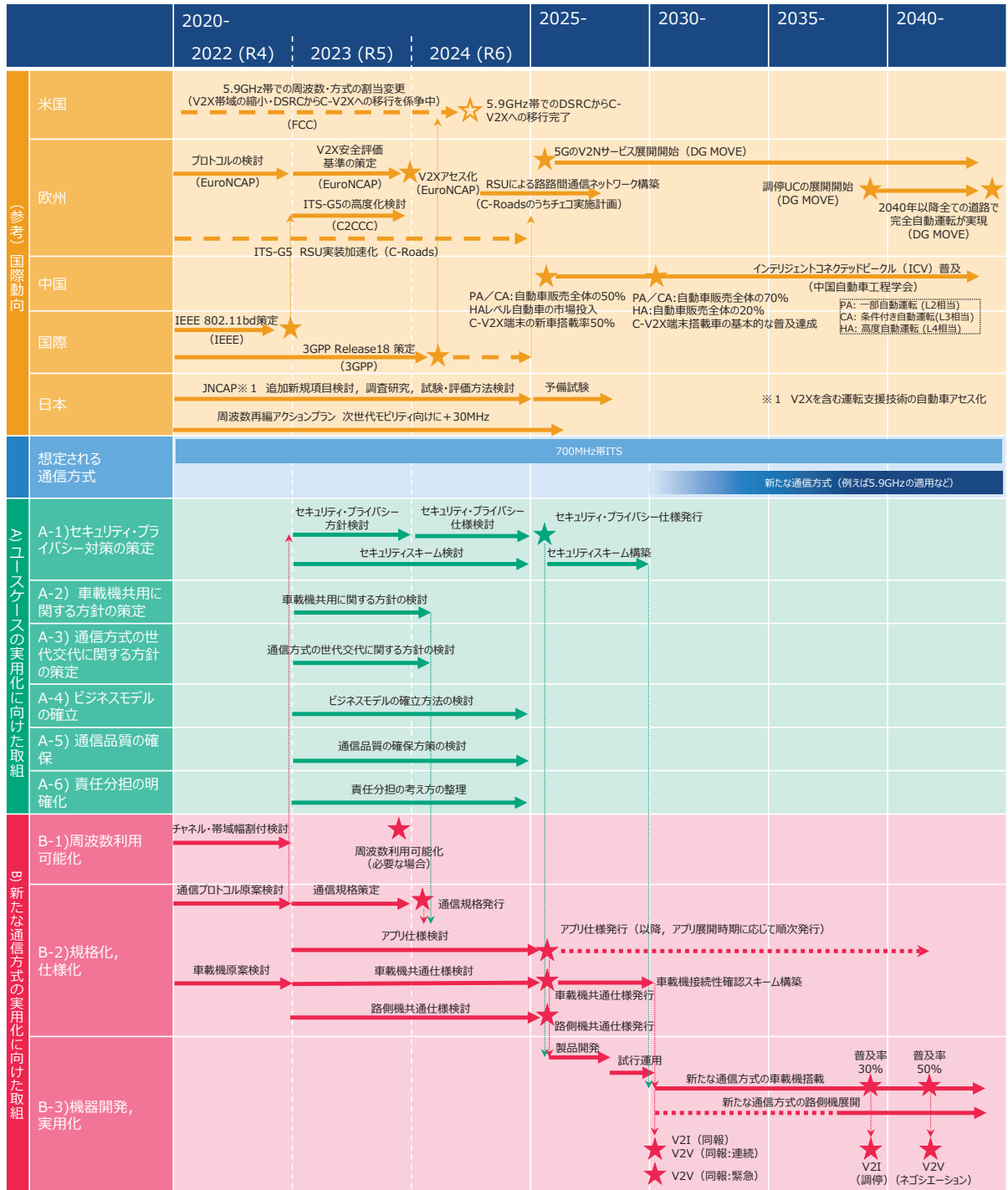


図11 ロードマップ案

る(自動運転が普及し始める時期)から新たな通信方式の整備が必要であること及び早期に開始するユースケースについては、既存のITS無線通信システムである700MHz帯ITSを活用すると考えられることを踏まえ、ユースケース展開計画実現のための実施事項を詳細化し、自動運転社会の実現に必要な協調型自動運転に関する通信要件のロードマップ案を策定した。ロードマップ案を図11に示す。

4 おわりに

無線通信システムの一つであるセルラーV2X方式による対応可否の検証及び課題解決の対応策立案及び妥当性の検証を通じ、SIP-UCの実現に向けた課題解決の方向性を見極めた。

既存の無線通信システムである700MHz帯ITSによる対応可否の検証及び課題解決の対応策立案を通じ、

700MHz帯ITSの長期活用がSIP-UCの実現への有効な手段であることを示した。

上記を踏まえ策定したロードマップ案は、検討TFの中で、学識経験者、関係省庁、業界団体（自動車業界、電機業界）等のメンバとの間で議論を重ね、通信に関する2021年10月～2022年3月現在の技術開発動向、実用化動向を踏まえて取りまとめたものである。協調型自動運転を実現していくために必要な新たな通信方式（例えば5.9GHzの適用など）の実用化時期を2030年ごろと想定し、その実用化に向けた周波数利用検討、規格化・仕様化、機器開発・実用化の取組が必要である。またユースケース自体の実用化に向けては、提供サービスに関するセキュリティやプライバシー対策、車載機の共用に関する方針、機器の世代交代に関する方針、ビジネスモデル、通信品質の確保、責任分担等といった関連する多様な課題についても関係主体で議論し、方向性を明確化していくことが必要である。

今後ロードマップ案やユースケースを起点とし、通信のみならず車両やインフラも含めた関係各所においてそれぞれ役割を分担して検討を行い、また業界横断で議論・連携を深めることで、協調型自動運転の実現に向けた取組が推進されることが期待される。

【本件問合せ先】.....

