

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

2019 年 6 月

ITS 情報通信システム推進会議
セルラーシステム TG



[余白]

改定履歴

版数	年月日	改定箇所	改定理由	改定内容
1.0	2019年6月18日	策定	新規策定	

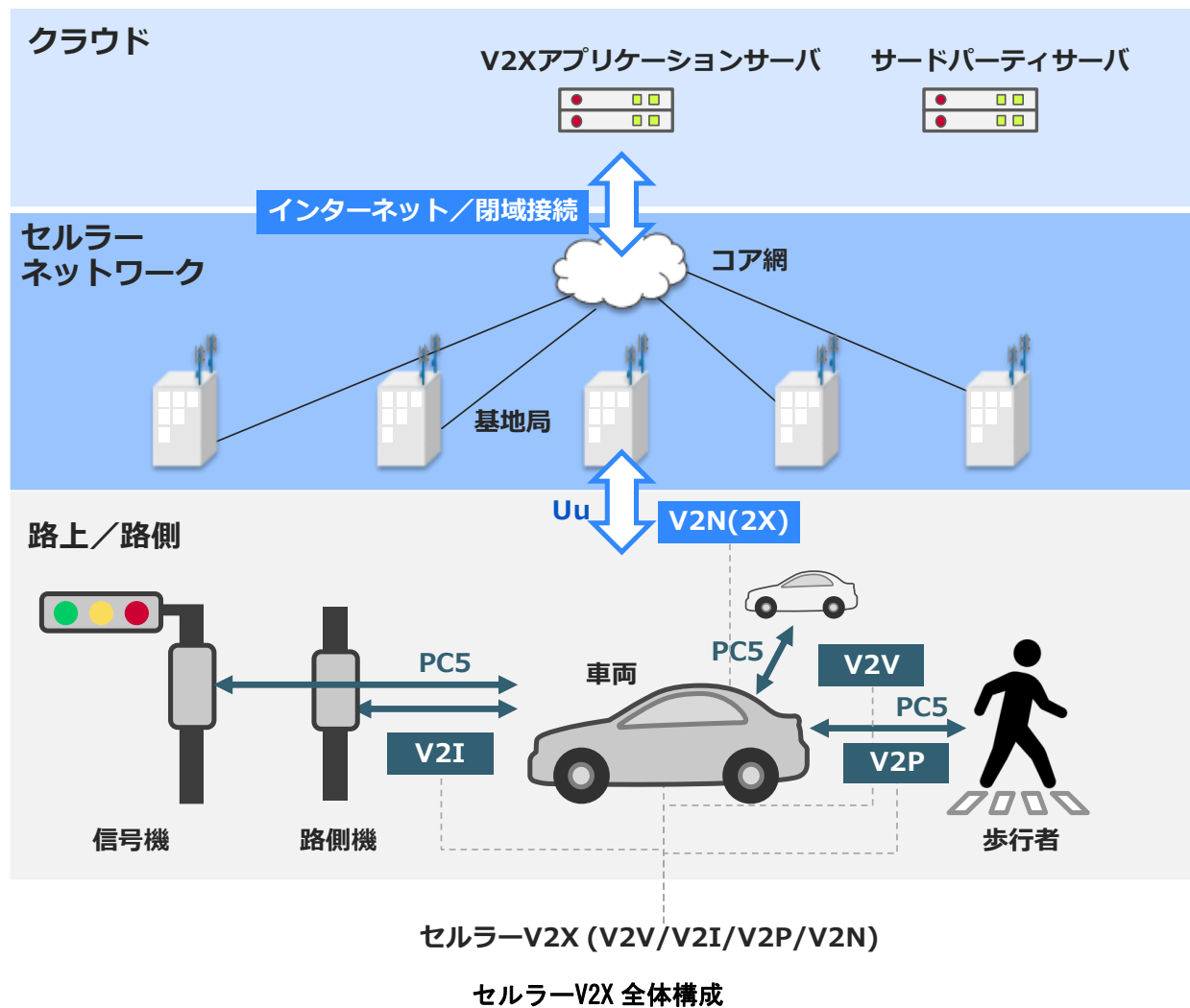
本書の内容は ITS 情報通信システム推進会議で継続検討される予定であり，改版があった場合は版数・改定内容を明示して ITS 情報通信システム推進会議より発行される．

[余白]

まえがき

ITS 高度化や自動運転社会の実現に向けた研究開発や政策議論が、グローバルに活発化している。米国では Connected Vehicle Pilot Deployment Program [1]が推進されており、欧州では Corridor [2]や Nordic Way [3]などのプロジェクトが推進されている。また、中国では Wuxi（无锡）で大規模な実証実験が進行中[4]で、各国にて実用化に向けた取り組みが盛んである。このように国際競争が進む中、日本が世界最先端の ITS を維持・構築し、世界一の道路交通社会によるメリットを国民が享受するための戦略が『官民 ITS 構想・ロードマップ』[5]で示され、自動走行ビジネス検討会による検討[6]や、内閣府 SIP-adus [7]に代表される各種実証実験などの取組が進展している。ITS 情報通信システム推進会議でも ITS の実用化に必要な情報通信分野の検討を実施し、ガイドラインの公開や ARIB 規格への標準規格原案の提案などを行っている。国内では既に狭域通信（DSRC）システム（ARIB STD-T75）、700 MHz 帯高度道路交通システム（ARIB STD-T109）による路車間通信や車車間通信が実用化されているが、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 ではセルラー通信技術を用いた ITS・自動運転の高度化に向けての検討を行っている。

車両間及び車両と路側機を接続する方式の一つとして、セルラー通信方式に基づくセルラーV2X や 5G などの標準仕様が 3GPP で規格化され、それらの通信技術が ITS・自動運転の高度化に寄与する可能性について、技術検討や実証実験が進んでいる。セルラー通信技術を用いて、車とあらゆるものとの接続を提供することが可能な技術をセルラーV2X と呼び、車車（V2V：Vehicle to Vehicle）・路車（V2I：Vehicle to Infrastructure）・歩車（V2P：Vehicle to Pedestrian）など路上・路側での狭域通信（PC5 と呼ばれる無線インタフェースを利用）と、基地局およびコア網で構成されるセルラーネットワークを介した車両との広域通信（V2N：Vehicle to Network、Uu と呼ばれる無線インタフェースを利用）を包含した技術である。V2N は車両がセルラーネットワークを介して歩行者・路側と通信する形態も考えられ、これは V2N2X（Vehicle to Network to Everything）とも呼ばれる。



