

「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）  
／協調型自動運転のユースケースを実現する5.9GHz帯V2Xシステムの通信プロトコルの検討」

## 2022年度成果報告書 概要版

沖電気工業株式会社  
日本電気株式会社

2023年03月

# 検討スコープ

## ■ 全体概要

- 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予想される通信技術を想定した上での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、その導入に必要となる通信プロトコルを含めた無線機の仕様を案出した。

## ■ 実施項目と成果概要

- 上記の中長期的な視野を踏まえ、下記の調査検討項目a)～d)を実施した。

### 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、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

- ▶ 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。

---

## a) 国際動向調査

---

# 国際動向調査

## ■ 通信プロトコルの検討に関する欧米中の標準化団体の通信仕様化動向を取りまとめ

[主な調査対象ドキュメント]

		SAE		ETSI		CCSA (中国通信標準化協会)
全体		[DSRC] SAE J2945; <i>Guidance</i>	[C-V2X] SAE J3161; <i>Profiles</i>	[DSRC] ETSI TS302 665; <i>Communication architecture</i>	[C-V2X] ETSI TS103 723; <i>LTE-V2X Profile</i>	[C-V2X] YD/T 3400; <i>General Requirements</i>
プロファイル	アプリケーション・ファシリティ	[BSM他] SAE J2735; <i>Message Set Dictionary</i> ※BSM, ICA, MAP, PSM, SPaT等含む。CPM等検討中		[CAM/DENM] ETSI EN302 637; <i>Basic Set of Applications</i> ※SPAT, MAP, VAM等別途。CPM等検討中		[BSM/他] YD/T 3709; <i>Message Layer</i>
	トランスポート・ネットワーク	[WSMP] IEEE 1609.3; <i>WAVE Networking services (WAVE short message protocol)</i>		[GeoNetwork] ETSI EN302 636-5; <i>GeoNetworking; Basic transport protocol</i>		[DSMP] YD/T 3707; <i>Network layer (Dedicated short message, Adaptation Layer)</i>
	アクセス	[DSRC] IEEE 1609.4; <i>Multi-channel operation</i>  IEEE 802.11p	[C-V2X] 3GPP TS23.285; <i>(LTE V2X PC5)</i> (cf. 3GPP TR 21.914)	[DSRC] ETSI EN302 636-4-1; <i>Addressing/forwarding</i>	[C-V2X] ETSI TS102 636-4-3; <i>Addressing/forwarding</i>	[C-V2X] YD/T 3340; <i>Air interface of LTE-based vehicular communication</i>
運用方式	輻輳制御	[DSRC] SAE J2945/1; <i>On-Board System</i>	[C-V2X] SAE J3161/1; <i>On-Board System</i>	[DSRC] TS102 687; <i>Decentralized Congestion Control</i>	[C-V2X] TS103 574; <i>Congestion Control Mechanisms</i>	[C-V2X] (3GPP C-V2Xを参照；ETSI TS 103 574と同様と想定)
	セキュリティ	[Security] IEEE 1609.2; <i>WAVE Security Services</i> IEEE 1609.2.1; <i>Certificate Management</i> SAE SS V2X 001; <i>Security Specification</i> SAE J2945/5; <i>Service Specific permissions</i>		[Security] <i>ITS communications; security</i> TS102 940; <i>architecture</i> TS102 941; <i>trust/privacy</i> TS102 942; <i>access control</i> TS102 943; <i>confidentiality</i> TS102 731; <i>Security Services and Architecture</i> TS103 097; <i>Security header/certificate format</i>		[Security] YD/T 3594; <i>General technical requirements of security for vehicular communication based on LTE</i>

# 国際動向調査

## ■ 調査結果 (1/2)

### ● 欧米では新たなサービスに関する検討と標準化が進展

- ▶ BSM、CAM/DENM等の基本的なメッセージを利用するサービスに加え、歩行者等（VRU）の安全に資するようなメッセージ等についてもSAEやETSIにおいて標準化
- ▶ 協調認識としてセンシングデータ等の共有のメッセージ（CPS/CPM）、車両の走行調整のメッセージなどについても標準化が進展中
- ▶ そうしたサービスに関する動向について、引き続き調査を行っていく必要がある

### ● 通信や制御に関する標準化は一通り整備

- ▶ LTE-V2XやDSRC（802.11p）に関する標準は一通り整備されてきているが、NR-V2Xあるいは802.11bdなどの新しい通信の利用に関してはまだ開発途上であり、今後も標準化等の動向について動向を把握する必要がある
- ▶ また、新たなサービスによるニーズ（例えば、VRUへの適用による通信トラフィックの増加、データシェアリングによる通信量の増加等）の変化から、制御方法の検討や標準化も引き続き行われると考えられ、そうした動向についても注視していく必要がある

### ● SIPユースケース及びメッセージ仕様との比較（次表参照）

- ▶ ユースケース区分、当該メッセージ仕様の考え方に日本と欧米での大きな違いはなく、通信や制御に関する標準化仕様を参考にすることで問題はない

# 国際動向調査

## ■ 調査結果 (2/2)

### ● SIPユースケース及びメッセージ仕様との比較 (つづき)

- ▶ 調停、ネゴに関するメッセージは欧米で検討中であり、引き続き仕様調査し今後の通信仕様策定を進めていく必要がある

日本 (SIPユースケース)		米国		欧州	
ユースケース	メッセージ	ユースケース	メッセージ	ユースケース	メッセージ
a-1-1	位置情報メッセージ	(検討中)	(検討中)	○	○
a-1-2	位置情報メッセージ	(検討中)	(検討中)	○	○
b-1-1 (V2I)	信号情報メッセージ	○	○	○	○
c-1	ユースケースc-1メッセージ	○	○	○	○
c-2-1 (V2V)	ユースケースc-2-1メッセージ	○	○	○	○
c-2-2 (V2I)	ユースケースc-2-2メッセージ	○	○	○	○
c-3	ユースケースc-3メッセージ	○	○	○	○
e-1	ユースケースe-1メッセージ	(BSMIを含む)	○	○	○
a-1-3	位置情報メッセージ 調停/更新メッセージ	(検討中)	(検討中)	○	(検討中)
a-1-4	調停/更新メッセージ	(検討中)	(検討中)	○	(検討中)
a-2	調停/更新メッセージ	(検討中)	(検討中)	○	(検討中)
a-3	調停/更新メッセージ	(検討中)	(検討中)	○	(検討中)

○ : SIPユースケースの内容と同等、もしくは相当

---

## b) 通信プロトコルの案出に向けた検討

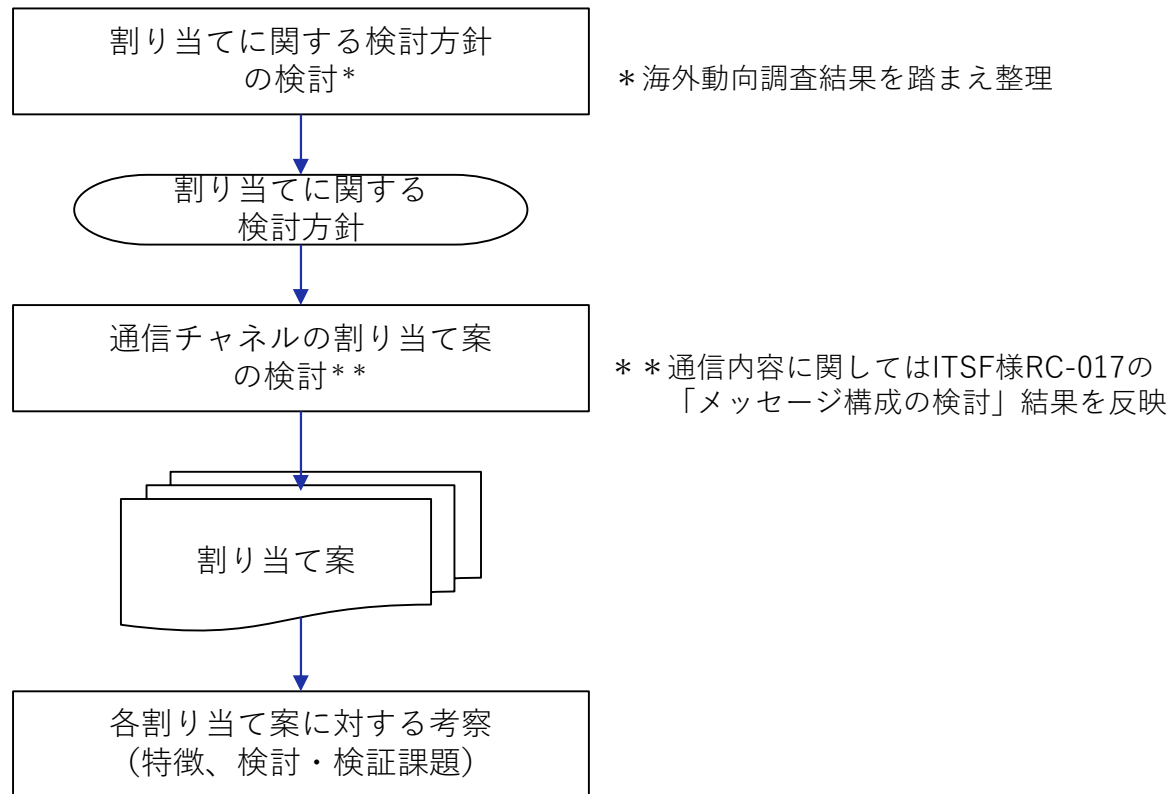
### 1)通信チャネルの割り当て

---

# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 通信チャネルの割り当て

### ● 検討手順





# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 通信チャネルの割り当て

### ● 割り当てにおける検討方針

- ▶ 5.9GHz帯、30MHz幅を前提とし、RC-017の通信要件、メッセージ仕様に基づき、以下の方針を以て割り当て案を検討
  - ① V2IユースケースとV2Vユースケースは場面が異なることから、原則、別のチャネルを利用する
  - ② 調停・ネゴは多数のやりとり（時々可変）が発生することから、原則、同報とは別のチャネルを利用する
  - ③ 車両において緊急的に発生する事象（急ブレーキ等）は確実に伝達すべきことから、原則、別のチャネルを利用する