日本電気株式会社 クロスインダストリー事業開発部門、〒108-8001
東京都港区芝5-7-1、03-3454-1111（代表）、担当：木村聡

京セラ株式会社 研究開発本部 システム研究開発統括部 高度交通システム研究開発部、〒220-0012 神奈川県横浜市西区みなとみらい3-7-1、045-605-7189、担当：小川真人

【参考文献】.....

- (1) 協調自動運転通信方式検討TF：SIP協調型自動運転ユースケース 2019年度協調自動運転通信方式検討TF活動報告，<https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf>，（参照 2022.12.12）
- (2) ITS情報通信システム推進会議：SIP協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料，ITS FORUM RC-017 1.0版，ITS情報通信システム推進会議，2022，https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p70/ITS_FORUM_RC-017_v10.pdf，（参照 2022.12.12）
- (3) ITS Connect 推進協議会：ITS Connect TD-001 1.1版，ITS Connectシステム 車車間通信メッセージ仕様，2018，https://www.itsconnect-pc.org/_img/about/td_001.pdf，（参照 2022.12.12）
- (4) 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会：情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会報告 平成21年7月28日付諮問2029号「ITS無線システムの技術的条件」のうち「700MHz帯高度道路交通システムの高度化に関する技術的条件」について，2017。
- (5) ITS情報通信システム推進会議 セルラーシステムTG：セルラー通信技術を用いたITS・自動運転の高度化に向けた課題調査報告書 補足資料 SIP協調型自動運転ユースケースに対する課題調査報告，ITS情報通信システム推進会議，2022，https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p69/Cellular_system_202205.pdf，（参照 2022.12.12）

② V2X 技術等を含む新たな通信技術開発

Development of New Technologies, V2X and Others, for Communication

浅野 欽也, 中林 昭一 (沖電気工業株式会社), 木村 聡, 大塚 昌弘 (日本電気株式会社)

Kinya Asano, Shoichi Nakabayashi (Oki Electric Industry Co., Ltd.), Satoshi Kimura, Masahiro Ohtsuka (NEC Corporation)

(概要) 本検討では、SIP 第2期の研究開発で得られた、協調型自動運転ユースケースに対する無線通信技術への具体的な要求仕様を策定したロードマップに基づき、協調型自動運転の実現に向け、5.9GHz帯の電波を用いた場合のV2Xシステムの導入に係る課題解決及び検討を加速化するため、その導入に必要な通信プロトコルを含めた無線機の仕様を案出した。

キーワード：協調型自動運転, V2X, セルラーV2X (C-V2X), DSRC (専用狭域通信), 通信プロトコル

1 検討スコープ

1.1. 全体像

SIP 第2期として実施された研究開発「協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討」では、協調型自動運転ユースケース⁽¹⁾(以下、ユースケース)に対する無線通信技術への要求仕様等、通信に関する技術的な実現性の検証結果、並びに今後進化すると思われる通信技術を想定したうえで各々のユースケースとそれぞれの無線通信技術への具体的な要求仕様を策定したロードマップ(以下、ロードマップ)が得られた。

本検討では、上記の検証結果やロードマップの検討結果に基づき、5.9GHz帯の電波を用いた場合のV2Xシステム(以下、5.9GHz帯V2Xシステム)の導入に係る課題解決及び検討を加速化するため、その導入に必要な通信プロトコルを含めた無線機の仕様を案出した。(V2X: Vehicle to X, V2I: Vehicle to Infrastructure, V2V: Vehicle to Vehicle)

1.2. 実施項目と成果目標

以上の中長期的な視野を踏まえ、図1に示す調査検討項目を実施した。以下に各項目の成果目標を示す。

a) 国際動向調査

米国、欧州及び中国等の国及び地域における5.9GHz

帯V2Xシステムの通信プロトコル、メッセージセット及び関係する通信仕様に関し、制度化・規格化動向を調査・分析した。

b) 通信プロトコルの案出に向けた検討

ITS情報通信システム推進会議にて検討されている通信要件及びメッセージセット⁽²⁾、ロードマップの検討結果等を踏まえ、通信プロトコルの技術的検討に必要な5.9GHz帯V2Xシステムの通信要件を検討した。

c) 通信プロトコル案の設計

通信シミュレーションによる評価結果を踏まえ、5.9GHz帯V2Xシステムの通信プロトコルの設計を行い、通信手順、プロトコルスタック等の通信プロトコル案及びメッセージセット案としてまとめた。

d) 無線機仕様の案出



図1 調査検討項目

実運用に向けて必要となる機能や、既存無線システムとの連携等を考慮し、5.9GHz帯V2Xシステムの車載器及び路側機の仕様を案出し、導入に向けての課題とその解消方針と併せて整理した。

また、本検討では、図2に示す関係者会議にて、検討結果、課題に関する確認、議論を随時実施し、それら結果を適切に反映することに努めた。

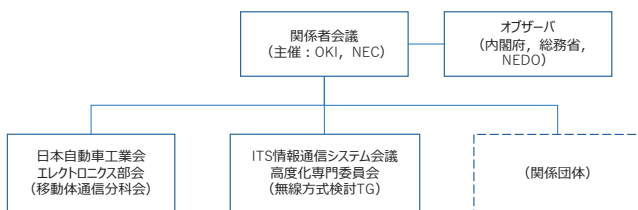


図2 関係者会議体制

2 国際動向調査

協調型自動運転ユースケース⁽¹⁾について、無線通信技術に関する具体的な実施事項をロードマップとして策定した。そのロードマップの検討結果を踏まえ、米国、欧州及び中国を含む世界の国及び地域における交通環境等に応じた5.9GHz帯V2Xシステムの通信プロトコル（通信手順やスタック等）、メッセージセット及び関係する通信仕様に関し、制度化・規格化動向を最新かつ網羅的に調査・分析した。調査・分析した結果は、3～5章で述べる検討に資するものである。調査対象とする各地域の標準化団体の仕様等は図3のとおりである。