通信技術を用いた ITS では、車両間での情報共有に加えて、路側機やネットワーク上のサーバで、車両やインフラ設置センサから収集したデータ、さらには、既に保有しているデータにより新たな価値が付与された情報を車両に配信する事が可能となる。車両が個車でデータを収集、処理する事と比較すると、①自車両のセンサだけではなく他車両やインフラ等のセンサから収集されたデータを活用することでセンシング可能領域を拡大したり②データ処理に自車両の処理能力だけではなく路側機やネットワーク上のサーバの処理能力を使うことで処理能力を向上することができる。自動運転に関しても、今までは個車の自律的な制御で実証されてきているが、通信が伴うことで運用上の制約が軽減されるなど、機能・性能改善や付加価値を提供できる領域があることが期待される。従来の ITS にセルラーV2X を組み合わせて利用することで、ITS・自動運転に対して提供できる付加価値を増大できる可能性があり、現在は基礎的な性能検証が継続的に実施されている。

このようにセルラーV2Xに関しては大きな期待がある一方、実現に向けた評価に関しては、その多くが通信の単独性能（高速・大容量・低遅延）でのみ語られており、実運用を踏まえた検証とはいえないのが実情である[20][21][22]。具体的には、周波数割り当てや既存システムとの共存の可能性、通信方式の妥当性や信頼性・将来の拡張性、継続的な保守・管理も踏まえたビジネスモデル、法整備等、性能以外の多くの検討項目が考えられる。そしてこれらは従来の ITS 関係者のみならず、新たな事業者の参入や新たな事業モデル構築などの必要が出てくる可能性があるなど、事前に十分な検討を要する取り組みといえる。

そこでセルラーシステム TG では、セルラーV2Xを用いた ITS・自動運転の高度化に向けた課題について整理し、今後国内でのセルラーV2Xの有効性検討や課題の具体化・対応検討を加速させることを目指し、本書を発行する。1章ではセルラーV2Xに関係する基本的な用語、セルラーシステムと 5G 導入に向けた今後の見通しを俯瞰する。また 2章で通信への期待が想定されるユースケース、3章～4章でそれぞれアーキテクチャ、ビジネスモデルを記す。5章ではセルラーV2Xで特徴的な課題となる狭域通信（V2V/V2I/V2P）と広域通信（V2N）を組み合わせた運用方法や、インフラ整備の方法など、通信・情報・サービスの観点で抽出した課題について述べる。6章で全体のまとめを記す。

[余白]

目次

第1章	セルラー通信システムの現状と見通し	1
1.1	用語集	1
1.2	LTE	2
1.2.1	広域通信 (V2N) 概要	3
1.2.2	狭域通信 (V2V/V2I/V2P) 概要	4
1.2.3	標準化の動向	5
1.2.4	周波数の状況	5
1.3	5G および NR	6
1.3.1	標準化の動向	6
1.3.2	国内での周波数およびサービス展開予定	6
第2章	通信に期待するユースケースとその役割	7
2.1	ユースケース例の選定	7
2.2	ユースケース 1: 落下物、事故車等による「衝突回避・緊急ブレーキ」	9
2.3	ユースケース 2: 信号情報活用による「交差点通過支援/ジレンマゾーン回避/赤信号注意喚起」	10
2.4	ユースケース 3: 障害物/故障車等の存在情報による、「車線変更支援/ルート選定」	13
2.5	ユースケース 4: 緊急車両接近情報による、「車両退避支援」	14
2.6	ユースケース 5: 工事・規制情報等による、「経路再探索」	15
第3章	通信アーキテクチャ	16
3.1	システム構成	16
3.2	狭域通信 (V2V/V2I/V2P) アーキテクチャ	17
3.2.1	プロトコルスタック	18
3.2.2	通信アーキテクチャ	18
3.2.3	セキュリティ	20
3.2.4	複数 MNO 対応	20
3.3	広域通信 (V2N) アーキテクチャ	21
3.3.1	通信アーキテクチャ	21
3.3.2	プロトコルスタック	22
3.3.3	Geo-messaging	23
3.3.4	セキュリティ	24
3.3.5	MEC および複数 MNO 対応	24

第4章	ビジネスモデル	25
4.1	各ユースケースのステークホルダー	25
4.2	セルラーV2X ビジネスにおけるコスト要因	27
4.3	V2V に対する考え方	28
4.4	V2I/N に対する考え方	29
第5章	課題整理	30
第6章	まとめ	32
A.	付録	33
A.1	用語集詳細版	33
A.2	LTE V2X (PC5; V2V/V2I/V2P) の通信性能の特徴	37
A.3	LTE V2X (PC5; V2V/V2I/V2P) のマルチアクセス方式などに起因する性能への影響	41
	参考文献	46

第1章 セルラー通信システムの現状と見通し

1.1 用語集

3GPP 文書[8][9][10]などを参考に、本書で用いる主要な用語を表 1.1 の通り定義する。その他詳細な用語については付録に記載した。

表 1.1 用語集

用語	意味、説明
セルラーV2X	LTE などのセルラー通信技術を用いて、車とあらゆるものとの接続を提供することが可能な技術をセルラーV2X と呼び、車車・路車・歩車など路上・路側での狭域通信と、基地局およびコア網で構成されるセルラーネットワークを介した車両との広域通信を包含した技術である。
LTE	3GPP により規格化された第 3.9 世代もしくは第 4 世代携帯電話システムまたは無線アクセス技術。現在 3GPP Release 8 から Release 15 までの規格が存在。
LTE V2X	セルラーV2X の内、広域通信および狭域通信が LTE を基にした方式のこと。
5G	第 5 世代携帯電話システム。3GPP では Release 15 以降の NR および LTE の拡張を含むシステム。一般には NR のみのことを指すことも多い。
NR	5G に向けて 3GPP が新規に規定した無線アクセス技術。現在 Release 15 の広域通信のみが標準化されており、Release 16 以降で狭域通信機能も標準化される見込み。
広域通信、 Downlink/uplink、 Uu、V2N2X	移動機と基地局との通信で、広域通信サービスを提供する 本書ではコア網やアプリケーションサーバを介した通信も含め、 V2N2V/V2N2I/V2N2P と呼ぶ
Downlink、下り回線	広域通信における基地局から移動機への通信
Uplink、上り回線	広域通信における移動機から基地局への通信
狭域通信、Sidelink、 PC5、 V2V/V2I/V2P	車両と車両、もしくは車両と歩行者との通信用途向けの移動機と移動機の直接通信で、狭域通信サービスを提供する。LTE においては Release 14 で標準化され、NR においては Release 16 で標準化予定