基本的なメッセージのグループ分け案

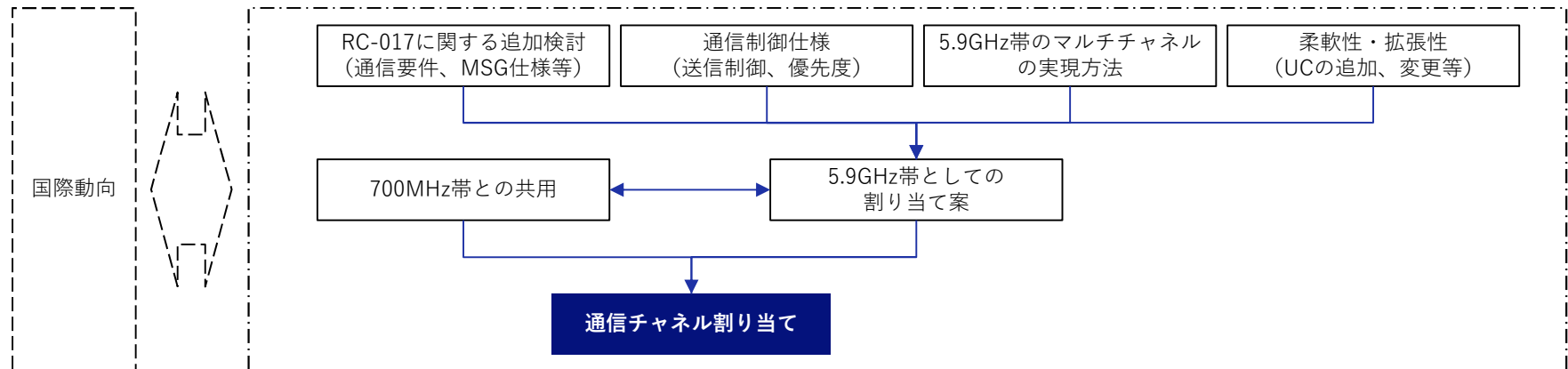
		V2I	V2V
同報	連続	車両が路側機からの同報を受信 <b>グループA</b> a-1-1. 予備加減速合流支援 a-1-2. 本線隙間狙い合流支援 b-1-1. 信号情報による走行支援 (V2I) c-2-2. 交差点の情報による走行支援 (V2I)	車両が時々刻々と自車位置や速度などを同報 <b>グループC</b> c-2-1. 交差点の情報による走行支援 (V2V) e-1 (1). 緊急車両の情報による走行支援 (V2V)
	緊急		車両が緊急制動時に制動内容を同報 <b>グループD</b> c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援 (V2V) c-3. ハザード情報による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

# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 通信チャネルの割り当て

### ● 検討結果

- ▶ 割り当て案は次表（1/3～3/3）のとおり
- ▶ 以下の事項等を踏まえ、今後の通信仕様策定を進めていく必要がある
  - ・複数のユースケースの同時発生、ユースケース間の連携等を考慮し、通信要件（周期、品質等）の追加検討結果を踏まえた検討
  - ・通信制御仕様（送信制御、優先度）を踏まえた検討
  - ・無線機における、5.9GHz帯のマルチチャネルの実現方法
  - ・700MHz 帯高度道路交通システムとの共用
- ▶ 今後の検討手順案

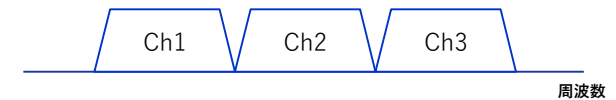


# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 通信チャンネルの割り当て

### ● 割り当て案 (1/3)

[案1～案4：周波数アロケーション例]



通信形態	グループ	案1	案2	案3	案4
V2I	グループA: 路側機からの同報	Ch1(10MHz幅)	Ch1(10MHz幅)	Ch1(10MHz幅)	Ch1(10MHz幅)
	グループB: 路側機による調停			Ch2(10MHz幅)	
V2V	グループC: 車両からの同報(連続)	Ch2(10MHz幅)	Ch2(10MHz幅)	Ch1(10MHz幅)	Ch2(10MHz幅)
	グループD: 車両からの同報(緊急)	Ch3(10MHz幅)		Ch3(10MHz幅)	Ch3(10MHz幅)
	グループE: 車両同士によるネゴ	Ch2(10MHz幅)	Ch3(10MHz幅)	Ch4(10MHz幅)	Ch4(10MHz幅)
考え方	特徴(Pros/Cons)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車両緊急メッセージを単独でCh3に割り当て</li> <li>・Ch2の通信量大</li> <li>・調定車両台数が多い時、Ch1の通信量大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車両同士によるネゴを単独でCh3に割り当て</li> <li>・Ch2のグループC,Dの通信の可能性</li> <li>・調定車両台数が多い時、Ch1の通信量大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・路車間の調停、車両緊急メッセージ、車両同士によるネゴをそれぞれ単独でCh2,3,4に割り当て</li> <li>・Ch1の通信量大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各V2Vメッセージを単独でCh2,3,4に割り当て</li> <li>・調定車両台数が多い時、Ch1の通信量大</li> </ul>
	検討・検証課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グループC,Eに対する通信制御の最適化</li> <li>・調定車両台数が多い時、路側機からの送受信シーケンス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グループC,Dに対する通信制御の最適化</li> <li>・調定車両台数が多い時、路側機からの送受信シーケンス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グループA,Cに対する通信制御の最適化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調定車両台数が多い時、路側機からの送受信シーケンス</li> </ul>

# 通信プロトコルの案出に向けた検討

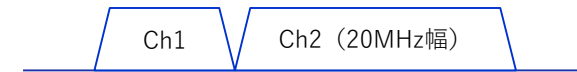
## ■ 通信チャンネルの割り当て

### ● 割り当て案 (2/3)

[案5：周波数アロケーション例]



[案6～案9：周波数アロケーション例]



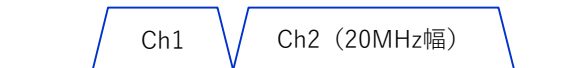
通信形態	グループ	案5	案6
V2I	グループA: 路側機からの同報	Ch1(30MHz幅)	Ch1(10MHz幅)
	グループB: 路側機による調停		
V2V	グループC: 車両からの同報(連続)		
	グループD: 車両からの同報(緊急)		Ch2(20MHz幅)
	グループE: 車両同士によるネゴ		
考え方	特徴(Pros/Cons)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・今後のユースケース、メッセージに対する柔軟性、拡張性を有する</li> <li>・スペクトル効率大が期待できる</li> <li>・上位層における通信制御の複雑化</li> <li>・C-V2Xの30MHz幅はNR-V2Xでの適用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・V2I、V2Vでチャンネルを切り分け</li> <li>・通信量大、また通信量の変動大が想定されるV2Vに対し20MHzを割り当て</li> <li>・Ch2としてスペクトル効率大が期待できる</li> <li>・Ch2の上位層における通信制御の複雑化</li> <li>・調定車両台数が多い時、Ch1の通信量大</li> </ul>
	検討・検証課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・路側システム、車載システムにおける通信制御仕様の共通仕様化</li> <li>・チャンネル利用率の最大化検討 ex.C-V2Xにおけるリソースブロック(RB)サイズの最適化等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・V2I、V2Vのそれぞれでの通信制御仕様化、あるいは共通仕様化</li> <li>・調定車両台数が多い時、路側機からの送受信シーケンス</li> </ul>

# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 通信チャネルの割り当て

### ● 割り当て案 (3/3)

[案6～案9：周波数アロケーション例]



通信形態	グループ	案7	案8	案9
V2I	グループA: 路側機からの同報	Ch2(20MHz幅)	Ch2(20MHz幅)	Ch1(10MHz幅)
	グループB: 路側機による調停	Ch1(10MHz幅)		
V2V	グループC: 車両からの同報(連続)	Ch2(20MHz幅)	車両基本情報: Ch1(10MHz) 車両基本情報以外: Ch2	車両基本情報: Ch2(20MHz幅) 車両基本情報以外: Ch1
	グループD: 車両からの同報(緊急)		Ch2(20MHz幅)	Ch1(10MHz幅)
	グループE: 車両同士によるネゴ	Ch1(10MHz幅)		
考え方	特徴(Pros/Cons)	<ul style="list-style-type: none"> <li>同報と調停&amp;ネゴを分けてCh2,1に割り当て</li> <li>Ch2としてスペクトル効率大が期待できる</li> <li>Ch1,2の上位層における通信制御の複雑化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ユースケース間の移行にも対応しやすい(例: a-1-3→a-1-4)</li> <li>イベント系メッセージに余裕を持たせた割り当て</li> <li>Ch2としてスペクトル効率大が期待できる</li> <li>Ch2の上位層における通信制御の複雑化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ユースケース間の移行にも対応しやすい(例: a-1-3→a-1-4)</li> <li>Ch2としてスペクトル効率大が期待できる</li> <li>Ch1の上位層における通信制御の複雑化</li> <li>調停車両台数が多い時、Ch1の通信量大</li> </ul>
	検討・検証課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>V2I、V2Vのそれぞれでの通信制御仕様化、あるいは共通仕様化</li> <li>調停&amp;ネゴ車両台数が多い時、送受信シーケンス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>V2I、V2Vのそれぞれでの通信制御仕様化、あるいは共通仕様化</li> <li>調停&amp;ネゴ車両台数が多い時、送受信シーケンス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>V2I、V2Vのそれぞれでの通信制御仕様化、あるいは共通仕様化</li> <li>調停&amp;ネゴ車両台数が多い時、送受信シーケンス</li> </ul>

---

## b) 通信プロトコルの案出に向けた検討

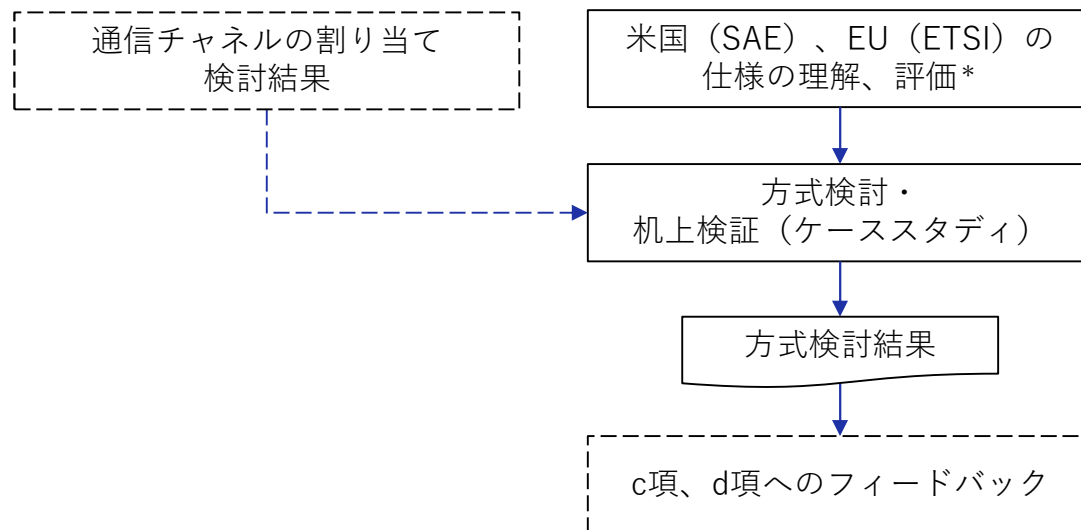
### 2) 上位層における通信制御方式

---

# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 上位層における通信制御方式

### ● 検討手順



\* 海外動向調査の結果を踏まえ整理

# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 上位層における通信制御方式

### ● 検討結果 (1/2)

- ▶ 米国 (SAE)、EU (ETSI) の仕様を参考に、あるべき姿としての上位層における通信制御方式を案出 (下表参照)

送信タイミング判断の各機能要件に対するケーススタディを踏まえた通信制御実現イメージは次図のとおり

米国 (SAE)、EU (ETSI) の仕様との比較

通信制御機能要件		方式案	SAE (BSM)	ETSI (CAM)
送信タイミング判断	自車情報	○	—	○
	クリティカルイベント	○	○	—
	走行環境	○	—	—
	周辺車両密度	○	○	—
	周辺通信状況	○	—	△ (DRSCのみ)
優先度制御	○	○	○	
送信電力制御	(今後検討)	△ (DRSCのみ)	—	