	SAE（米国）		ETSI（欧州）		CCSA（中国）
全体	[DSRC] SAE J2945	[C-V2X] SAE J3161	[DSRC] ETSI TS302 665	[C-V2X] ETSI TS103 723	[C-V2X] YD/T 3400
アプリケーション・ファンクティ	[BSM ほか] SAE J2735		[CAM/DENM] ETSI EN302 637		[BSM ほか] YD/T 3709
プロファイル	[WSMP] IEEE 1609.3		[GeoNetwork] ETSI EN302 636-5		[DSMP] YD/T 3707
アクセス	[DSRC] IEEE 1609.4 IEEE 802.11p	[C-V2X] 3GPP TS23.285	[DSRC] ETSI EN302 636-4-1 IEEE 802.11p	[C-V2X] ETSI TS102 636-4-3 EN303 613	[C-V2X] YD/T 3340
運用方式	[DSRC] SAE J2945/1	[C-V2X] SAE J3161/1	[DSRC] TS102 687	[C-V2X] TS103 574	[C-V2X] (3GPP C-V2Xを参照)
セキュリティ	[Security] IEEE 1609.2 IEEE 1609.2.1 SAE SS V2X 001		[Security] TS102 940, 941, 942, 943 TS103 097		[Security] GB/T 40856

図3 調査対象とする各地域の標準化団体の仕様等

SAE:Society of Automotive Engineers

ETSI:European Telecommunications Standards Institute

CCSA:China Communications Standards Association

3 通信プロトコルの案出に向けた検討

国際動向調査結果、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TG（以下、無線方式検討TG）が策定した通信シナリオ／通信要件の検討資料⁽²⁾、ロードマップの検討結果等を踏まえ、700MHz帯安全運転支援システムとの連携を考慮し、通信プロトコルの技術的検討に必要となる、以下に示す5.9GHz帯V2Xシステムの通信要件を検討した。検討結果は、4、5章で述べる検討に資するものである。

(1) 通信チャネルの割当

ユースケースが利用する通信メディア（V2I, V2V）、通信内容（同報、調停・ネゴシエーション）等に基づき、ユースケースをグループ化し、特定条件下でのケーススタディに基づく通信量の試算を踏まえ、各グループに対する通信チャネルの割当案を検討した。ユースケースのグループ化の考え方を図4に示す。

(2) 上位層における通信輻輳制御方式

SAE, ETSI等における仕様例、通信チャネルの割当案の検討結果等を踏まえ、上位層における通信輻輳制御方式案を検討した。

上位層における通信輻輳制御方式例を図5に示す。

(3) 交通流シミュレーションを通じた効果検証

(1), (2)の検討結果を踏まえ、ユースケースにおける5.9GHz帯V2Xシステムの効果を、700MHz帯高度道路交通システムが運用されている場合とされていない場合を含め、交通流シミュレーションにより検証した。

		V2I	V2V
同報	連続	車両が路側機からの同報を受信 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-1-1. 信号情報による走行支援 (V2I) c-2-2. 交差点の情報による走行支援 (V2I)	車両が時々刻々と自車位置や速度などを同報 c-2-1. 交差点の情報による走行支援 (V2V) e-1. 緊急車両の情報による走行支援 (V2V)
	緊急		車両が緊急制動時に制動内容を同報 c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援 (V2V) c-3. ハザード情報による衝突回避 (V2V)
調停・ネゴ		自動運転車両がV2I合流調停に対応 a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援	自動運転車両がV2V合流ネゴに対応 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

図4 ユースケースのグループ化の考え方

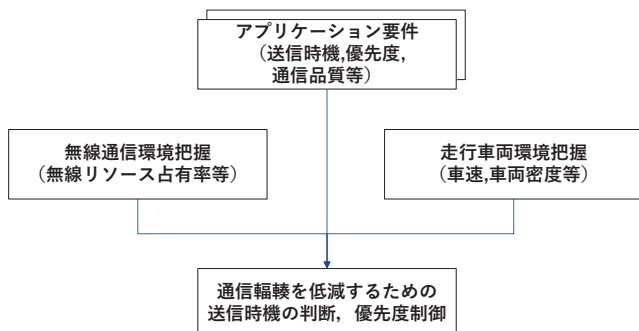


図5 上位層における通信輻射制御方式例

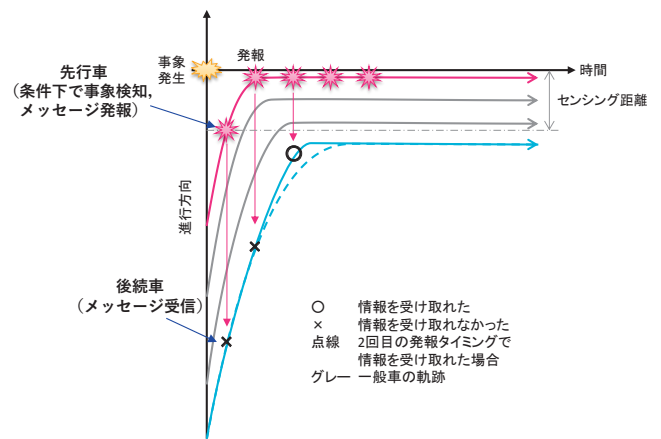


図6 交通流シミュレーションにおける車両の挙動のイメージ

交通流シミュレーションは、特定条件下でのケーススタディに基づきユースケースを再現し、通信仕様（通信タイミング等）の違いによる車両の挙動（減速度等）の違いを評価するものである。交通流シミュレーションにおける車両の挙動のイメージを図6に示す。