基地局、NB、 eNB、 gNB	基地局は、セルラーネットワーク内にて、移動機と通信する装置の総称。一つの基地局が一つまたは複数のセルをサポートする。 NB (node B)は、WCDMA における基地局。 eNB (e node B)は、LTE における基地局。 gNB (g node B)は、NR における基地局。
移動機 (MS : Mobile Station)、UE (User Equipment)	セルラーネットワークにおいて、ネットワークと通信する端末。厳密には、移動機は SIM などを含まず、UE は SIM などを含むが区別されないことが多い。
セル	一つの周波数において、基地局から一定領域にむけて送信され、移動機から一意に認識される領域。
RSU (Road Side Unit), 路側機	狭域通信により移動機と通信する端末型 RSU と、広域通信を用いて移動機と通信する基地局型 RSU がありうるが、本書では広域通信を用いて移動機と通信する装置は路側機と呼ばず、路側機とは端末型の装置で狭域通信機能で移動機と通信装置を指す。ネットワークとの接続に広域通信を用いることもある。
MNO (Mobile Network Operator)	電気通信役務としての移動通信サービスを提供する電気通信事業を営む者であって、当該移動通信サービスに係る無線局を自ら開設又は運用している者。
MVNO (Mobile Virtual Network Operator)	MNO の提供する移動通信サービスを利用して、又は MNO と接続して、移動通信サービスを提供する電気通信事業者であって、当該移動通信サービスに係る無線局を自ら開設しておらずかつ、運用をしていない者。
SIM (Subscriber Identity Module)	携帯電話の加入者および契約に対する識別子番号を保持するモジュールであり、広域通信でのセルラーネットワークにおけるセキュリティにおいて大きな役目を果たしている。
MEC (Mobile Edge Computing)	セルラーネットワーク外のクラウドで、アプリケーションレイヤのコンピューティングやデータベースアクセスを行うのではなく、セルラーネットワーク内の基地局近傍やコア網内に、処理遅延の短縮などを目的として、それらの演算資源を持つこと。

1.2 LTE

(1) V2N(広域通信)と (2) V2V/V2I/V2P(狭域通信)とに大別できる。(1) は端末から MNO の

基地局を経由し通信するものを言い、スマホや車載通信モジュールなど、現状商用サービスの中心となっている。なお、これを車車間の通信に用いる場合は V2N2V と呼ばれるなど、V2N を用いた V2X サービスの実現形態として V2N2X と記載されることもある。(2) は端末と端末同士で直接、モバイル事業者の基地局を経由せず通信するものを言う。初期版の標準化は完了し、フィールドトライアルのフェーズである。

1.2.1 広域通信 (V2N) 概要

- 端末からモバイル事業者の基地局を経由し通信するものをいう。コア網と接続した基地局を用いて面的なエリア整備を行うことで広域通信を提供する。
- 通常、端末へ SIM カードや eSIM を装着し、モバイル事業者と契約（サブスクリプション）して利用する¹。一般にはコア網と基地局設備（鉄塔、アンテナ、無線機）は MNO 毎に設置される。
 - ✧ 特例的に、アンテナなど基地局設備の一部は、地下空間などで共用されている。
- ある MNO の基地局設備は、当該 MNO の SIM か、またはローミング²の場合など、協定のある MNO や MVNO の SIM を装着した端末としか接続できない。
- 原則的に、端末との通信トラヒックはすべて MNO または MVNO のコア網に流入し、そこからクラウドサーバや自社の基地局配下の端末、また他の MNO や MVNO 配下の端末に転送される。
 - ✧ 特例的に、端末からの一部のトラヒックを選別してコア網に入れず、折り返すルーティングを行うシステム（MEC の一種）も標準化提案されており、フィールドトライアルのフェーズである。
- データの優先制御は標準化³され、実装されているが、優先制御を行った場合も通信帯域および置局の観点で発呼、帯域確保、遅延保証などを担保するものではない。
- 広域通信では Rel-14 で定義された端末と端末同士で直接通信する狭域通信用の拡張機能

¹ 1.9GHz 帯の sXGP (shared eXtended Global Platform)、900MHz 帯自営用移動通信システムへの LTE 技術導入、2.4GHz 帯や 5GHz 帯を利用する MulteFire など、モバイル事業者のライセンス帯域を用いない自営 LTE では異なることもある。

² MNO 同士の間、あるいは MNO と MVNO との間で協定を結び、基地局設備全体およびコア網の一部を共用することで、国外などサービス範囲外での接続を実現する方式。

³ 3GPP によって、帯域保証の有無や遅延、優先度、パケットロス率などに応じて 15 段階 (Release 14 の場合) の優先順位 (QCI: QoS Class Identifier) が決められている。例えば、VoLTE の音声のように、途切れては困るサービスの場合は、帯域保証あり、優先度 2、遅延は 100ms 以下という優先順位が高い QCI=1 が設定されている。一方、Web 閲覧やメールのようにリアルタイム性が低いサービスの場合は帯域保証がされない優先順位の低い QCI が設定されるのが一般的である。

の利用は必須でない。

- 主にユニキャストで運用されているが、マルチキャスト（eMBMS、SC-PTM）も標準化され、eMBMS については国内ではフィールドトライアルのフェーズであり[11][12]、国外では実用されている国もある。
- 現状商用サービスの中心は LTE であるが、ほとんどの端末が GSM、WCDMA、HSDPA/HSUPA といった従来の規格もサポートすることで特定の規格のみをサポートするネットワークに対する接続性をサポートしており、LTE においても初期の規格からのネットワークにおける複数規格の共存性を確保してきており今後も同一ネットワークの共存性は確保されることが期待できる。また基地局が端末能力にあわせた制御を行うことで、ネットワークにおける共存性を確保しながら LTE 規格の中でも新たな機能を追加している。