○：機能を有する、△：限定的な機能を有する

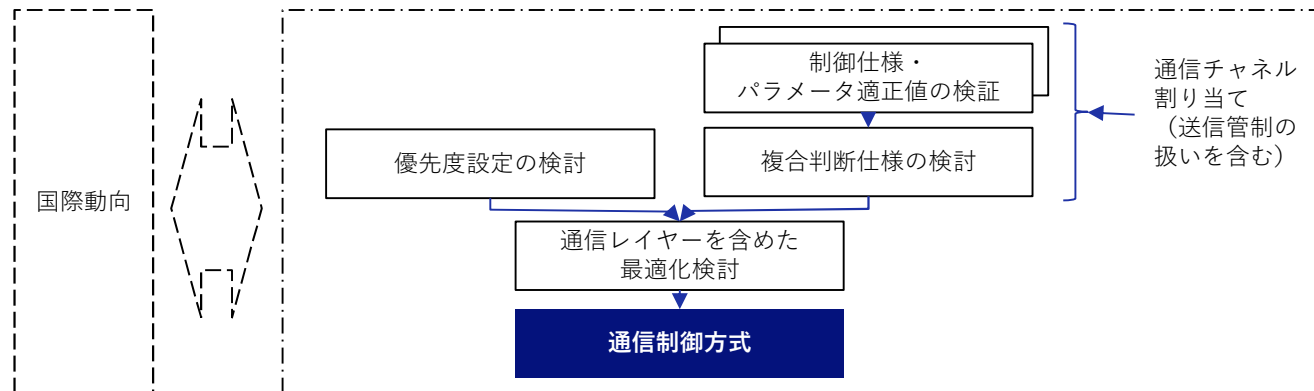


# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 上位層における通信制御方式

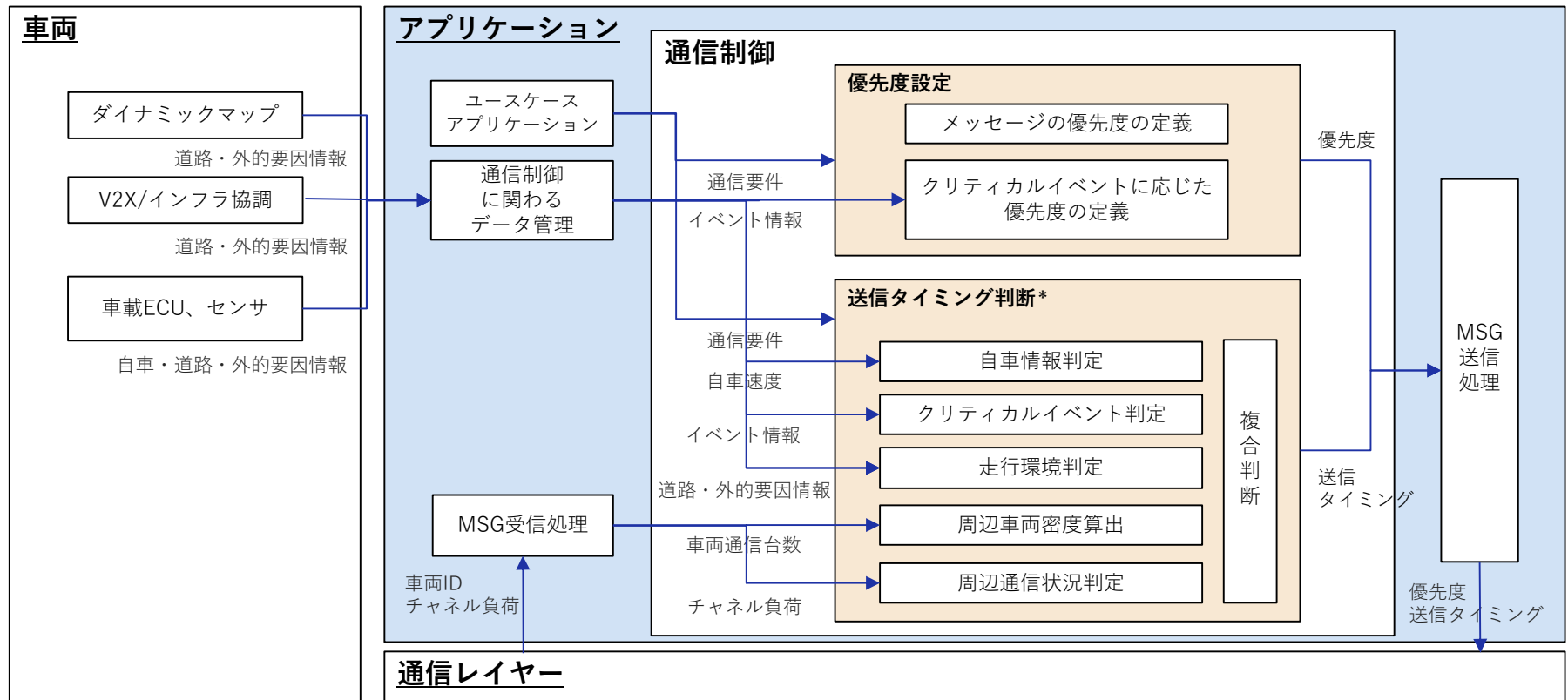
### ● 検討結果 (2/2)

- ▶ 方式案の送信タイミングの機能要件に対する机上検証（ケーススタディ）を通じ、各機能要件とも車両密度条件下（時速20km/h～70km/h、1秒車間）において、通信容量の抑制を確認
- ▶ 以下の事項等を踏まえ、今後の通信仕様策定を進めていく必要がある
  - ・様々なケーススタディを通じた制御仕様及びパラメータ適正值の検証
  - ・複数の送信タイミング判断要件に関する複合判断仕様の検討
  - ・通信レイヤーでの通信制御を含めた全体での最適化検討
- ▶ 今後の検討手順案



# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 通信制御実現イメージ（機能ブロック図）



\* 送信タイミング判断：送信イベントを生成し、通信レイヤーに通知する機能

---

## b) 通信プロトコルの案出に向けた検討

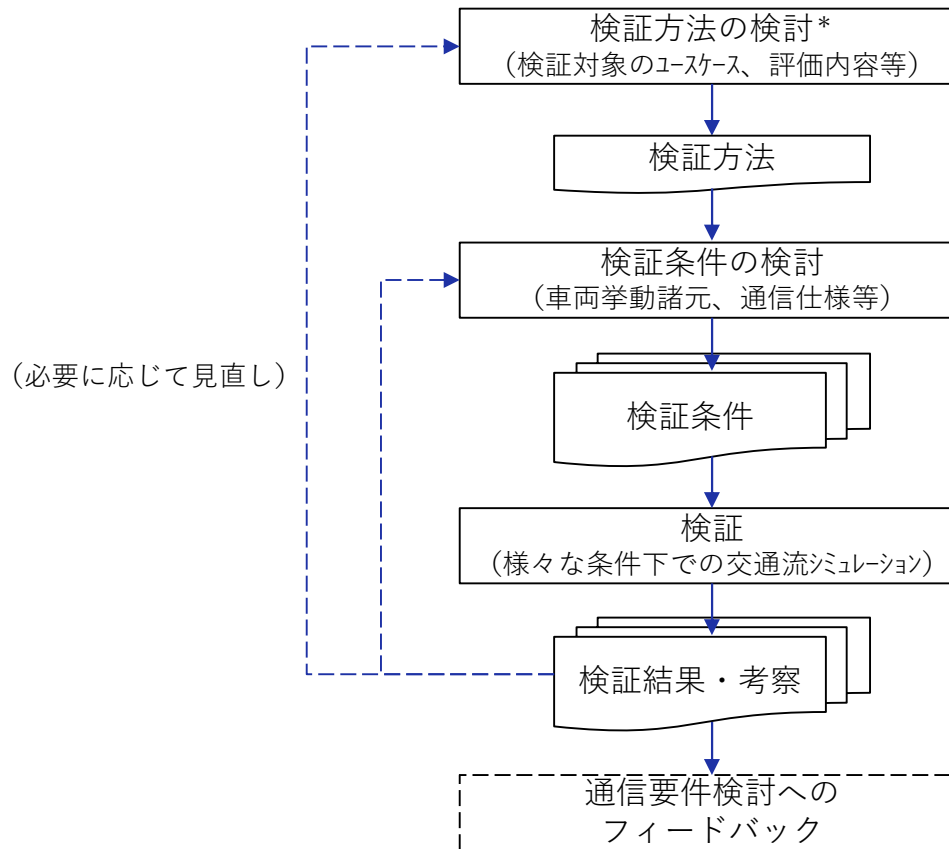
### 3)交通流シミュレーションを通じた効果検証

---

# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 交通流シミュレーションを通じた効果検証

### ● 検討手順



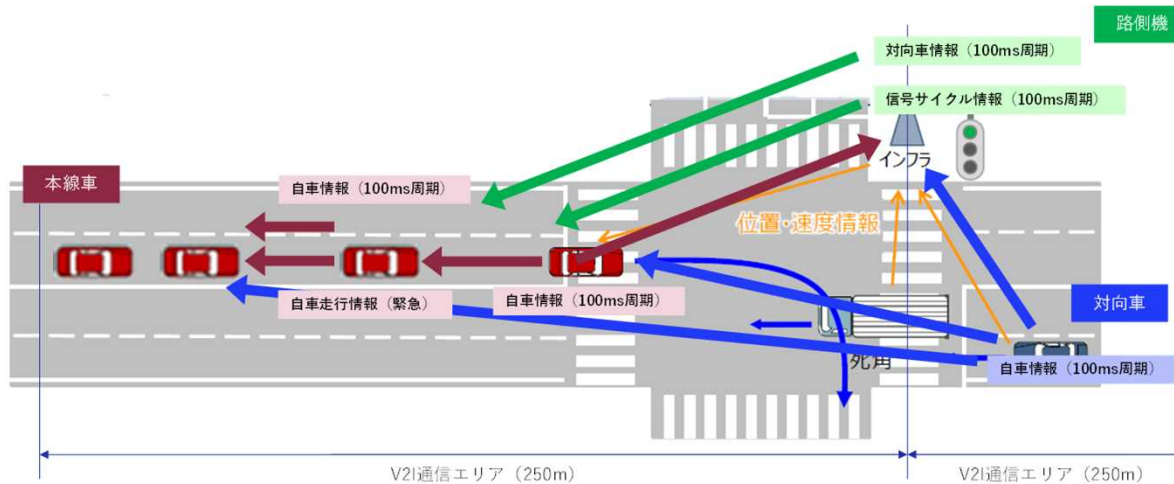
\* 自動運転車／非自動運転車の車両挙動制御方法案を含む

# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 交通流シミュレーションを通じた効果検証

### ● 検証対象とするユースケース

- ▶ SIPユースケース c-1（前方での急停止、急減速時の衝突回避支援）
- ▶ 先頭車両から後続車両に通知し早めの減速等を促すものとして、その際の後続車両の車両挙動（減速度、加加速度）を評価



交差点周辺での通信例

### 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

機能分類	c. 先読み情報：衝突回避		
ユースケース名	c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援		
対象場所	高速道路+一般道	対象車両	オーナーカー
概要	急ブレーキ情報および位置や速度の情報を、急減速した車両から後続車両に提供し、あらかじめ停止や減速を促すことで玉突き事故を防止する。		
ユースケースイメージ			
自動運転車の前方を走行する車両が死角になり急減速車をセンシングできない状態			
通信	V2V	メッセージ	急ブレーキ情報
接続形態	1対多	センサーデータ	位置、速度
制御用途	速度調整、停止	リッチコンテンツ	—
必要性	要	データ量	小
留意事項 (通信要件等)		データ区分	

# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 交通流シミュレーションを通じた効果検証

### ● 検証結果

- ▶ 5.9GHz帯V2X システムの効果（検証結果例は次図参照）
  - ・安全性としての「減速度」に加え、乗り心地としての「加加速度」の視点での評価を実施
  - ・通信により先行車の急減速を検知し後続車が予備的に減速することで後続車は、「減速度」ピークが緩和され、安全に停止できる効果がある
  - ・「加加速度」ピークが小さくなり、乗員が感じる不安感を減少する効果がある
  - ・通信のあり／なしでの比較では、「減速度」よりも「加加速度」の方がより顕著な違いがみられた
- ▶ 通信仕様（受信タイミング）の違いによる影響
  - ・メッセージ受信タイミングの違い（数100ms）に対し、車両挙動として大きな影響はなし
  - ・今回想定した受信タイミングの遅延範囲（100～500ms）では、車群先頭車（0台目）の直後（1台目）は、遅延が500msまで大きくなると、それより前に先行車への追従による減速伝播が生じるため、予備的な減速の効果が減少する
  - ・車群の2台目以降では、受信時機の違いによる変化は認められない
  - ・情報なしのケースで先行車の減速伝播に1～数秒かかっているため、最大500msの遅延であっても、十分に早期の予備的な減速を行うことができるためと考えられる

# 通信プロトコルの案出に向けた検討

## ■ 交通流シミュレーションを通じた効果検証

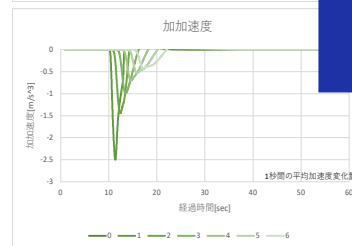
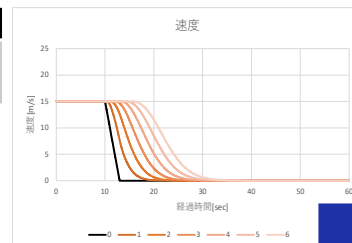
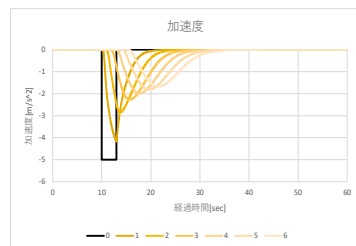
### ● 通信なし／通信ありでの検証結果例

▶ 通信ありの方がゆるやかな減速が実現し、通信による効果を確認

[ケース0：自動運転車（通信なし）]

	1台目	2台目	3台目	4台目	5台目	6台目
受信時機[ms] (車群先頭車イベント 検知からの時間差)	-	-	-	-	-	-

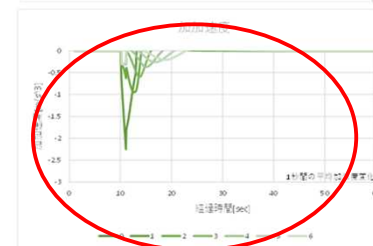
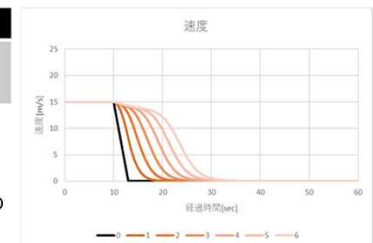
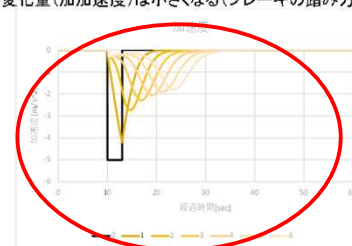
- 1～6台目はすべて自動運転(通信なし)



[ケース1：自動運転車（通信あり）]

	1台目	2台目	3台目	4台目	5台目	6台目
受信時機[ms] (車群先頭車イベント 検知からの時間差)	100	100	100	200	200	200

- 1～6台目はすべて自動運転(通信あり)
- 情報を受け取った時点から、車間を空けるために予備的に減速を始める
- 先行車両の減速に反応するより前から減速しているため、減速度ピークになるまでの時間に余裕ができる
- 1～6台目それぞれが車間を空けようとして減速するので、後方車両ほどそのしわ寄せで減速ピークはやや大きくなるが、時刻が後ろにずれるため、減速度の変化量(加加速度)は小さくなる(ブレーキの踏み方がより緩やか)



後続車の加速度カーブが滑らかになる  
(改善)

後続車の加加速度のピークが  
低減し、カーブが滑らかになる  
(改善)

---

## c) 通信プロトコル案の設計

### 1)通信プロトコル案の設計

---



## 1) 通信プロトコル案の設計 まとめ

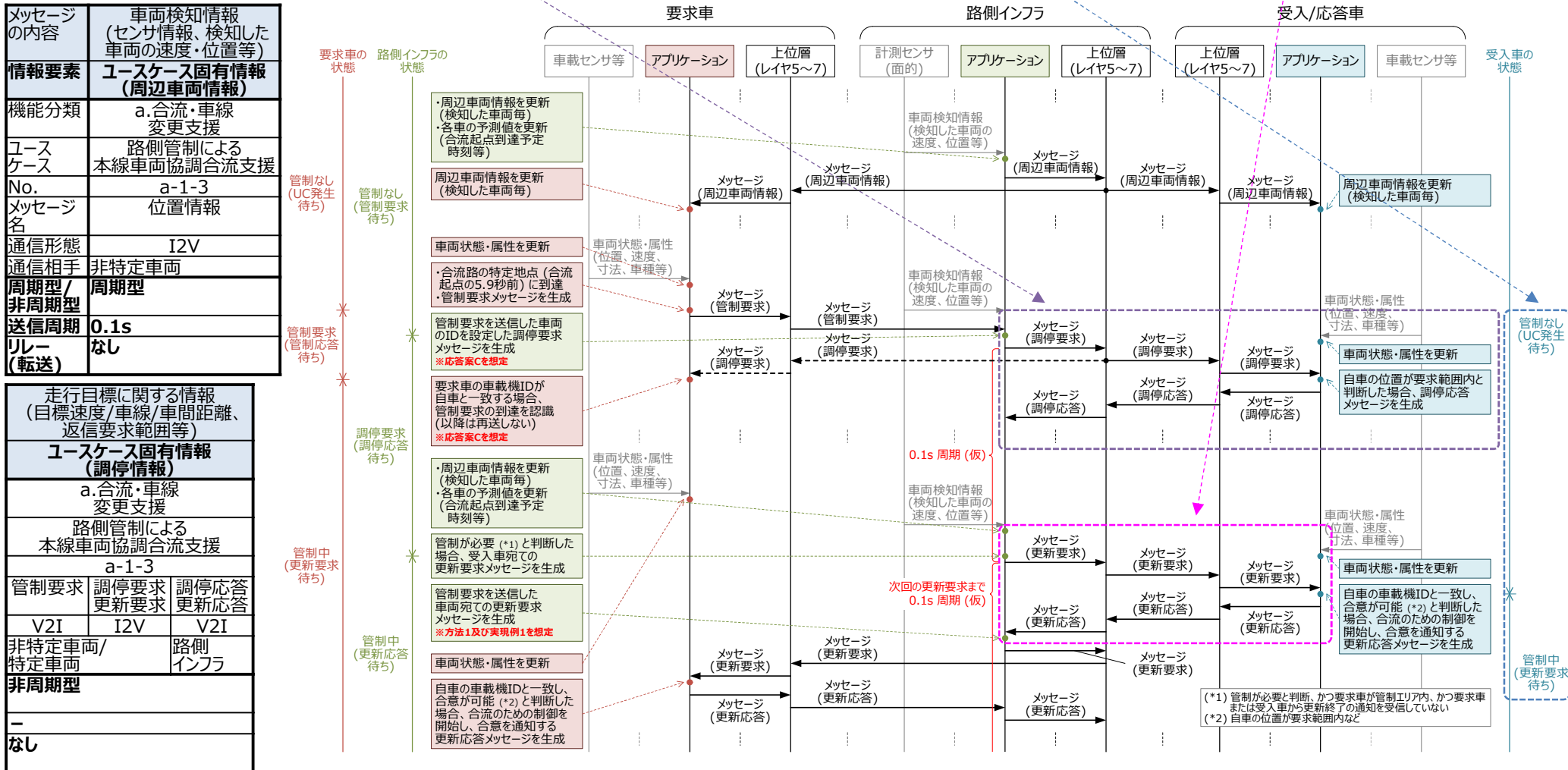
- SIP協調型自動運転ユースケースを5.9GHz帯で実現するための通信プロトコル案について、ITSフォーラムによる通信シナリオ案（ITS FORUM RC-017）をベースに設計を実施し、プロトコルスタック、通信制御フロー、通信諸元（機能、動作、インタフェース）を概要案としてまとめた。
- 欧米の通信プロトコル仕様をベースにSIPユースケースの実現可能性を検討し、管制/合意のユースケースについて新たな機能（宛先の特定、要求/応答処理）を追加した。なお、類似のユースケースは海外でも標準化作業中のため、今後の動向を確認していく必要がある。
- 欧米仕様と同様（電子署名方式）のセキュリティを備えることを前提に、インタフェース及びレイヤ間の処理手順の検討を実施し、まとめた。セキュリティの詳細仕様については、今後の検討が必要である。
- 検討した通信プロトコル案の机上検討を実施した。通信シーケンスを詳細化し、アプリケーション、各プロトコルスタック、情報提供元の関係を整理することで、通信シナリオ案と矛盾のないことが確認できた。
- 700MHz帯との連携方法について、既存のプロトコルスタックを変更しない形での検討案を整理した。開発ロードマップや普及状況を踏まえ、各ユースケースについて700MHz帯及び5.9GHz帯を含めたチャンネル割り当て方法の検討が今後必要である。
- 今後の課題として、以下が挙げられる。
  - 通信シナリオ案の改版、海外動向を反映した見直し検討
  - 通信機能以外（制御系など）とのインタフェース仕様の検討
  - 状態遷移、例外処理など含めた詳細手順の検討

通信プロトコル案の概要

レイヤ	主な仕様	備考
アプリケーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メッセージ生成、周期的に送信</li> <li>・宛先の特定、要求/応答処理（管制/合意のユースケース）</li> <li>・送信制御（優先度設定、送信タイミング判断）</li> </ul>	欧米仕様に管制/合意で必要な機能を追加
上位層（レイヤ5-7）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブロードキャスト通信（宛先不特定）</li> <li>・車両基本情報の生成、周期的に送信</li> <li>・ハザード情報を周期的に再送（*）</li> <li>・ハザード情報をリレー（転送）（*）</li> </ul>	欧州仕様と同様（代替案として米国仕様と同様とした場合、（*）はアプリケーションで対応）
ネットワーク、トランスポート層（レイヤ3-4）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブロードキャスト通信（宛先不特定）</li> <li>・リレー/経路制御なし</li> </ul>	米国仕様と同様（代替案として欧州仕様と同様でも対応可）
—	チャンネル割り当て	静的な割り当てを想定
データリンク、物理層（レイヤ1-2）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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）に準拠</li> </ul>	欧米仕様と同様