4 通信プロトコル案の設計

2, 3章の調査検討結果、交通環境・周波数割当等のが国の制度化状況等を踏まえ、以下に示す5.9 GHz帯V2Xシステムの通信プロトコル案を検討した。

(1) 通信プロトコル案の検討

2, 3章の調査検討結果や後述のシミュレーションによる通信性能評価の結果等を踏まえ、想定ユースケースごとの通信内容や手順、レイヤ構成、必要機能等について検討し、通信プロトコル案としてまとめた。表1に参考規格の通信プロトコル整理例を示す。

(2) メッセージセット案の検討

国内外での規格化・検討状況⁽²⁾、3章の通信要件、通信チャネル割当等を踏まえ、構成、サイズ等のメッセージセット仕様を検討した。その際、メッセージの流用/共通化の可能性の観点を加味した。

(3) シミュレーションによる通信性能評価

上記(1), (2)にて検討した通信プロトコル案及びメッセージセット案を適用した場合のV2Xシステム導入による影響を、コンピュータシミュレーションによるシステムレベルの通信性能評価により確認した。

3章の通信チャネル割当等の検討における想定や前提条件を踏まえ、ユースケースの組合せや、道路モデル（道路規模、交差点の有無等）、交通流モデル（走行速度、車間距離等）等の評価シナリオを設定、電波伝搬モデルや輻射・干渉モデルを検討して、評価系を構築した。図7に電波伝搬モデル例を示す。

5 無線機仕様の案出

5.9GHz帯V2Xシステムの無線機（車載器及び路側機）の仕様を検討し、無線機仕様案としてまとめた。各通信レイヤの仕様・機能については、2~4章の調査検討の結果を踏まえ、既存無線システムとの連携を見据えて検討した。表2に無線機仕様の検討項目例を示す。

また、ユースケースが複数混在する時等を想定した

表1 参考規格の通信プロトコル整理例

レイヤ	通信制御フロー				プロトコルスタック			
	米国		欧州		米国		欧州	
	DSRC	C-V2X	DSRC	C-V2X	DSRC	C-V2X	DSRC	C-V2X
アプリケーション	イベント検出時、メッセージ生成を要求				EEBL, FCW 等 (DSRC:SAE J2945/1 等, C-V2X:SAE J3161/1 等)		Co-operative Awareness, Road Hazard Warning 等 (ETSI TS 102-637-1 等)	
上位層 (レイヤ5~7) に相当	・必要な情報を収集し、メッセージを生成 ・輻輳制御 (帯域制御 (*1))				通信サービス:BSM Exchange 等 (DSRC:SAE J2945/1 等, C-V2X:SAE J3161/1 等), メッセージ:BSM 等 (SAE J2735 等)		通信サービス:CA Basic Service, DEN Basic Service 等 (ETSI TS 102-894-1 等), メッセージ:CAM, DENM 等 (ETSI TS 102-894-2 等)	
トランスポート層 (レイヤ4)	上位層のサービスを特定する情報を追加				WSMP Transport Protocols (IEEE 1609.3)		Basic Transport Protocol (ETSI EN 302 636-5)	
ネットワーク層 (レイヤ3)	実質的な機能なし		ネットワーク上の宛先を特定する情報を追加		WSMP Networking Protocols (IEEE 1609.3)		GeoNetworking (ETSI EN 302 636-4)	
データリンク層 (レイヤ2)	上位層のプロトコルを特定する情報を追加				LLC (IEEE 1609.3)	PDCP (ETSI TS 136 323)	LLC (ISO/IEC 8802-2)	PDCP (ETSI TS 136 323)
	パケットを分割				-	RLC (ETSI TS 136 322)	-	RLC (ETSI TS 136 322)
	複数チャネルの場合、切替を行う				Channel Coordination (IEEE 1609.4)	-	-	-
	・送信元リンクを特定する情報を追加 ・送信タイミング制御 ・輻輳制御 (優先度制御 (*2))				MAC (IEEE 802.11)	MAC (ETSI TS 136 321)	MAC (IEEE 802.11)	MAC (ETSI TS 136 321)
物理層 (レイヤ1)	符号化, 変調を行い送信				PHY (IEEE 802.11)	PHY (ETSI TS 136 201)	PHY (IEEE 802.11)	PHY (ETSI TS 136 201)
セキュリティ層	送信元の真正性とメッセージの完全性を保証する情報 (署名) を追加				電子署名 (IEEE 1609.2)			

(*1) 米国 DSRC の場合, 出力制御あり (*2) 欧州 DSRC の場合, 帯域制御及び出力制御あり

分類	概要	検討モデル
距離特性	通信距離による減衰	ITU-R P.1411 (都市部環境を想定)
シャドウイング	周辺環境の変化による変動	対数正規分布. 標準偏差は, 5.9GHz: 3.68dB
瞬時フェージング	シンボル単位の変動	3GPP Extended Vehicular A model (EVA)
遮蔽損失	送受信間に大型車が存在する場合の減衰	・3GPP TR 38.901 Blockage model B (ナイフエッジ折折によるモデル) ・減衰量は, 隣接する大型車1台の遮蔽に基づく固定値 (40km/h, 車間1秒で5.9GHz: 10dB)



図7 通信性能評価系における電波伝搬モデル例

実証実験をテストコース等で行い, 複数チャネル使用時等の通信性能評価結果を4章のシミュレーション評価結果と比較分析した。

6 まとめ

協調型自動運転の実現に向け, 5.9GHz帯の電波を用いた場合のV2Xシステムの導入に係る課題解決及び検討を加速化するため, その導入に必要な通信プロトコルを含めた無線機の仕様を案出した。

通信プロトコルの案出に向けた検討に際しては, 国際動向 (関連する制度, 規格) 等を踏まえ, 5.9GHz

帯V2Xシステムの通信要件 (通信内容, 通信チャネル, 通信輻輳制御等) を検討した。また, 通信プロトコル案の設計及び無線機仕様の案出に際しては, 電波伝搬特性や通信チャネル間干渉の影響等を考慮した通信シミュレーション評価結果に基づき, 通信手順, プロトコルスタック等の通信プロトコル案, 及び複数ユースケース混在時の共通化や拡張性等のメッセージセット案について検討し, 無線機仕様案に反映した。