1.2.2 狭域通信（V2V/V2I/V2P）概要

- 端末と端末同士で直接、モバイル事業者の基地局を経由せず通信するものをいう。そのため、基地局を経由する広域通信に比べて、到達距離には制限があるが、基地局圏外でも通信することが可能であり、広域通信に比べてより短い遅延で通信ができる。広域通信のみに比べて、Rel-14 で定義された V2X 用の実装が必須である。
- SIM の存在は必須でなく、モバイル事業者との契約なしに通信が可能である。そのため、共用周波数を用いることで、広域通信のモバイル事業者が異なった端末同士であっても直接通信が可能となる。
- 数百～数千バイト程度のパケットの低遅延伝送に特化した通信方式であり、高データレート通信は想定されていない
- 主にブロードキャストでの運用が想定されているが、標準規格上はユニキャストも可能である。
- 端末内での広域通信機能と狭域通信機能をどのように共用して実現するかは、端末またはチップセットの実装依存となるが、広域通信と狭域通信に用いる周波数が近接しているとといったケースなどを除けば、広域通信機能と狭域通信機能はそれぞれ独立での動作を標準化仕様は要求している。独立動作が難しい場合に狭域通信の送信を優先させることが可能である。
- Rel-15 LTE V2X の端末は Rel. 14 LTE V2X 相当の機能も有している。そのため Rel-14 の端末と Rel-15 の端末が混在した環境下で運用する場合は、基本的な通信を Rel. 14 など従来の通信規格で送受することでバックワードコンパチビリティの確保が期待できる。
- 優先制御および Congestion control が標準化されている。優先制御を行った場合も通信性能を担保するものではない。

-
- 優先制御については TS23.285 [10]の 4.4.5.1 章において、network scheduled operation mode (mode3) と UE autonomous resources selection mode (mode4) 両方で適用される条件、mode3 の時に追加適用される条件、mode4 の時に追加適用される条件がそれぞれ記載されている。PC5 を利用する通信には、TS23.303 の 5.4.6.1 に記載されている PPPP (ProSe Per-Packet Priority) [11]の仕組みが適用される。PPPP には 8 つの優先度クラスがあるが、例えば PPPP の優先度 1 を LTE の QCI(1.2.1 参照)1 または 2 に紐づけるなど、いわゆる「マッピング」については標準化されておらず、今後の課題の一つである。

1.2.3 標準化の動向

- Rel-8 LTE 導入
- Rel-9 eMBMS 導入（下りブロードキャスト）
- Rel-12 D2D（パブリックセーフティ向け狭域通信）導入
- Rel-13 SC-PTM 導入（下りブロードキャスト）
- Rel-14 V2V/V2X 向け D2D 仕様導入、SC-PTM for V2X
- Rel-15 D2D の高速化、タイムスロット短縮等導入

1.2.4 周波数の状況

- (1) 広域通信 (V2N)
 - ✧ 日本で使われている周波数: 700MHz、800MHz、900MHz、1.5GHz、1.7GHz、2.0GHz 及び 3.4GHz 帯
 - ✧ 端末普及台数(契約数): 1 億 3139 万契約 (2018.12 時点)
 - ✧ 国内では V2N を想定した実証実験や技術検証も実施されている[11][14][15]
 - ✧ 海外でも V2N を用いた実証実験が実施されている[16]
- (2) 狭域通信 (V2V/V2I/V2P)
 - ✧ 既存の LTE と同一周波数帯での混在運用は部分的には標準化されているが、運用が困難であり、専用周波数が想定されており、3GPP では 5855 – 5925 MHz の周波数が規格化されている[17]
 - ✧ 国内では 5.8GHz 帯の実験試験局免許によるフィールドトライアルを含む技術検討のフェーズである[14][15]。総務省による技術試験事務で、Connected Car 社会の実現に向けた既存 ITS 用無線システムを補完する新たな無線システムの技術的条件等に関する調査検討も実施されている。
 - ✧ 中国では 5905 – 5925 MHz の 20 MHz 帯域幅の割り当てが決定されており[18]、大規模フィールドトライアルや運用方法の検討が行われている[19]。
 - ✧ 欧米では 5GAA など 5.9 GHz 帯の ITS 周波数での LTE V2V/V2I/V2P 適用可能性

に関する検討が行われている[20][23]

1.3 5G および NR

1.3.1 標準化の動向

第5世代携帯電話システム（5G）では、高速大容量通信のさらなる高度化（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）、多数同時接続を実現するマシンタイプ通信（mMTC：massive Machine Type Communications）、超高信頼・超低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）などさまざまな利用シナリオをサポートすることが期待されている[22]。3GPP では、LTE の拡張としての 5G に加え、LTE、LTE-Advanced との方式的な後方互換性を無くし大きなゲインが見込める新たな無線アクセス方式である NR（New Radio）の標準仕様が行われてきている。NR ではさまざまな利用シナリオを考慮した上で、既存 LTE で利用されてきた周波数帯に加え 100 GHz 帯程度までの高周波数帯の利用を想定し、柔軟な無線インタフェースの仕様化や、高周波数帯に対応した無線性能仕様の策定を行ってきている[25]。

NR では、2018 年 6 月までに行われた Release 15 において初版の標準仕様が策定された。Release 15 NR では、eMBB と URLLC をターゲットとした仕様化が行われており、2020 年 3 月までに予定されている Release 16 においてリモートドライブのユースケースを含む URLLC の信頼度の向上や、NR を基にした車車間通信の仕様など様々な拡張が行われる。mMTC としては LTE を基にした NB-IoT や LTE-M の拡張が行われている。また Release 15 NR 仕様では、ノンスタンドアローンと呼ばれる、NR と LTE を組み合わせてエリアを提供する形態と、スタンドアローンと呼ばれる、NR 単独でエリアを提供する形態の 2 種類の形態をサポート可能な仕様化が行われている。ノンスタンドアローンおよびスタンドアローンのどちらの形態でも、NR のカバレッジエリア外においては LTE もしくはそれ以前のセルラー無線規格を端末は通常サポートしておりネットワークに対する接続性を確保している。

1.3.2 国内での周波数およびサービス展開予定

日本国内においては 5G 向けの新周波数として、3.6 – 4.1 GHz, 4.5 – 4.6 GHz, 27.0 – 28.2 GHz, 29.1 – 29.5 GHz が各モバイル事業者割り当てられた[26]。加えて自営用の 5G 周波数についても検討されている。また 3GPP 仕様では既存 LTE の周波数帯も NR として仕様化されており、700, 800, 900 MHz, 1.7, 2, 2.5 GHz 帯などが仕様化されている[27]。国内における 5G 関連サービス展開については、サービス提供者や提供地域、サービス内容によって開始時期、展開方法が異なることが想定されるため、現時点で商用サービス展開内容を述べることは困難であるが、ノンスタンドアローン運用を活用し Release 15 NR と LTE を組み合わせたサービス展開や、Release 15 LTE 仕様を活用したサービス展開などが 5G サービスの一例として想定される。総務省の指針には、2 年