# 1) 通信プロトコル案の設計 机上検討例 – SIPユースケース 通信シナリオ案への適用例 –

- SIP UCのうち、**管制/合意のユースケースについて新たな機能を追加**（**宛先の特定、要求/応答処理**）
- **詳細仕様**（**宛先の決定方法**など合意の詳細、**要求/応答に伴う状態遷移**等）について、今後の検討が必要
- 海外における**標準化動向**についても、今後の確認が必要

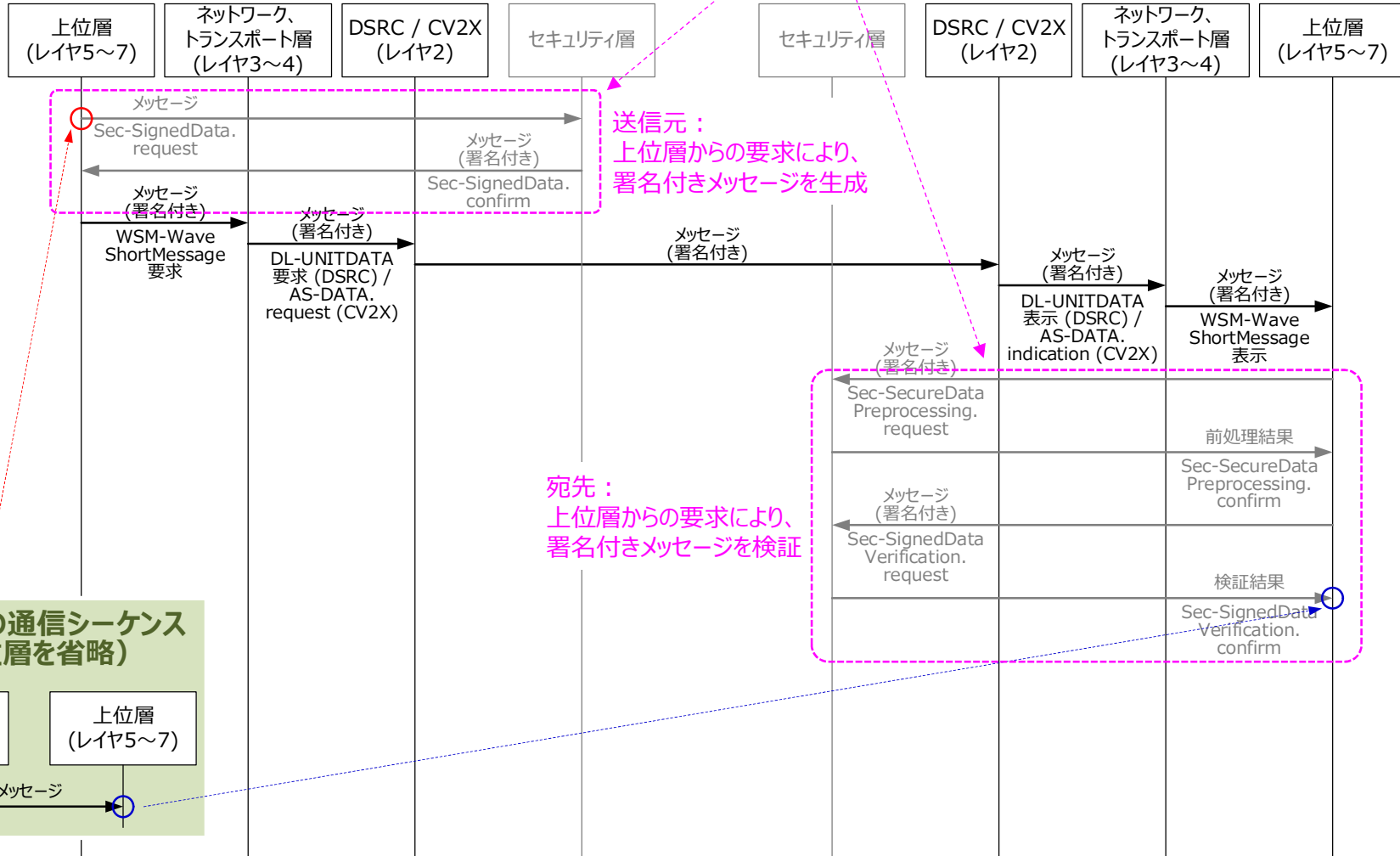


メッセージの内容	車両検知情報 (センサ情報、検知した車両の速度・位置等)
情報要素	ユースケース固有情報 (周辺車両情報)
機能分類	a.合流・車線変更支援
ユースケース	路側管制による本線車両協調合流支援
No.	a-1-3
メッセージ名	位置情報
通信形態	I2V
通信相手	非特定車両
周知型/非周知型	周知型
送信周期	0.1s
リレー (転送)	なし

走行目標に関する情報 (目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等)		
ユースケース固有情報 (調停情報)		
a.合流・車線変更支援		
路側管制による本線車両協調合流支援		
a-1-3		
管制要求	調停要求	調停応答
更新要求	更新要求	更新応答
V2I	I2V	V2I
非特定車両/特定車両	路側インフラ	
非周知型		
-		
なし		

# 1) 通信プロトコル案の設計 机上検討例 –レイヤ間の処理手順例–

- 欧米仕様と同様（電子署名方式）のセキュリティを備えることを前提に、レイヤ間の処理手順を検討・整理
  - セキュリティの詳細仕様については、今後の検討が必要
- ※本事業では、セキュリティによる情報付加（オーバーヘッド）のサイズを通信シミュレーション評価に反映



# 1) 通信プロトコル案の設計 700MHz帯高度道路交通システムとの連携方法 (案)

- 各周波数帯のプロトコルスタック (レイヤ7以下) が並存し、アプリケーションから選択する形で検討案を作成
- 開発ロードマップや普及状況を踏まえ、各ユースケースについて700MHz帯及び5.9GHz帯を含めたチャンネル割り当て方法の検討が今後必要

案	案1	案2	案3
連携方法	事前に周波数帯を決定 (連携なし)	アプリケーションから周波数帯を選択	アプリケーション外で周波数帯を選択
メリット	既存アプリケーションの改修が不要	普及状況等に応じて、アプリケーションで使用する周波数の切替が可能	システム全体で周波数利用効率を鑑みて、周波数を決定することが可能
課題	アプリケーションで使用する周波数を見直した場合の対応方法	各アプリケーションで使用する周波数を分散させる方法の検討	700MHz帯と5.9GHz帯を共用するための管理レイヤの検討
構成			

---

## c) 通信プロトコル案の設計

### 2)メッセージセット案の検討

---

## 2) メッセージセット案の検討 まとめ

- SIP協調型自動運転ユースケースのメッセージ構成について、ITSフォーラムにおける検討結果（ITS FORUM RC-017）を踏まえ、ユースケース間での共通化を考慮した情報要素と利用ユースケース、サイズを整理した。
- 上記の整理結果を 1) 及び3) の前提条件として検討を実施することで、チャンネル割り当て案及び通信プロトコル案との整合性を確認できた。
- 通信プロトコル案の検討結果を踏まえ、情報要素の多重について検討を実施した。宛先またはユースケースの異なる複数の情報要素を1つのパケットにまとめ、セキュリティによるオーバヘッドを減らすことで通信量の削減が見込めることを確認した。
- 今後の課題として、以下が挙げられる。
  - 今後のメッセージセット見直しを反映した検討
  - 情報要素の多重について詳細手順の検討、評価

メッセージセットの整理結果（概要）

機能分類	ユースケース	No.	メッセージ名	通信形態	データサイズ [Byte]										
					合計	オーバヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報						
									路側管制情報	周辺車両情報		調停情報	交差点情報	ハザード情報	
				a-1-x	c-2-2			c-1, c-3	e-1						
a.合流・車線変更支援	予備加減速合流支援	a-1-1	位置情報	I2V	1518	250	18		1	1249					
	本線隙間狙い合流支援	a-1-2	位置情報	I2V	2760	250	18		1	2491					
	路側管制による本線車両協調合流支援	a-1-3	位置情報	I2V	5244	250	18		1	4975					
			管制要求	V2I	329	250	18	31				30			
			調停要求更新要求	I2V	298	250	18						30		
			調停応答更新応答	V2I	329	250	18	31					30		
	車同士のネゴシエーションによる合流支援	a-1-4	調停要求更新要求	V2V	329	250	18	31					30		
			調停応答更新応答	V2V	329	250	18	31					30		
	混雑時の車線変更の支援	a-2	調停要求更新要求	V2V	329	250	18	31					30		
			調停応答更新応答	V2V	329	250	18	31					30		
a-3		調停要求更新要求	V2V	329	250	18	31					30			
	渋滞走行の非優先道路から優先道路への進入支援	a-3	調停応答更新応答	V2V	329	250	18	31					30		
b.信号情報	信号情報による走行支援 (V2I)	b-1-1	-	I2V	664	250	18						396		
c.先読み情報: 衝突回避	前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	c-1	-	V2V	338	250	18	31						39	
	交差点の情報による走行支援 (V2V)	c-2-1	-	V2V	299	250	18	31							
	交差点の情報による走行支援 (V2I)	c-2-2	-	I2V	1488	250	18			824		396			
	ハザード情報による衝突回避支援	c-3	-	V2V	338	250	18	31						39	
e.先読み情報: 緊急車両回避	緊急車両の情報による走行支援	e-1	-	V2V	347	250	18	31						48	



## 2) メッセージセット案の検討 情報要素の多重方法 検討例

- 宛先またはユースケースの異なる**複数の情報要素を1つのパケットにまとめ**、セキュリティ（電子署名）によるオーバーヘッドを減らすことで、**通信量の削減を検討**
- 路側機及び車両について、それぞれ検討を実施（検討結果は、通信シミュレーション評価に反映）
  - **路側インフラ**： UC a-1-3（路側管制による本線車両協調合流支援）で、**複数車両に調停/更新要求を送信する場合**
  - **車両**： 同一チャンネルで、**複数ユースケースの情報を送信する場合**

### 路側機の多重方法（案）

■ **情報要素の多重なし**

セキュリティによるオーバーヘッド (250バイト)	メッセージ情報 (18バイト)	車両#1宛て調停情報 (30バイト)
セキュリティによるオーバーヘッド (250バイト)	メッセージ情報 (18バイト)	車両#2宛て調停情報 (30バイト)

...

■ **情報要素の多重あり**

セキュリティによるオーバーヘッド (250バイト)	メッセージ情報 (18バイト)	車両#1宛て調停情報 (30バイト)	車両#2宛て調停情報 (30バイト)	...
---------------------------	-----------------	--------------------	--------------------	-----

### 車載機の多重方法（案）

■ **情報要素の多重なし**

セキュリティによるオーバーヘッド (250バイト)	メッセージ情報 (18バイト)	車両基本情報 (31バイト)	UC a-2 調停情報 (30バイト)
セキュリティによるオーバーヘッド (250バイト)	メッセージ情報 (18バイト)	車両基本情報 (31バイト)	UC c-1 ハザード情報 (39バイト)

...