案出された通信プロトコルを含めた無線機の仕様をもって, 協調型自動運転の実現に向け, 各研究機関, 各企業で整合を図り, 検討に取り組んでいくことが期待される。

表2 無線機仕様の検討項目例

V2X通信の機能/特性/インタフェースの詳細項目		V2X通信の機能/特性/インタフェースの詳細項目				
一般的条件及び無線設備の技術的条件	一般的条件	データレート	概要	—	—	
		符号化率	レイヤ1サービスインタフェース	サービスプリミティブ	機能 パラメータ	
		チャンネル	レイヤ1通信制御	プロトコルデータ単位 送/受信手順	データフォーマット —	
		変調方式	⋮	⋮	⋮	
	送信特性	空中線電力	レイヤ7の機能	概要	—	—
		空中線電力の許容偏差		レイヤ7サービスインタフェース	サービスプリミティブ	機能 パラメータ
		送信スペクトラムマスク		レイヤ7通信制御	セキュリティプリミティブ	機能 パラメータ
		キャリアオフ時の漏洩電力		プロトコルデータ単位 送/受信手順	データフォーマット —	
		送信スプリアス	⋮	⋮	⋮	
		周波数の許容偏差	レイヤマネジメント エンティティ機能	レイヤマネジメント サービスインタフェース	レイヤ1	機能 管理情報ベース(MIB)
		変調精度		⋮	⋮	⋮
		送信タイミングの精度		レイヤ7	機能 管理情報ベース(MIB)	
	⋮	⋮		⋮	⋮	
	受信特性	受信感度	セキュリティレイヤの機能	⋮	⋮	⋮
		隣接チャンネル除去		⋮	⋮	⋮
		非隣接チャンネル除去		⋮	⋮	⋮
		副次的に発する電波等の限度		⋮	⋮	⋮
	空中線	受信最大入力電力	その他機能	送信要件	ユーースケース a-1-1	通信シーケンス 利用サービス インタフェース 送信パラメータ
		CCA要件			⋮	⋮
		空中線の構造			ユーースケース g-2	通信シーケンス 利用サービス インタフェース 送信パラメータ
空中線の利得		輻輳制御			—	
空中線の偏波	空中線部-送受信部間	物理インタフェース	—	—		
空中線の設置	送受信部-通信制御部間	物理インタフェース	—	—		
⋮	アプリケーション-レイヤ7間	物理インタフェース 論理インタフェース	— —	— —		

【参考文献】.....

- (1) SIP 協調型自動運転ユースケース, 2019年度協調自動運転通信方式検討TF活動報告, 2020.
- (2) SIP 協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ/通信要件の検討資料, ITS FORUM RC-017 1.0版, ITS情報通信システム推進会議, 2022.

【本件問合せ先】.....

沖電気工業株式会社 DX事業推進センター, 〒335-8510 埼玉県蕨市中央1-16-8, 048-431-7211 (代表), 担当: 浅野欽也

日本電気株式会社 クロスインダストリー事業開発部門, 〒108-8001 東京都港区芝5-7-1, 03-3454-1111 (代表), 担当: 木村聡

③ 中域情報の収集・配信に係る研究開発

Research and Development Concerning the Collection and Transmission of Mid-Scale Network Information

斉藤知彦, 滝将太 (エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社)
Tomohiko Saito, Shota Taki (NTT Communications Corporation)

(概要) 将来の自動運転社会の実現に向けて解決すべき課題の一つに、交差点等の複雑な環境下では、自動運転車両側だけではセンシングできない死角が増え、交差点手前で交差点内の安全が確認できるまで停止/徐行することになり、交通流に影響を与えるおそれがあるというものがある。2019年度及び2020年度における研究開発では、交差点周辺のセンサ等からの車、歩行者などの物標情報の収集及び自動運転車両への配信制御などの要素技術の机上検討及びフィールド実証を実施した。2021年度においては、緊急走行車情報や信号予定情報といったより広範な情報への対応、多様なユースケースにおける中域配信への対応を行うとともに、実用化に向けた中域サーバの負荷検証や配信効率等の検証、中域配信システムの有効性評価を実施した。またそれらの成果を踏まえ、V2N中域情報配信を検討する事業者向けの中域サーバ実装ガイドラインを策定した。

キーワード：V2N, V2X, 中域配信システム, 緊急走行車両情報, 信号予定情報, PULL/PUSH配信

1 本研究開発の概要

将来の自動運転社会の実現に向けては、様々な課題を解決する必要がある。その一つに、交差点等の複雑な環境下では、自動運転車両側だけではセンシングできない死角が増え、交差点手前で交差点内の安全が確認できるまで停止/徐行することになり、交通流に影響を与えるおそれがあるという課題がある。

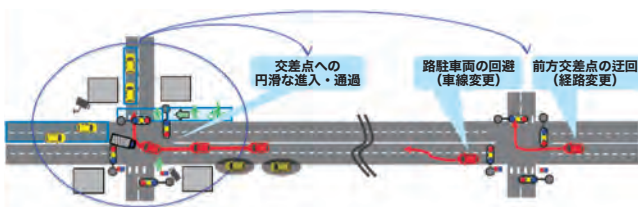


図1 本研究開発で目指す姿・目的

本研究開発では、図1に示すように、その課題解決を目的に、交差点への円滑な進入支援や、路駐車両の回避、さらには前方交差点を回避する経路変更支援などのユースケースを設定し、見通し外の物標情報を複数の情報源から収集・統合して、情報を収集した交差点近傍等の狭域エリアやそこから数交差点離れた地点や市区町村単位等、より広範囲な中域エリアへ配信し、