以内および5年以内エリア整備条件が提示されている[28]。

第2章 通信に期待するユースケースとその役割

2.1 ユースケース例の選定

本章では、セルラーV2Xを用いる利点が生かせる可能性があるユースケース例を選定する。ユースケースの選定に当たっては、以下の事項を配慮した。

- 1) 主に自動運转向けの通信で扱われる情報の更新頻度に着目し、広く議論がなされているダイナミックマップと対比させて整理する。ここでダイナミックマップとは静的な高精度3次元地図情報(基盤地図)と、時間とともに変化する位置特定可能な情報(動的情報、準動的情報、準静的情報)から構成されるものであり、静的～動的なレイヤを紐付けることで整合的に活用する、という概念である。国内では内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)などで検討が進められている[29](図2.1)。
- ※ 図中の時間は一般的な情報の更新頻度であり、情報毎の許容遅延とは必ずしも一致しない。
- 2) 図2.1をベースに、扱う情報や利用レベル(主として信頼性)などと、想定されるアプリケーションの例を挙げ、それらを関連付ける(図2.2)。
- 3) 図2.2のうち、情報の更新頻度ごとにユースケース例を選定した(図2.2中に図2.1の色使いとあわせて着色したセル)。

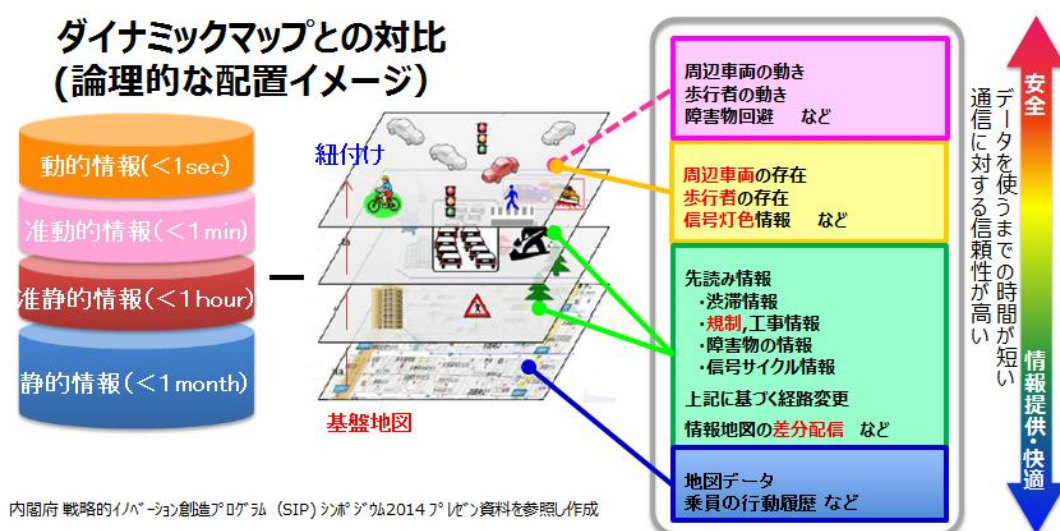


図 2.1 扱うデータとダイナミックマップとの対比イメージ

ユースケース例の整理（扱うデータと想定されるアプリの視点より）

情報の更新頻度		扱う情報の例	用途	利用レベル(用途)	想定アプリ	情報を使う場所	備考
●動的	複数センサの一つとして、自動運転の制御に反映 (いわゆる多重系)	歩行者・自転車等の存在	安全	制御介入/注意喚起	歩行者事故防止	一般道	この領域は、通信を多重系センサの一つとして、他センサと併用することで、システムを成立させられる可能性がある 用途にもよるが、信頼性の担保がカギ
		周辺車両(含：二輪)の存在	安全	制御介入/注意喚起	出会いがし事故防止／車線変更支援	一般道/自専道	
		(直前の)事故車・落下物	安全	制御介入	追突回避・緊急ブレーキ ①	一般道/自専道	
		前車の急激なブレーキ	安全	制御介入		一般道/自専道	
		前走車のリアルタイムな動作情報	円滑・快適	制御介入	隊列走行	自専道	
		自専道本線車両情報	円滑・快適	制御介入/注意喚起/情報提供	合流支援	自専道	
		信号灯色(現示)情報	安全・快適	制御介入/注意喚起	交差点通過支援 ②-1	一般道	
		交差点対向車両・横断歩行者の存在	安全	制御介入/注意喚起	右直/左折巻込み/横断歩行者事故防止	一般道	
		ETCゲート開閉情報	安全・快適	制御介入/注意喚起/情報提供	急閉時の衝突防止/ゲート選択/経路変更	自専道	
●准動的	先読み情報	信号サイクル情報	安全・快適	注意喚起/情報提供	ジレンマ回避/赤信号注意喚起 ②-2	一般道	自動車側の要件によるが、セルラー通信を他の通信と併用、または、そのまま活用できる可能性あり
	安全な停止や車線変更に活用するレベル	障害物/故障車等の存在情報	安全・円滑	情報提供	車線変更支援/ルート選定 ③	一般道/自専道	
		緊急車両接近	安全・円滑	情報提供	車両退避支援 ④	一般道	
			車線別渋滞情報	安全・円滑	情報提供	車線変更支援/ルート再探索	
●准静的	事前のルート変更等への活用レベル	更新地図情報(走行中の部分更新)	円滑	情報提供		一般道	従来のセルラー通信と同等の性能・仕組みで活用できる可能性あり
		規制情報	円滑	情報提供	経路再探索 ⑤	一般道/自専道	
		工事情報	円滑	情報提供		一般道/自専道	
		渋滞情報	円滑	情報提供		一般道/自専道	
		渋滞末尾情報	円滑	情報提供	退避支援／自動⇒手動判定	自専道	
		エアバッグ等の開閉情報		情報提供	HELP	一般道/自専道	
●静的	自動運転の経路作成に必要レベルの情報	高精度地図			経路探索	一般道/自専道	いわゆるデレマ活用であり、本検討の対象外
		更新地図情報(停止中の取得)				一般道/自専道	

図 2.2 ユースケース例の整理

本書で扱うユースケース例として、以下の 5 つを選定した。

・動的データ：

①落下物、事故車等による 「衝突回避・緊急ブレーキ」

②-1 信号現在灯色情報活用による 「交差点通過支援」

選定理由) 通信を車両センサの一つとして扱う場合の代表的なユースケースであり、特に高信頼性の担保が可能かの検討が必要と思われる事例。

・准動的データ：

②-2 信号サイクル情報活用による 「ジレンマゾーン回避/赤信号注意喚起」

③障害物/故障車等の存在情報による、「車線変更支援/ルート選定」

④緊急車両接近情報による、「車両退避支援」

選定理由) 従来の DSRC と比較し、相互利用や広域性等、セルラー網の利点を活かせる可能性のある事例。

・准静的データ：

⑤工事・規制情報等による、「経路再探索」

選定理由) 従来のセルラーネットワークが活用可能と思われるが、配信エリア、(ネットワーク障害等)異常時への対応、長期的な事業の継続性等、既存ビジネスモデルとの整合等が必要と考える事例。