■ **情報要素の多重あり**

セキュリティによるオーバーヘッド (250バイト)	メッセージ情報 (18バイト)	車両基本情報 (31バイト)	UC a-2 調停情報 (30バイト)	UC c-1 ハザード情報 (39バイト)	...
---------------------------	-----------------	----------------	---------------------	-----------------------	-----

### 対象ユースケース

機能分類	ユースケース	No.	メッセージ名	通信形態	送信周期	エリアあたり送信台数	データサイズ [byte]											
							合計	オーバーヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報				ハザード情報			
											路側管制情報	周辺車両情報		調停情報		交差点情報	c-1, c-3	e-1
a. 合流・車線変更支援	予備加減速合流支援	a-1-1	位置情報	I2V	100ms	1	1518	250	18			1	1249					
	本線隙間狙い合流支援	a-1-2	位置情報	I2V	100ms	1	2760	250	18			1	2491					
			位置情報	I2V	100ms	1	5244	250	18			1	4975					
			管制要求	V2I	-	1	329	250	18	31							30	
		路側管制による本線車両協調合流支援	a-1-3	調停要求 更新要求	I2V	100ms (仮)	(管制数)	298	250	18							30	
				調停応答 更新応答	V2I	100ms (仮)	48	329	250	18	31						30	
		車同士のネゴシエーションによる合流支援	a-1-4	調停要求 更新要求	V2V	100ms (仮)	1	329	250	18	31						30	
				調停応答 更新応答	V2V	100ms (仮)	36	329	250	18	31						30	
		混雑時の車線変更の支援	a-2	調停要求 更新要求	V2V	100ms (仮)	73	329	250	18	31						30	
				調停応答 更新応答	V2V	100ms (仮)	48	329	250	18	31						30	
		渋滞走行の非優先道路から優先道路への進入支援	a-3	調停要求 更新要求	V2V	100ms (仮)	2	329	250	18	31						30	
				調停応答 更新応答	V2V	100ms (仮)	68	329	250	18	31						30	
	b. 信号情報	信号情報による走行支援 (V2I)	b-1-1	-	I2V	100ms	1	664	250	18								396
前方での急停止、急減速時の衝突回避支援		c-1	-	V2V	100ms	139	338	250	18	31							39	
c. 先読み情報: 衝突回避	交差点の情報による走行支援 (V2V)	c-2-1	-	V2V	100ms	125	299	250	18	31								
	交差点の情報による走行支援 (V2I)	c-2-2	-	I2V	100ms	1	1488	250	18				824				396	
	ハザード情報による走行支援	c-3	-	V2V	100ms	139	338	250	18	31							39	
e. 先読み情報: 緊急車両回避	緊急車両の情報による走行支援	e-1	-	V2V	100ms	1	347	250	18	31							48	

---

## c) 通信プロトコル案の設計

### 3)シミュレーションによる通信性能評価

---

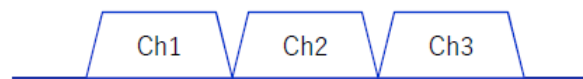


### 3) シミュレーションによる通信性能評価 まとめ

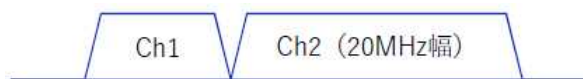
- 高速道路の合流部及び一般道の交差点において、SIP協調型自動運転ユースケースが混在（かつ干渉源が存在）する環境下で、30MHz帯域内で複数のチャンネルを割り当て、複数ユースケースのメッセージ（情報要素）を多重した場合のCV2X（LTE V2X）による通信性能評価を実施した。
- 複数チャンネル割り当てを比較した結果、V2V通信のユースケースを20MHz帯域内で2チャンネルに割り当てた場合よりも、1チャンネルに割り当てた場合の方が、通信品質が概ねよい結果となった。同一チャンネル内で情報要素を多重して1つのパケットにまとめる場合、チャンネル数が少ない方が、帯域あたりのパケット数も少なくなるため、送信頻度及びセキュリティによるオーバーヘッド（通信量）を削減可能であり、チャンネル内及びチャンネル間の干渉低減に有効であると考えられる。
- 単一チャンネルの場合（最大で20MHz帯域幅）と比較した結果、必ずしも通信品質は改善しない結果となった。複数チャンネルの割り当てにより車両の送信が複数チャンネルに分散するケースでは、異なるチャンネル間での情報要素の多重ができず、帯域あたりのパケット数が増加することで、チャンネル内及びチャンネル間の干渉が増えるためと考えられる。
- 通信制御方式の効果検証として、車両の送信周期を広げた場合の通信性能評価を実施した。通信が輻輳し、PARの要求値を達成できない状況下においては、通信品質の改善が見込めることが確認できた。
- 評価結果を踏まえ、複数のユースケースが同時に発生し、通信量が大きい状況下で通信品質を改善するには、少ないチャンネル数で情報要素をまとめて1つのパケット（帯域あたりのパケット数を減らすことで少ない通信量、低い送信頻度）で送信し、輻輳状況に応じて送信周期や連送回数の制御を行う（混雑時には送信頻度を下げる）ことが有効と考えられる。
- 今後の課題として、以下が挙げられる。

- 同一帯域幅における単一/複数チャンネルの性能比較  
（例：NR V2Xの場合、30MHzの帯域幅で1チャンネルがよいか、2チャンネル以上に分けるのがよいか）
- ユースケース単位以外でのチャンネル割り当て方法による効果検証  
（例：情報要素の多重を行う場合、ユースケース単位ではなく送信元単位でチャンネルを分けた方が、チャンネル利用効率改善する可能性あり。路側インフラの送信（V2I通信のI→V方向）と車両の送信（V2I通信のV→I方向+V2V通信）で分ける等）
- 送信周期の時間変化、優先度等を考慮した通信制御方式の詳細評価

案1  
(10MHz×3Ch)



案6  
(10MHz + 20MHz)



評価条件の概要（UC組み合わせ、チャンネル割り当て）

■ 高速道路の合流部

機能分類	ユースケース	通信形態	チャンネル割り当て	
			案1	案6
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	V2I	Ch1 (10MHz)	Ch1 (10MHz)
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	V2V	Ch2 (10MHz) Ch3 (10MHz)	Ch2 (20MHz)
a.合流・車線変更支援	a-2.混在時の車線変更の支援			
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			

■ 一般道の交差点

機能分類	ユースケース	通信形態	チャンネル割り当て	
			案1	案6
b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)	V2I	Ch1 (10MHz)	Ch1 (10MHz)
c.先読み情報：衝突回避	c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	V2V	Ch2 (10MHz) Ch3 (10MHz)	Ch2 (20MHz)
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			
a.合流・車線変更支援	a-2.混在時の車線変更の支援			
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			

### 3) シミュレーションによる通信性能評価 送信条件 (情報要素の多重) 例

- 2) の検討を踏まえ、宛先またはユースケースの異なる**複数の情報要素を1つのパケットにまとめ、セキュリティ (電子署名) によるオーバーヘッドを減らすことで、通信量を削減**
- 路側機及び車両について、それぞれ実施
  - **路側インフラ** : UC a-1-3 (路側管制による本線車両協調合流支援) で、**複数車両に調停/更新要求を送信する場合**
  - **車両** : **同一チャンネルで、複数ユースケースの情報を送信する場合**

#### ■ 高速道路の合流部の場合

送信元	機能分類	ユースケース	メッセージ名	通信形態	情報要素の多重あり (本評価で設定した条件)								情報要素の多重なし (参考)
					複数チャンネル (通信チャンネル割り当て案)				単一チャンネル (比較のために実施した条件)				
					案1 (10MHz×3Ch)		案6 (10+20MHz)		10MHz		20MHz		
					チャネル	データサイズ [byte]	チャネル	データサイズ [byte]	チャネル	データサイズ [byte]	チャネル	データサイズ [byte]	
路側インフラ	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	位置情報 (*1)	I2V	Ch1	1572	Ch1	1572	Ch1	1572	Ch1	1572	1572
			調停要求 更新要求 (*2)			718 (×4)	718 (×4)	718 (×4)	718 (×4)	298 (×4)	298 (×48)		
車両	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	管制要求 調停応答 更新応答	V2I		329		329		398		398	329
			—	V2V	Ch2	364	Ch2	368					334
			調停要求 更新要求 調停応答 更新応答										329
	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	—		Ch3	338						338	

(\*1) データサイズは、50km/h・1s車間の場合 (100km/h・2s車間の場合、708バイト)

(\*2) データサイズは、50km/h・1s車間の場合 (100km/h・2s車間の場合、情報要素の多重あり : 718 (×2) バイト、多重なし : 298 (×16) バイト)

また「718 (×4)」の表記は、718バイトを4回送信することを表す。

### 3) シミュレーションによる通信性能評価 結果例

#### チャンネル割り当て方法による比較

■ V2V通信のユースケースを20MHz帯域内で2チャンネルに割り当てた場合（案1）よりも、1チャンネルに割り当てた場合（案6）の方が、通信品質が概ねよい

⇒ 同一チャンネル内で情報要素を多重したため、チャンネル数が少ない方が、帯域あたりのパケット数も少なく送信頻度及びセキュリティによるオーバーヘッド（通信量）を削減

■ 単一チャンネルの場合（最大で20MHz帯域幅）と比較した結果、通信品質が改善しない場合あり

⇒ 複数チャンネルの割り当てにより車両の送信が複数チャンネルに分散するケースでは、異なるチャンネル間での情報要素の多重ができず、帯域あたりのパケット数が増加

#### 通信制御方式の効果検証（車両の送信周期を広げた場合）

■ 通信が輻輳し、PARの要求値を達成できない状況下においては、通信品質の改善が見込めることを確認

#### ■ 高速道路の合流部（100km/h, 2s車間）の場合

路側機：100ms（変更なし）、車載機：200ms（100msから変更）

通信形態等	ユースケース	メッセージ名	必要通信距離	単一チャンネル								複数チャンネル (通信チャンネル割り当て案)								輻輳制御の効果検証 (周期を広げた場合)							
				10MHz				20MHz				案1 (10MHz×3Ch)				案6 (10MHz+20MHz)				案1 (10MHz×3Ch)				案6 (10MHz+20MHz)			
				1/パケットあたり PAR	遅延 (99%値)	対応可否	遅延 (PARの要求値に達するまでの時間)	1/パケットあたり PAR	遅延 (99%値)	対応可否	遅延 (PARの要求値に達するまでの時間)	1/パケットあたり PAR	遅延 (99%値)	対応可否	遅延 (PARの要求値に達するまでの時間)	1/パケットあたり PAR	遅延 (99%値)	対応可否	遅延 (PARの要求値に達するまでの時間)	1/パケットあたり PAR	遅延 (99%値)	対応可否	遅延 (PARの要求値に達するまでの時間)				
I2V (本線)	a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援	位置情報 調停要求 更新要求	222.2m	100.0%	49.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	98.0%	-	×	200ms	97.6%	-	×	200ms	99.0%	-	×	200ms	99.7%	50.0ms	○	100ms
			222.2m	99.0%	50.0ms	○	100ms	100.0%	45.0ms	○	100ms	96.4%	-	×	200ms	98.7%	-	×	200ms	98.9%	-	×	200ms	99.0%	-	×	200ms
V2I (連絡路)	調停応答 更新応答	位置情報 調停要求 更新要求	222.2m	42.0%	-	×	900ms	86.8%	-	×	300ms	54.4%	-	×	600ms	43.1%	-	×	900ms	78.9%	-	×	400ms	76.9%	-	×	400ms
			66.7m	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	99.8%	46.0ms	○	100ms
V2I (連絡路)	調停応答 更新応答	位置情報 調停要求 更新要求	66.7m	99.7%	46.0ms	○	100ms	100.0%	44.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	99.8%	46.0ms	○	100ms	99.8%	46.0ms	○	100ms
			66.7m	95.6%	-	×	200ms	100.0%	46.4ms	○	100ms	96.4%	-	×	200ms	96.1%	-	×	200ms	98.2%	-	×	200ms	97.6%	-	×	200ms
V2V (中継なし)	a-2.混雑時の車線変更の支援 e-1.緊急車両の情報による走行支援	調停要求 更新要求	255m	50.5%	-	×	700ms	86.5%	-	×	300ms	60.3%	-	×	500ms	81.1%	-	×	300ms	84.2%	-	×	400ms	91.5%	-	×	200ms
			150m	84.0%	-	×	300ms	98.8%	-	×	200ms	89.8%	-	×	300ms	95.5%	-	×	200ms	95.6%	-	×	200ms	97.9%	-	×	200ms
V2V (中継あり)	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	調停要求 更新要求	250m (直接通信)	98.7%	103.6ms	×	200ms	100.0%	58.2ms	○	100ms	100.0%	65.1ms	○	100ms	100.0%	70.8ms	○	100ms	100.0%	88.5ms	○	200ms	99.9%	82.8ms	○	200ms
			1000m (中継通信)	100.0%	152.7ms	○	200ms	100.0%	128.7ms	○	200ms	100.0%	152.8ms	○	200ms	100.0%	133.1ms	○	200ms	100.0%	173.3ms	○	200ms	100.0%	136.7ms	○	200ms