自動運転車両の交差点における円滑な通過支援や交差点手前で車線変更支援に資する技術の研究・開発を2019年度から実施してきた。2019年度は、路側インフラ等から得られる複数の物標情報を効率的に収集・統合・配信を行うための要素技術の机上検討を、2020年度は実証を実施し、それらの成果を踏まえ、「自動運転車両の支援を行うシステム」を構築する際の共通インタフェース仕様、配信手法、統合手法、エッジサーバの設置基準等を規定した。

実用化に向けては、物標情報だけではなく、自動運転に資するより広範な情報に対応する必要があるとともに、多様なユースケースにおける課題抽出が必要となることが課題とされた。⁽¹⁾

2 2021年度の研究開発内容及びその成果

2021年度の研究開発では、実用化に向けての課題を解決するために、中域における自動運転車両等への情報配信に関する技術の拡張・応用に係る検討を行うとともに、東京臨海部における大規模な実証と連携したユーザ参加型の実証試験を通じて、中域配信システム全体の適応性を確認することで、実用化に向けたよ

り深掘りした検証を実施した。

2.1. 配信に係る技術の拡張・応用に関する検討

中域の配信では、ユースケースに基づき、情報ごとにその即時性の要否や有効な配信範囲を精査し、配信方法を検討する必要がある。本研究開発では、上記に加え、配信方式 (PULL/PUSH) の特性を考慮して、実証実験において各配信情報に適用する配信方式、通信プロトコル、配信エリア、配信頻度について検討した。

(1) 想定ユースケースに対する配信手法の検討

まず、今回配信対象とする各情報について、想定するユースケースとそれに求められるリアルタイム性を表1のように整理し、表2の配信方式の特性と照らし合わせて、適切な配信方式を検討した。

表1 配信情報の想定ユースケース等

情報	想定UC	リアルタイム性
降雨情報	手動運転へのハンドオーバー/アンダーパスを回避(ルート変更)	低
車線別道路交通情報	中域・広域での渋滞・規制を回避(ルート/パス変更)/渋滞末尾を確認し事前減速	低
緊急走行車情報	緊急車両の接近を感知し徐行・停車	高
信号予定情報	ジレンマ回避/信号機が死角になる場合の補助/最適なルート・速度の調整	中・高

表2 各方式での配信に適した情報の特徴

配信方式	適した情報利用シーン	適した情報種別	配信情報のリアルタイム性
PULL方式 : ユーザのリクエストに応じ情報を配信	広範囲かつ多量な情報から必要な情報を受け手が選択して活用する場合	静的情報 準静的情報 準動的情報	低
PUSH方式 : 配信側から対象となる車両に情報を配信	イベントの発生時や早い周期で情報を配信したい場合	動的情報	高

車線別道路情報や降雨情報に関しては、更新頻度が低いいため、配信先の車両が必要な時に必要なタイミングで取得するPULL方式が適切である一方、緊急走行車情報や信号予定情報は、情報に対し即座に対応する必要があるため、サーバ側から車両に必要な情報を配信するPUSH方式が適切であるという整理を行った。

特にPUSH方式においては、個々の車両に高頻度で配信することでデータ量の増加が見込まれるため、本研究開発では緊急走行車情報と信号予定情報を中心に検討を行った。なお、信号予定情報については、距離指定方式と交差点指定方式の2つの配信方式を実装した。

(2) 中域配信で用いる通信プロトコル

中域配信で用いる通信プロトコルは、MQTTを採用した。MQTTプロトコルはPublish/Subscribe型のモデルを採用し、シンプルで軽量、高速かつライブ

ラリが豊富であることが特徴であり、多数のデバイスの中で、短いメッセージを頻繁に送受信することを想定して作られたプロトコルである。また、Topicによって配信の振り分けが容易であること、IoTでの利用実績が豊富である点など、他のプロトコルと比較して優位点が多くあり、本実証に最適であると考えられるため採用した。また、QoSの設定により、クライアントとブローカ間の到達保証を設定することも可能である。MQTTを用いた中域サーバのシステム構成図を図2、ソフトウェア構成図を図3に示す。

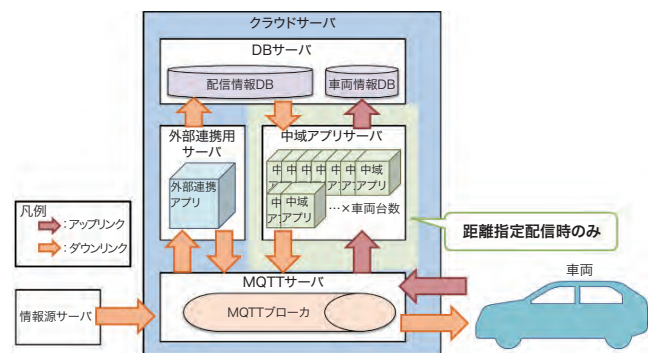


図2 中域サーバ システム構成図

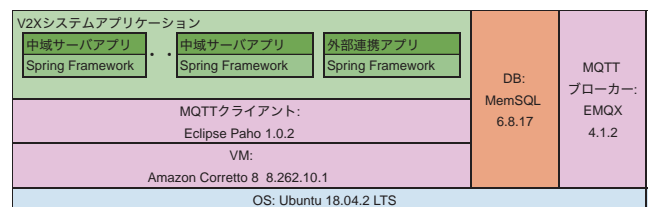


図3 中域サーバ ソフトウェア構成図

(3) 中域サーバアプリの構成検討

PUSH配信では、各車両の位置情報に基づき近傍の情報に絞り込んで配信を行うため、中域サーバアプリを実装した。車両ごとに検索する内容が異なるため、車両1台につき1アプリが起動する構成とした。この構成を採用することにより、また、情報の更新から配信にかかる遅延を削減するため、1秒ごと（パラメータ変更可）にサーバ側から情報を配信し、MQTTのTopicは車両ごとにユニークな値とした。実装にはJavaのSpring Frameworkを採用した。