この 5 つのユースケースで考えられる利用形態や課題は以下のとおりである。

2.2 ユースケース 1: 落下物、事故車等による 「衝突回避・緊急ブレーキ」

利用形態

車載センサにより落下物を検出した車両や、急制動をかけた車両がその情報を周囲に配信する。

性能

通常、ブレーキ時のドライバーの応答時間として[0.75]秒が想定され、本ユースケースでの情報提供はこれよりも十分短い時間で実施される必要がある。時速[100] km/h での停止距離は[67]m 程度であり、必要となる情報提供の範囲は数十～数百メートルの範囲と想定される。このような近距離の情報提供に関しては V2V で十分な低遅延・信頼性を達成できる可能性がある（付録 A.3 に関連資料を記載）。

遮蔽、フェージング、電波干渉などを考慮した上で十分な性能を達成できるかさらなる検討が必要である。最低受信感度に対するシャドウイング・フェージング・干渉電力マージンだけでなく、マルチアクセス方式などに起因する性能への影響も含めた検証が必要である。また、非常に高い信頼性が求められるため、車載センサと組み合わせた利用が考えられるが、その際に通信に求められる信頼要件の検討、および信頼性を満たすかの検証が必要である。非常に高い信頼性での低遅延通信の性能保証があることが望ましいが、無線区間において通信性能の保証は困難であり、利用可能条件の精査や性能要件を満たせない場合（通信混雑時や機器故障時など）の扱い・対策に関する検討が必要である。

標準化

本ユースケースを提供するためのメッセージフォーマット、通信プロトコルなどの標準化および相互接続性を担保するための試験や認証に関する検討が必要である。国内で LTE V2V 用に利用可能な周波数は 2019 年 6 月現在では存在しないため、周波数割当てに関する検討も必要である。通信仕様・周波数双方の観点で既存システムの拡張・共存や、将来的な拡張への柔軟性などを考慮した設計が必要である。また、アプリケーションの観点では急制動などの車両制御情報を用いた通信の生成条件や生成する情報について、送受信車両間での認識を合わせ、受信情報を有効に活用するためのガイドライン策定も必要と考えられる。

法規認証上の取り扱い

本ユースケースは自動運転制御への反映も想定したものであり、どこまで車両や部品としての認証・検査の対象にするか、必要な場合どのように認証・検査するか明確化が必要である。

セキュリティ

情報の真正性の保証が重要になる。位置情報、ブレーキ情報などの改ざん、GPS ジャミングなどに対する対策が必要である。例えば、端末・アプリケーション認証、メッセージへの電子署名が考えられる。また各車両所有者から情報使用に関する同意を獲得する必要がある。

既存 ITS との関係

本ユースケースの通信は前車のブレーキなどのイベントにより発生するものであり、通信頻度が低いと考えられる。そのため容量の観点では既存 ITS を用いた情報提供の可能性がある。一方で必要とされる信頼性は既存 ITS よりも高いため、既存の ITS 通信との間で干渉が生じ、高い信頼性が担保できない可能性がある。そのため既存 ITS とは異なる周波数（チャンネル）を用いるなど、他サービスによる干渉の影響を受けない運用とするメリットもあると考えられる。国内では新たな周波数として、5 GHz 帯の検討が進められているが、5 GHz 帯は 760 MHz 帯などに比較して伝搬損失が高いため、LTE は他の通信方式に比べて受信感度が高い特徴を生かすことができる（付録 A.3 に関連資料を記載）。

2.3 ユースケース 2: 信号情報活用による 「交差点通過支援/ジレンマゾーン³回避/赤信号注意喚起」

現在の信号および信号情報配信システム

信号情報（現在灯色およびサイクル情報⁴）の配信において、信号機の構成を考慮したサービス提供が必要である。信号機には（a）交通管制センターに接続し、交通管制センターが灯色の秒数を集中制御するもの（b）交通管制センターとは接続せず、あらかじめ設定した時間パターンに基づいて灯色を制御するものの 2 種類が存在し、全信号の約 3 割が交通管制センターに接続されている状況である。残りの信号機については交通管制センターから状態を取得することができない。さらに、（c）それぞれの場合において交差点付近に設置した感知器や押しボタンに基づき灯色が制御され得るものがある。（a）や（c）では信号サイクル情報は頻繁に変化する。

現在、国内では光ビーコンおよび 700MHz 帯 ITS による信号情報の配信サービスが提供されている。これらは V2I に分類される通信形態を採用しており、信号近傍に設置された専用の通信機を用いて情報配信を実施するため、上記の信号機構成いずれにも対応可能である。信号情報の配信は低データレートでの通信であり、特に 700 MHz 帯 ITS は通信距離（情報提供範囲）も交差点通過支援の用途では十分確保できると考えられる。

利用形態

既存の信号情報配信システムの存在を考慮すると、本ユースケースを目的とした V2I の形態での

³ 青信号から黄信号への変化時に、黄信号終了時までには停止線を越えることも無理なく停止することもできない領域（ジレンマゾーン）[30]

⁴ 信号表示が一巡することを 1 サイクルといい[31]、確定している範囲での灯色順序と各灯色の予定秒数をここではサイクル情報と呼ぶ

セルラーV2X 利用の効果は限定的と考えられる。一方で V2I の形態では交差点毎にインフラ整備が必要になるため全国への通信インフラ整備が課題であり、広域通信である V2N の利用可能性が重要となる。また、信号情報配信において現在灯色の配信ができる場合、合わせてサイクル情報の配信が可能であれば、現在灯色情報配信による動的な交差点通過支援だけではなく、ジレンマゾーン回避、赤信号注意喚起を統合した形での情報提供が考えられる。実現形態について戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）での調査結果[32]を参考に下記の通り整理する。

V2N の形態での信号情報配信においては、V2X アプリケーションサーバを信号情報配信サーバとして活用する信号情報取得・配信方法として図 2.3 に示す 2 通りの実現形態が考えられる。