※表の塗り分けは、遅延（PARの要求値に達するまでの時間）の値による  
 : 100ms   
 : 200ms~300ms   
 : 400ms~600ms   
 : 700ms~1200ms   
 : 1300ms~

---

## d) 無線機仕様の案出

### 1) 無線機の仕様の検討

---

## 1) 無線機の仕様の検討 項目案の抽出結果

- 無線機仕様の項目を網羅的にするため、国内外の既存の無線機仕様を参考にして、V2X通信に必要な機能/特性/インタフェース等を抽出
  - 国内：5.8GHz帯DSRC路側無線装置規格書
  - 国外：SAE J2945/1 等
- 通信規格作成に必要な項目を優先検討し、セキュリティ、通信以外の機能、インタフェースのHW仕様等は項目のみ記載
 

【対象外とした項目の例】

  - 5.8GHz帯DSRC路側無線装置規格書：構造、故障検出部の機能及び特性、電源部の機能及び特性 等
  - SAE J2945/1：測位部に対する要件（GNSSの精度 等）、セキュリティ管理システムの機能 等

### 無線機仕様の項目案と既存仕様書との比較、整理

5.9GHz帯V2Xシステム 無線機仕様の項目案	5.8GHz帯DSRC路側無線装置規格書	SAE J2945/1「On-Board System Requirements for V2V Safety Communications」
<b>1. スコープ</b> ・目的 ・適用範囲、前提条件（対象UC、要件等）	1 - 1 本規格書の適用範囲 1 - 5 路側無線装置の前提条件	1.SCOPE 4.2 V2V Safety Features 5.1 V2V Over-the-Air Data Description
<b>2. V2Xシステムの概要</b> ・システム構成 ・機器構成	1 - 4 路側無線装置の概要 2 - 1 内部構成	4.1 V2V System Overview
<b>3. V2X通信の機能/特性/ インタフェース</b> ・一般的条件及び無線設備の技術的条件 ・通信制御部の機能、特性、インタフェース	2 - 3 空中線部の機能及び特性 2 - 4 送受信部の機能及び特性 2 - 5 通信制御部の機能及び特性 2 - 1 0 インタフェース	5.2 System Interfaces : 概要 6.1 Standards Profiles : 詳細 6.3 BSM Transmission Requirements on Channel vChannelNumber : 詳細（輻輳制御）

# 1) 無線機の仕様の検討 無線機仕様案の検討結果概要

■ 項目案の抽出結果を踏まえ、システム構成、機器構成、機能/特性/インタフェースについて、通信プロトコル案等に対応した仕様を整理することで、5.9GHz帯V2X無線機仕様案としてまとめた

5.9GHz帯V2Xシステム無線機仕様 (*1)	
項目一覧	
<b>1. スコープ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目的</li> <li>適用範囲、前提条件 (対象UC、要件等)</li> </ul>
<b>2. V2Xシステムの概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>システム構成</li> <li>機器構成</li> </ul>
<b>3. V2X通信の機能/特性/インタフェース</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般的条件及び無線設備の技術的条件</li> <li>通信制御部の機能、特性、インタフェース</li> </ul>

通信プロトコル案における  
機能・動作  
・700MHz帯との連携方法等  
を考慮した仕様

□ : 詳細仕様の検討対象外

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
		符号化率
		チャネル
		変調方式
	送信特性	空中線電力
		空中線電力の許容偏差
		送信スペクトラムマスク
		キャリアオフ時の漏洩電力
		送信スプリアス
		周波数の許容偏差
		変調精度
	受信特性	受信感度
		隣接チャネル除去
		次隣接チャネル除去
		非隣接チャネル除去
副次的に発する電波等の限度		
空中線	受信最大入力電力	
	空中線の構造	
	空中線の利得	
	空中線の偏波	
	空中線の設置	

通信プロトコル案における  
・レイヤ1-2の  
準拠文書等  
を考慮した仕様

V2X通信の機能/特性/インタフェースの詳細項目			
レイヤ1の機能	概要	—	—
	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
	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 —
⋮	⋮	⋮	⋮
レイヤ7の機能	概要	—	—
	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 サービスプリミティブ (セキュリティ)	機能 パラメータ パラメータ
	レイヤ7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 —
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 ⋮ レイヤ7	機能 管理情報ベース (MIB) ⋮ 機能 管理情報ベース (MIB)
	セキュリティレイヤの機能		
	その他機能	送信要件	a-1-1 ⋮ g-2 輻輳制御
空中線部-送受信部間	物理インタフェース	—	—
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	—	—

通信プロトコル案における  
機能・動作  
・レイヤ間  
インタフェース等  
を考慮した仕様

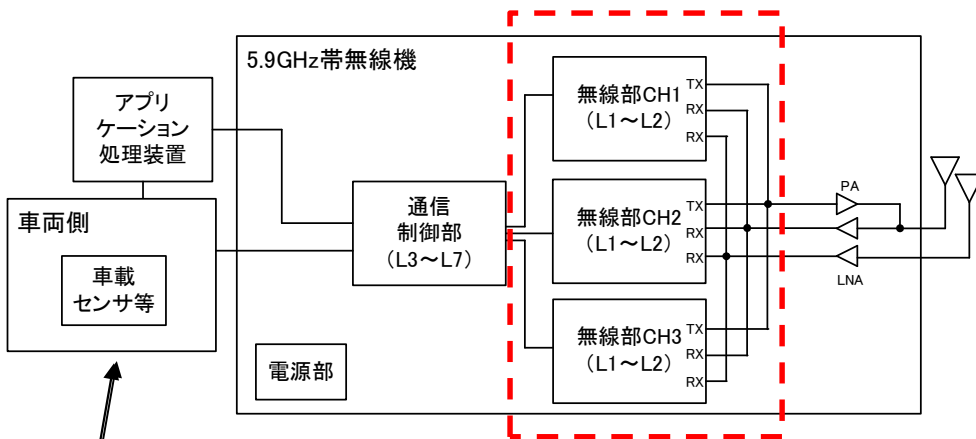


## 1) 無線機の仕様の検討 無線機仕様案の検討結果例： 2. V2Xシステムの概要 -機器構成-

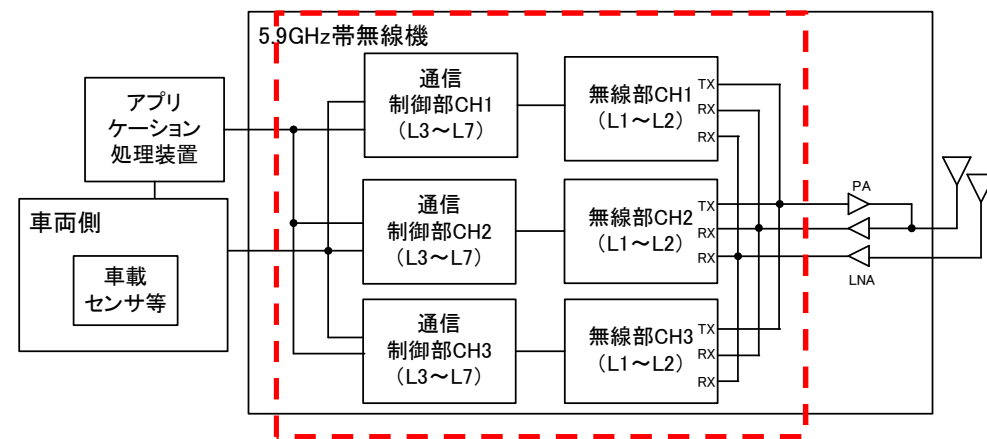
■ 通信プロトコル案における**チャンネル割り当てに関する機能・動作**（割り当てチャンネル数と同一の無線部（レイヤ2以下）を備える想定）を踏まえ、マルチチャンネルに対応した**機器構成を整理**

- 割り当てチャンネル数の無線部あるいは無線部+通信制御部(L3~L7)を備えることが必要  
⇒対応方法は複数あるため、性能要件、コスト、実装条件等の定量評価によるマルチチャンネル対応方法の継続検討が必要

## 割り当てチャンネル数の無線部を備える場合



## 割り当てチャンネル数の無線部 + 通信制御部を備える場合



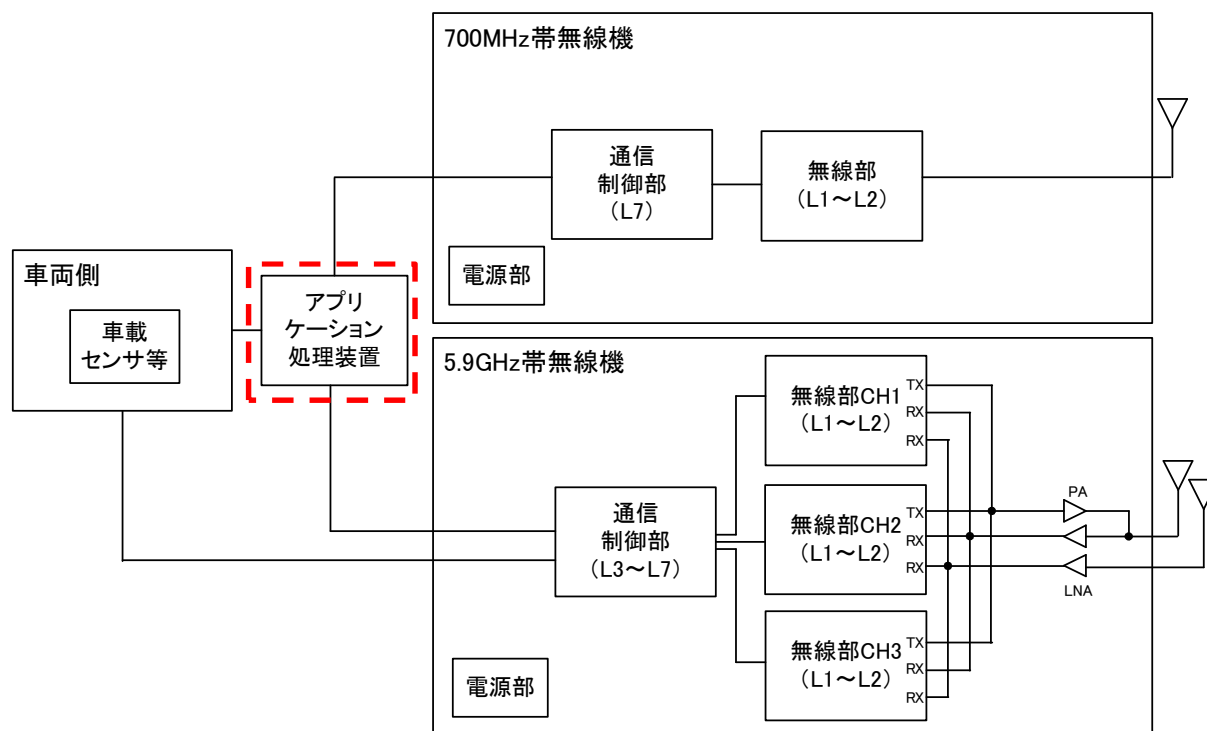
□: 割り当てチャンネル数に合わせて実装

※車載センサ等の情報は、車両側の制御装置（車両制御のアプリケーション）等を介して受渡が行われると仮定し、ブロック図を記載  
⇒本インタフェース仕様は、関連団体と協議・検討して決定していくことが必要