(a) 緊急走行車情報

緊急車両に関しては、後方や見通し外からの緊急車両の接近にリアルタイムで対応する必要がある一方、遠方にあるものは車両の走行に影響しない。そのため、図4のように、車両の周囲一定範囲内の緊急走行車情報をPUSH配信することを検討した。

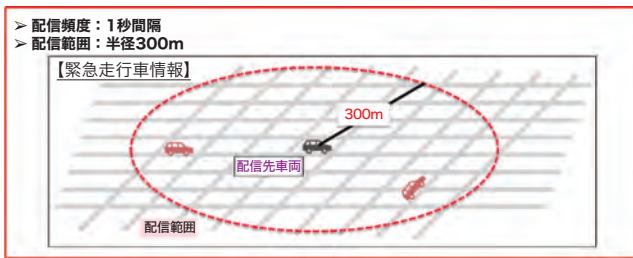


図4 緊急走行車情報の配信頻度及び配信範囲

(b) 信号予定情報 (距離指定方式)

信号予定情報の配信は、逆光や遮蔽などにより信号灯色を目視で確認できない場合や、事前に情報を受信することにより、交差点でのジレンマ回避や効率の良いルートプランニングやグリーンウェーブ走行を支援すること等を想定して検討された。距離指定方式では通信トラフィック削減のため、図5のように配信車両の進行方向の矩形内に絞り込んで信号予定情報の配信を行う。

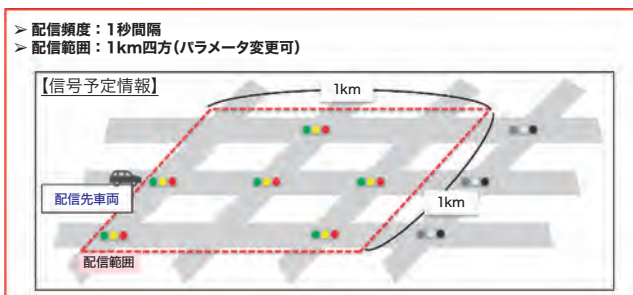


図5 信号予定情報の配信手法(距離指定方式)

(c) 信号予定情報 (交差点指定方式)

交差点指定方式は、交差点ごとに信号予定情報の更新タイミングでPUSH配信し、図6のように車両側で自らの進行ルート上及び分岐ルート上の交差点を指定して信号予定情報を受信し続ける方式である。

車両が新たに交差点を指定した場合、過去に配信された信号予定情報の最新のものを配信する。また、不要になった交差点は受信を停止する。

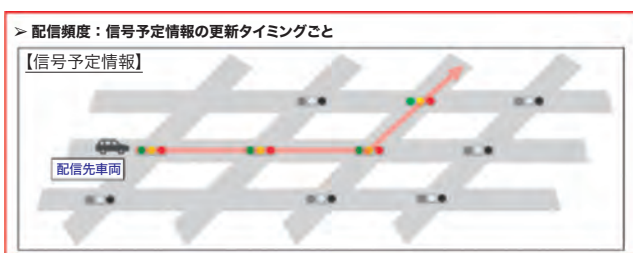


図6 信号予定情報の配信手法(交差点指定方式)

この方式は以下のように実現した。情報源サーバから中域サーバに配信された信号予定情報は、各交差点を識別する交差点IDをTopicとしてPublishする。車

両がSubscribeを開始したときにMQTTのRetain機能で即時最新情報を配信し、車両がSubscribeしている間は、情報が更新されたタイミングで配信される。

この方式では、車両側で情報が必要な交差点を指定する必要があるが、サーバ側の車両ごとの処理がないため、サーバ負荷が軽減される。また、配信タイミングがSubscribe開始時と信号予定情報の更新タイミングごとになるため、配信頻度を削減し、通信量の低減も可能である。

2.2. 実用化時システム構成の実現性検討

中域配信システムの実用化に向けて、中域サーバの負荷検証及び通信トラフィック検証を行い、中域配信システムの有効性評価を行った。

(1) PUSH 配信に際してのサーバ負荷検証

模擬緊急走行車情報や信号予定情報を車両へ配信する際の中域サーバの負荷検証を、配信車両台数に基づいて、表3の構成を用いて実施した。

表3 検証用サーバのスペック一覧

サーバ名称	vCPUコア数	メモリ(GB)
DBサーバ	4	16
外部連携サーバ	2	8
中域アプリサーバ	8	56
MQTTサーバ	4	16

2.1節(3)で述べたとおり、緊急走行車情報と信号予定情報の距離指定方式においては、車両1台ごとにサーバアプリを1台起動する実装とした。しかし、リソースの消費が激しく、本環境においては70台より多いサーバアプリの起動時、CPUの不足によりそれ以上の起動が不可能となった。これは、1台ごとに1アプリが起動していることのほか、アプリごとにSpring Frameworkが動いていること、アプリそれぞれが1秒ごとに配信処理を行っていることなどの原因が考えられる。

それに対し、信号予定情報の交差点指定方式は、前述の要因が排除されているため、距離指定方式に比べ

表4 中域サーバ配信時のCPU/メモリ使用率

負荷検証 処理遅延検証 (平均)	中域サーバ CPU最大 使用率	中域サーバ メモリ最大 使用率	MQTT サーバ CPU最大 使用率	MQTT サーバ メモリ最大 使用率
	70台へ同時に配信			
〔配信方式〕 模擬緊急車両位置情報 距離指定	46.58%	58.14%	2.75%	2.42%
	50.19%	58.02%	8.77%	2.47%
			3.23%	2.38%

サーバ負荷が軽減された。MQTTサーバにおいても、サーバ負荷の増加は見られなかった。車両70台へ配信した際のCPU／メモリ使用率を表4に示す。

(2) PUSH配信に際しての通信トラフィック検証

中域サーバから車両へPUSH配信する際の配信方式の違いによる通信トラフィックの差を机上検証した。このとき、検証対象として、距離指定方式と交差点指定方式の両方を備えている信号予定情報を採用した。