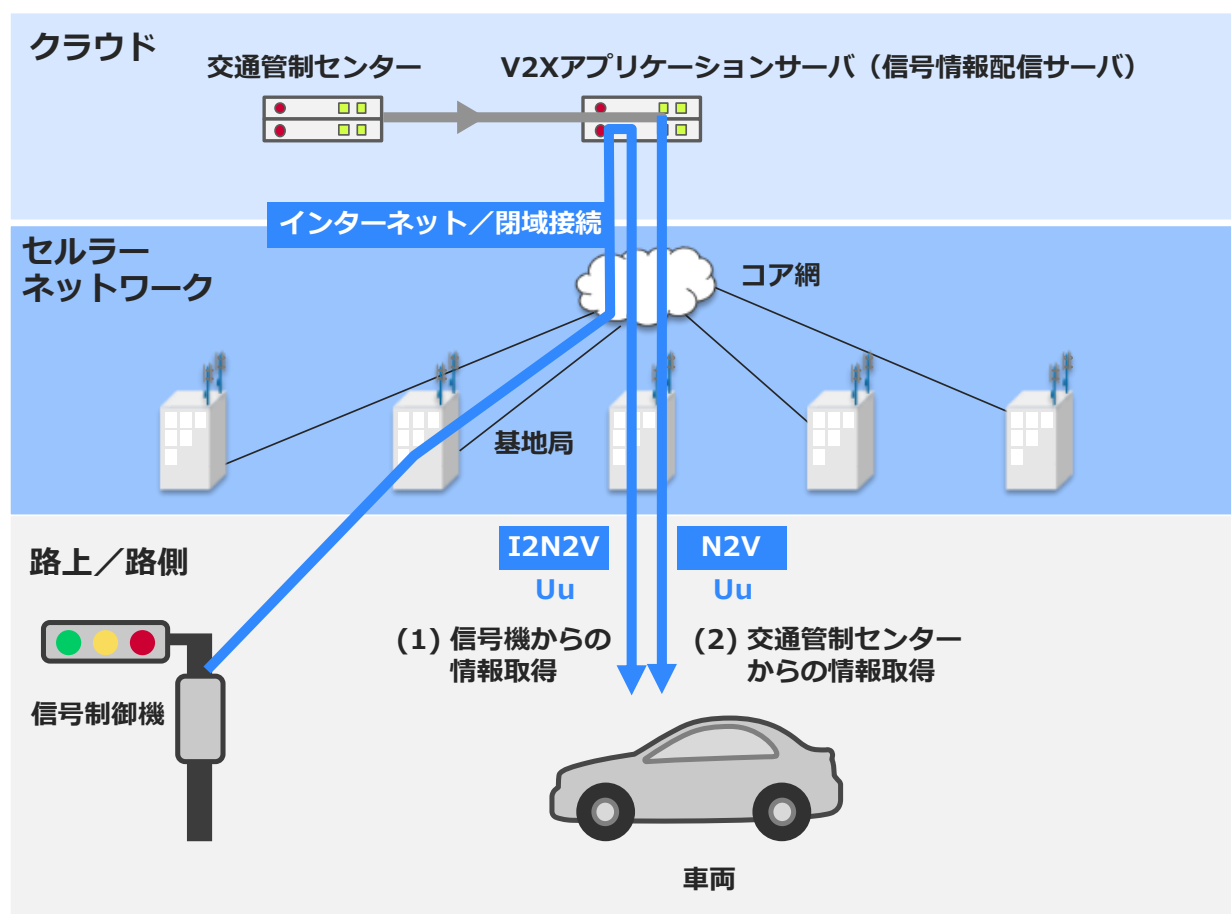


図 2.3 信号情報の取得・配信形態の例

(1) 信号機からの情報取得

信号機に LTE/5G 通信端末を接続し、信号情報配信サーバとの接続（信号情報のアップリンク）に利用する形態である。V2I と同様、信号サイクル情報の取得可能な信号機への交換が必要となるため、インフラ投資の課題に対する対策としては効果が限定的である。ただし、前述 (b)

のように「あらかじめ設定した時間パターンに基づいて制御されている信号」においては、信号サイクル情報を准動的情報と捉えて別手段で時間パターンテーブルを生成することなどにより、V2I よりも投資費用を抑えて V2N を実現できる可能性がある。

(2) 交通管制センターからの情報取得

信号情報配信サーバと交通管制センターを専用線や VPN で接続し、交通管制センターから信号情報の提供を受けてサービス提供する形態である。現在の集中制御信号機の制御方式では、管制センターからの「信号サイクル方針」を受けた信号制御機が感知器のセンシング状況等も考慮し信号サイクルを決定する。その結果をサイクル実行後に交通管制センターに通知している。このため、求められる情報精度等によっては、信号制御機が決定した信号サイクル情報をサイクル実行前に管制センターに集約し、さらに情報配信サーバ経由で配信する仕組みが必要となり、実現コスト（情報配信サーバの設置コスト）という観点で導入効果は限定的となる可能性がある。

いずれの場合においても、本ユースケースにおいてサービス提供者および提供範囲（責任分界点）に関する議論も必要である。信号情報配信サーバを民間事業者が運営する場合、信号情報の民間開示が必要になる。サービス提供範囲が信号情報配信サーバからの信号情報配信まででセルラーネットワークはユーザ側で契約を実施する場合、信号情報配信事業者はセルラーネットワークの通信品質について関与できない。

性能

性能要件によってはセルラーネットワークのエリア・品質改善も含めた検討が必要であるため、サービス提供範囲と合わせた議論が必要となる可能性がある。例えば、[32]では 100～300 ms といった許容遅延に関するアンケート結果が示されている。信頼性・可用性など含めた要件の具体化を進める必要がある。無線区間だけではなく、有線区間の伝送路遅延についてもセルラーネットワーク、交通管制センター、信号情報配信サーバ間の伝送路を考慮した設計が必要である。[33]では信号制御機から信号情報を取得する構成での交通信号制御機における遅延時間は 137～350ms と報告されており、性能要件によっては通信以外の遅延も含めた検討が必要である。非常に高い信頼性での低遅延通信の性能保証があることが望ましいが、無線区間において通信性能の保証は困難であり、性能要件を満たせない場合（通信混雑時・機器故障時・ネットワーク障害時など）の扱い・対策に関する検討が必要である。既存セルラーネットワークを利用する場合、モバイル事業者ごとのサービスエリア差異に関する対応も検討が必要である。

標準化

本ユースケースを提供するためのメッセージフォーマットや通信プロトコルなどの標準化、および相互接続性を担保するための試験や認証に関する検討が必要である。また、信号情報を受信した

車両が適切に利用できるよう、信号情報の精度を認識可能なメッセージフォーマットや信号情報の取得のため信号関連機器との接続インタフェースに関する検討も必要である。さらに、V2N での情報配信において情報配信のエリア区分を統一化するガイドラインなども検討が必要である。