## 1) 無線機の仕様の検討 無線機仕様案の検討結果例： 2. V2Xシステムの概要 -機器構成-

## ■ 既存ITSとの連携方法を考慮した機器構成：案2 5.9GHz帯無線機導入（連携あり）

- c項における700MHz帯高度道路交通システムとの連携方法案2に対応
- 一つのアプリケーションから既存ITS及び5.9GHz帯の通信レイヤへのアクセスが可能となるため、普及状況等に応じて、各アプリケーションで使用する周波数の切り替えが可能





## 1) 無線機の仕様の検討 まとめ

- システム構成、機器構成、機能/特性/インタフェースについて、c項でまとめた通信プロトコル案等に対応した仕様を整理することで、5.9GHz帯V2X無線機仕様案としてまとめた
- 無線機仕様案仕様の項目抽出にあたっては、無線機として必要な項目を網羅するため、既存システムの無線機仕様を参考
- 通信方式のロードマップを踏まえ、5.9GHz帯無線機の導入、導入後のそれぞれの時期に分けて既存ITS無線機との連携方法を考慮して機器構成案を整理
- 今後の課題として、以下が挙げられる。
  - 性能要件、コスト、実装条件等の定量評価によるマルチチャネル対応方法の継続検討
  - 検討の優先度を下げた項目の仕様検討
    - ▶ インタフェースのHW仕様
    - ▶ 通信以外の機能（故障検出、電源等）
  - 車両とのインタフェース要件の詳細検討

---

## d) 無線機仕様の案出

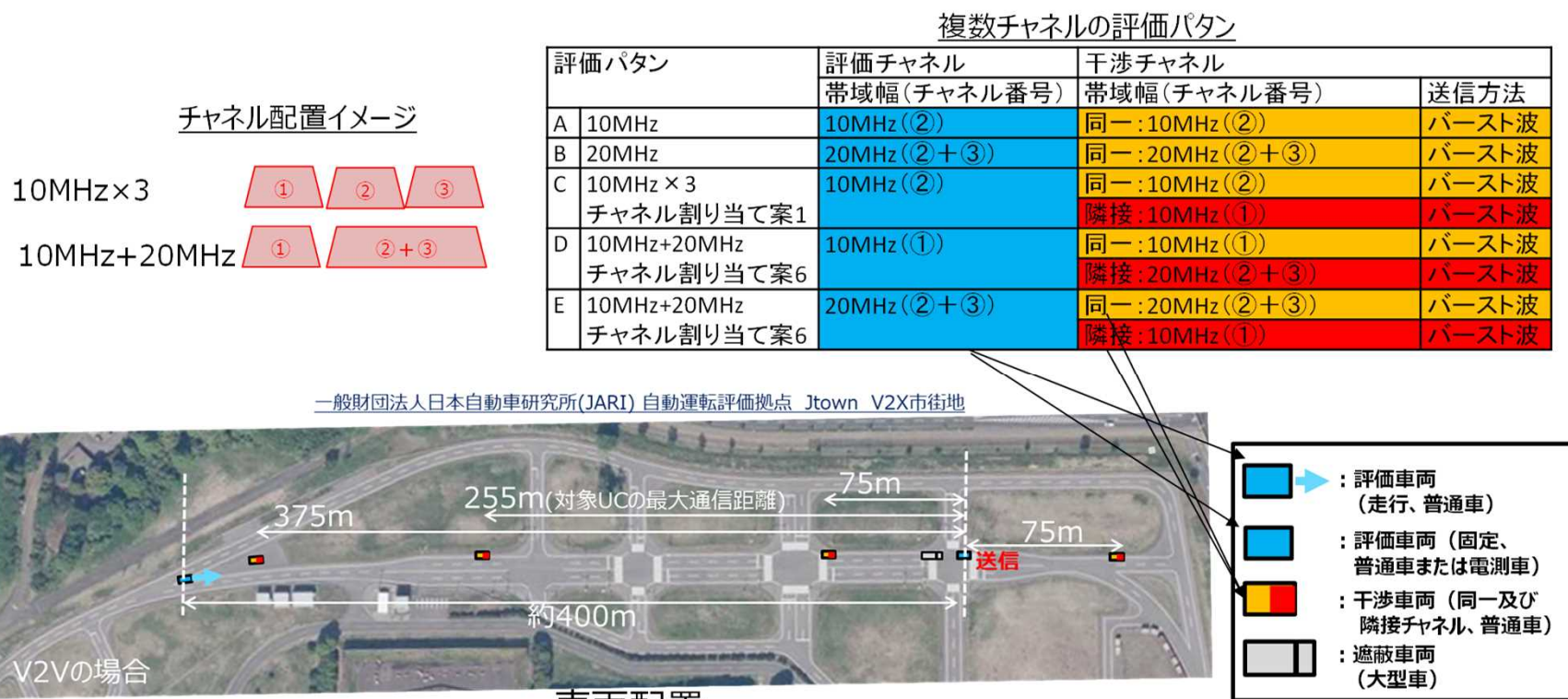
### 2) テストコース等での実証実験

---

## 2) テストコース等での実証実験 実施内容

### ■ ユースケースが複数混在する時を想定した実証実験をテストコース等で実施

- 通信チャンネルの割り当て案の検討結果を踏まえ、  
複数チャンネルや20MHz帯域幅利用時の通信性能評価を実施し、チャンネル割り当ての効果検証を実施
- 通信方式：CV2X（LTE V2X（PC5））の通信装置を使用



## 2) テストコース等での実証実験 まとめ

- 本実証実験の評価条件（マルチチャネルの送信・受信について、チャンネル毎に個別の無線機を使用）においては、**チャンネル割り当ての効果**について、**実機においてもシミュレーションと同様**の以下の傾向が得られることを確認
  - V2V 通信のユースケースを 10MHz 帯域幅の 2 チャンネルに割り当てた場合よりも、20MHz 帯域幅の 1 チャンネルに割り当てた場合の方が、V2V 通信、V2I 通信ともに通信品質がよい結果となった
- 今後の課題としては、以下が挙げられる。
  - マルチチャネルの送信・受信を一つの無線機で実現した場合の劣化要因についての実機検証

### 屋外実験 測定結果一覧

PAR（上段：実験、下段：シミュレーション）

項目	評価チャンネル	干渉チャンネル： 他チャンネル		干渉チャンネル： 同一チャンネル	複数UCの組み合わせ				備考
					高速道路 合流部		一般道 交差点		
					評価対象				
システム 帯域幅	システム 帯域幅	評価チャンネル との関係	システム 帯域幅	V2I	V2V	V2I	V2V		
N対N	10	/	/	10	96.0	92.1	60.2	80.7	評価パタンA 単一チャンネル（10MHz）
					100.0	83.8	92.2	45.8	
	20	/	/	20	100.0	99.8	84.0	95.9	評価パタンB 単一チャンネル（20MHz）
					100.0	96.6	95.3	66.7	
	10	10	隣接	10	95.7	98.4	100.0	88.7	評価パタンC 複数チャンネル（案1：10MHz×3Ch）
					99.0	84.2	99.4	63.6	
	10	20	隣接	10	99.5	-	100.0	-	評価パタンD 複数チャンネル（案6：10MHz+20MHz）
					99.7	-	99.3	-	
	20	10	隣接	20	-	100.0	-	96.6	評価パタンE 複数チャンネル（案6：10MHz+20MHz）
					-	91.5	-	85.0	

---

## d) 無線機仕様の案出

### 3)導入に向けての課題とその解消方針の整理

---

## 3) 導入に向けての課題とその解消方針についての整理

課題	内容	解消方針
定量評価によるマルチチャンネル対応方法の継続検討	無線機仕様においてマルチチャンネル対応方法の構成（無線部（レイヤ1～2）、通信制御部（レイヤ3～7）の数、等）について、実装依存で問題がないか、詳細を規定する必要があるのか、扱いを決めていく必要がある。	各構成に対し、スループット等の性能要件に加え、コスト、実装条件等について定量的に評価を行い、システム要件に対するギャップを明らかにする。
700MHz帯高度道路交通システムとの連携方法を踏まえた無線機仕様の更新	ロードマップを踏まえると、700MHz帯無線機を先行して利用しているところに5.9GHz帯無線機が導入される。また、700MHz帯無線機については、既存システム（ITS Connect）との共存も考慮する必要がある。各無線機に対して、共存・連携のために要求される機能、インターフェース等について無線機仕様への反映が必要となる。	今後継続検討されるチャンネル割り当てに応じて、連携に必要な性能、機能要件の明確化を行う。その結果を踏まえ両無線機の機能追加等の要否を判断し、計画的に無線機仕様の更新及び実装を行う。
車両とのインターフェース要件の詳細検討	自車情報を得る方法として車両側の制御装置等を介して間接的に受渡が行われると仮定したが、該当インターフェースを今後決めて行く必要がある。	今後のUCの追加、変更等に対する柔軟性・拡張性を考慮しながら、サービス要件、サービスの実現性等を踏まえたメッセージ情報取得頻度、遅延等の要件を明らかにする。その結果にもとづき、関連団体と協議・検討を行う。
セキュリティ仕様の詳細決定	国内V2Xシステムのセキュリティ仕様について、現状では決まっていない。	欧米の動向を踏まえるとV2Xのセキュリティとしては、IEEE1609.2(現在改版中)が候補となると考えられる。どう適用するか利用者・ステークホルダでコンセンサスを得る必要がある。
通信上位層の標準化促進	既存ITSシステムの場合の例を踏まえると、通信上位層の標準化は国内ではARIB規格、また、必要に応じ機器仕様についてはETC機器と同様JEITA規格として管理するなどが考えられる。セキュリティやCPS等のUC等、必要となる上位層の標準仕様の詳細化検討を産学官で進める場を設定し、標準化戦略を検討しつつ、普及促進に向け、早急に推進する必要がある。	標準化に関するステークホルダとなる利用者、提供者などの団体との連携を強化し、標準化戦略、目的等を決定し、標準化規格案については対象となるSDO(標準化機関)を選定し推進していく。

本報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が管理法人を務め、内閣府が実施した「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期 / 自動運転 (システムとサービスの拡張) 」(NEDO管理番号：JPNP18012)の成果をまとめたものです。