表5に示すとおり、配信交差点数が同じ場合、距離指定方式は情報の更新が遅延しないよう高頻度で配信するのに対し、交差点指定方式の配信頻度は信号予定情報の更新時のみになるため、配信データ量を100分の1以下に減らせることがわかった。したがって、通信トラフィックの観点では、交差点指定方式が有利である。

表5 信号予定情報 通信トラフィック量机上検証結果

中域サーバ → 車両	配信手法	配信交差点数 (箇所)	配信頻度	配信先 車両台数(台)	1時間あたり 通信回数(回)	1時間あたり 配信データ量
	信号予定 情報 (距離指定)	12 (1km ²)	1秒		258 (※)	928,800
信号予定 情報 (交差点指定)	12	120秒 (信号サイクル長)	7,740	約9.68MB		

※東京都の1km²あたりの平均車両台数 2022年度算出

(3) 配信システムの実現性検討

中域配信システムの実用化に向けて、より大規模で配信するために必要となる中域サーバ費用を算出し、その実現性を考察した。

2.2節(1)の算出結果をもとに、仮にマイクロソフト社のAzureのサーバを用いたときの、車両に配信する場合のコスト試算をした。表6に示すとおり、交差点指定方式の配信車両1台あたりのコストは、距離指定方式に比べ100分の1以下に抑えられることがわかった。

表6 対応可能な台数と1台あたりのサーバ費用試算

情報	Azure D96ads v5 1構成(1台)で 対応可能な台数	車両1台あたりの サーバ費用
緊急走行車情報 信号予定情報(距離指定)	車両約840台分	188円/月
信号予定情報 (交差点指定)	車両約88,800台分	1.78円/月

2.3. 実用化に向け具備すべき機能等の考察

将来的に全国展開することを見据え、大規模エリアへの情報配信の実用化に向けた検討を行う場合に、考

慮すべき機能や課題となる点についてまとめた。

(1) 要件の見直し

配信車両一台あたりのコストを更に下げするためには、より効率的な配信に向けた諸要件(配信手法／機能配置等)を見直す必要がある。今回のサーバ負荷検証により、各情報とも配信先車両ごとの配信制御はサーバの負荷が大きいことが判明した。そのため、例えば、信号予定情報であれば交差点を基準とする交差点指定方式、緊急走行車情報であれば、図7のように配信先車両ではなく、緊急車両を基準に周囲一定範囲内を走行する車両へ配信するなど、ユースケースも含めた配信方法の見直しを行う必要がある。

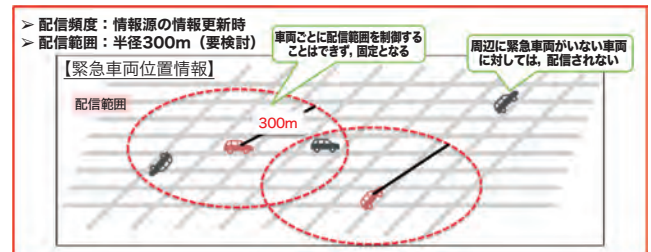


図7 緊急走行車情報を基準に周囲一定範囲内を走行する車両への配信方式案

(2) 実装を見据えたシステムの構築

大規模配信を見据えた中域配信システムの構築のためには、全体システムアーキテクチャの検討が必要である。例えば、図8のように複数配信サーバから空きサーバを指定する機能の追加、アプリケーションの最適化によりリソースの効率化を図る、冗長性やセキュリティなどの非機能要件を実装するなど、可用性、スケーラビリティを見据えた更なる検討が必要である。

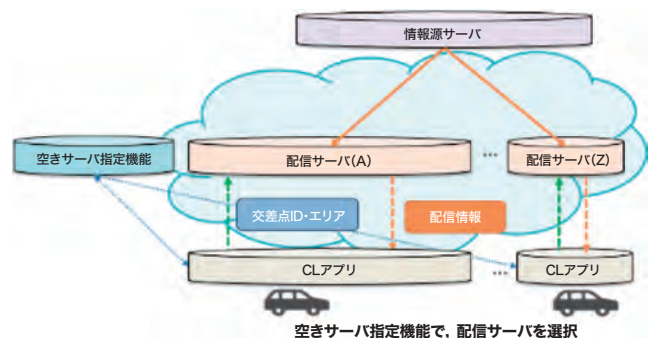


図8 空きサーバを活用可能とするための複数の配信サーバ指定案

(3) 中域サーバ実装ガイドラインの策定

本研究開発の成果を踏まえ、中域サーバを構築・検討する際にあらかじめ検討が必要な事項を取りまとめるとともに、V2Nの仕組みを活用して車両に中域の

情報配信を検討する事業者向けの中域サーバの情報配信に係る実装ガイドラインを策定した。事業者としては、例えばOEM、コンテンツプロバイダ等が考えられる。

3 終わりに

2021年度の研究開発では、中域配信システムの全国での利用・展開を見据え、配信に係る技術の拡張・応用に関する検討と大規模な実証実験を通じた評価を実施した。

今後は、本研究開発成果の実用化に向けた動きを加速化するとともに、本研究開発を通じて得られた知見を、ガイドライン等を通して様々な分野で展開・活用を行っていきたいと考えている。

【参考文献】

- (1) 油川雄司：SIP第2期「自動運転（システムとサービスの拡張）」中間成果報告書（2018-2020），p.43-49，2021.09，https://www.sip-adus.go.jp/file/rd03/chapter2_s.pdf（参照 2022.11）

【本件問合せ先】

エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社 ビジネスソリューション本部 第二ビジネスソリューション部 第八グループ，〒100-8019 東京都千代田区大手町2-3-1，050-3463-5532，担当：滝将太