法規認証上の取り扱い

本ユースケースは自動運転制御への反映も想定したものであり、どこまで車両や部品としての認証・検査の対象にするか、必要な場合どのように認証・検査するか明確化が必要である。

セキュリティ・プライバシー

情報の真正性の保証と、その責任所在が重要になる。認証されていない機関からの情報や改ざんされた情報が配信されないよう、例えば配信情報への電子署名埋め込みや、情報の提供元・情報配信サーバ・情報受信車両の間でのセキュアな接続を利用することが考えられる。また、配信制御のための車両トラッキングによるプライバシー問題の検討も必要である。

2.4 ユースケース 3：障害物/故障車等の存在情報による、「車線変更支援/ルート選定」

利用形態

広域通信のメリットを生かし、車両センサでは検知の難しい数百 m 程度先の状況を通信によって伝達することで、事故等の現場の安全な通過（徐行等）や余裕ある走行車線変更を促す。障害物および故障車の検出は走行車両の急ブレーキ情報等の統計情報から推定することが可能であるが、検出方法の高精度化に関する検討が必要である。

性能

数秒～数十秒オーダーの遅延が許容できる可能性があり、広域に情報伝達できる既存セルラーの活用が期待できると考えられる。性能要件を満たせない場合（通信混雑時・機器故障時・ネットワーク障害時など）の扱い・対策に関する検討が必要である。遅延要件によって道路上で許容されるカバレッジホールのサイズが決まるため、本ユースケースにおいても要件次第では通信カバレッジが課題になり得る。既存セルラーネットワークを利用する場合、モバイル事業者ごとのサービスエリア差異に関する対応も検討が必要である。

標準化

本ユースケースを提供するためのメッセージフォーマットや通信プロトコルなどの標準化、および相互接続性を担保するための試験や認証に関する検討が必要である。既存 ITS から障害物や故障車などの情報を取得する場合は、既存 ITS インフラとの接続インタフェースに関する検討も必要である。また、V2N での情報配信において情報配信のエリア区分を統一化するガイドラインなども検討が必要である。

セキュリティ・プライバシー

情報の真正性の保証、その責任所在が重要になる。本ユースケースでは、情報提供元の車両や路側センサと、障害物・故障車の判定を行う機関の双方の観点での認証が必要である。認証されていない機関からの情報や改ざんされた情報が配信されないよう、例えば配信情報への電子署名埋め込みや、情報の提供元・情報配信サーバ・情報受信車両の間でのセキュアな接続を利用することが考えられる。また、配信制御のための車両トラッキングによるプライバシー問題の検討も必要である。

2.5 ユースケース 4：緊急車両接近情報による、「車両退避支援」

利用形態

緊急走行中の緊急車両の接近検出や信号交差点(青)での緊急車両通過のための停止等のために、緊急車両の接近を通知する。緊急車両やその管理センターからの情報提供を想定する。将来的には、広域通信を使うことで、緊急車両の走行計画等を同時に提供し、経路上の他車両に存在を通知できる可能性がある。

性能

数百 ms オーダーの遅延が許容できる可能性があり、走行計画等との併用時には既存セルラー通信の利用が期待できる。通信距離の要件によっては V2V の併用も考えられる。性能要件を満たせない場合（通信混雑時・機器故障時・ネットワーク障害時など）の扱い・対策に関する検討が必要である。性能要件によっては通信カバレッジも課題になり得る。既存セルラーネットワークを利用する場合、モバイル事業者ごとのサービスエリア差異に関する対応も検討が必要である。

標準化

本ユースケースを提供するためのメッセージフォーマット、通信プロトコルなどの標準化および相互接続性を担保するための試験や認証に関する検討が必要である。既存 ITS や救急システムから緊急車両の情報を取得する場合は、それらとの接続インタフェースに関する検討も必要である。また、V2N での情報配信において情報配信のエリア区分を統一化するガイドラインなども検討が必要である。V2V と V2N を併用する場合、両方で配信される情報を整合させる対策や、不整合が生じた場合の受信車両側の取り扱いに関するガイドラインなども検討が必要である。

セキュリティ・プライバシー

情報の真正性の保証と、その責任所在が重要になる。認証されていない機関からの情報や改ざんされた情報が配信されないよう、例えば配信情報への電子署名埋め込みや、情報の提供元・情報配信サーバ・情報受信車両の間でのセキュアな接続を利用することが考えられる。また、配信制御のための車両トラッキングによるプライバシー問題の検討も必要である。

2.6 ユースケース 5：工事・規制情報等による、「経路再探索」

利用形態

一般道での迂回や自専道に乗る/乗らない、予めの車線変更等を十分な時間をもって行うための情報として活用。数秒オーダー以上の情報更新と、情報提供の場所を選ばず広域に情報を配信できることが求められ、セルラーの活用が期待できる。

性能

数秒オーダー以上の遅延が許容できる可能性があり、広域に情報伝達できる既存セルラーの活用が期待できると考えられる。性能要件を満たせない場合（通信混雑時・機器故障時・ネットワーク障害時など）の扱い・対策に関する検討が必要である。遅延要件によって道路上で許容されるカバレッジホールのサイズが決まるため、本ユースケースにおいても要件次第では通信カバレッジが課題になり得る。既存セルラーネットワークを利用する場合、モバイル事業者ごとのサービスエリア差異に関する対応も検討が必要である。

標準化

本ユースケースを提供するためのメッセージフォーマット、通信プロトコルなどの標準化および相互接続性を担保するための試験や認証に関する検討が必要である。既存 ITS や道路管理者から障害物や故障車などの情報を取得する場合は、それらとの接続インタフェースに関する検討も必要である。また、V2N での情報配信において情報配信のエリア区分を統一化するガイドラインなども検討が必要である。

セキュリティ・プライバシー

情報の真正性の保証、その責任所在が重要になる。本ユースケースでは、情報提供元の機関の観点での認証が必要である。認証されていない機関からの情報や改ざんされた情報が配信されないよう、例えば配信情報への電子署名埋め込みや、情報の提供元・情報配信サーバ・情報受信車両の間でのセキュアな接続を利用することが考えられる。また、配信制御のための車両トラッキングによるプライバシー問題の検討も必要である。

第3章 通信アーキテクチャ

本章では、まえがきに示したセルラーV2Xの全体構成の各要素について概説し、さらに狭域通信(V2V/V2I/V2P)、広域通信(V2N)のアーキテクチャについてLTEを例に説明する。

3.1 システム構成

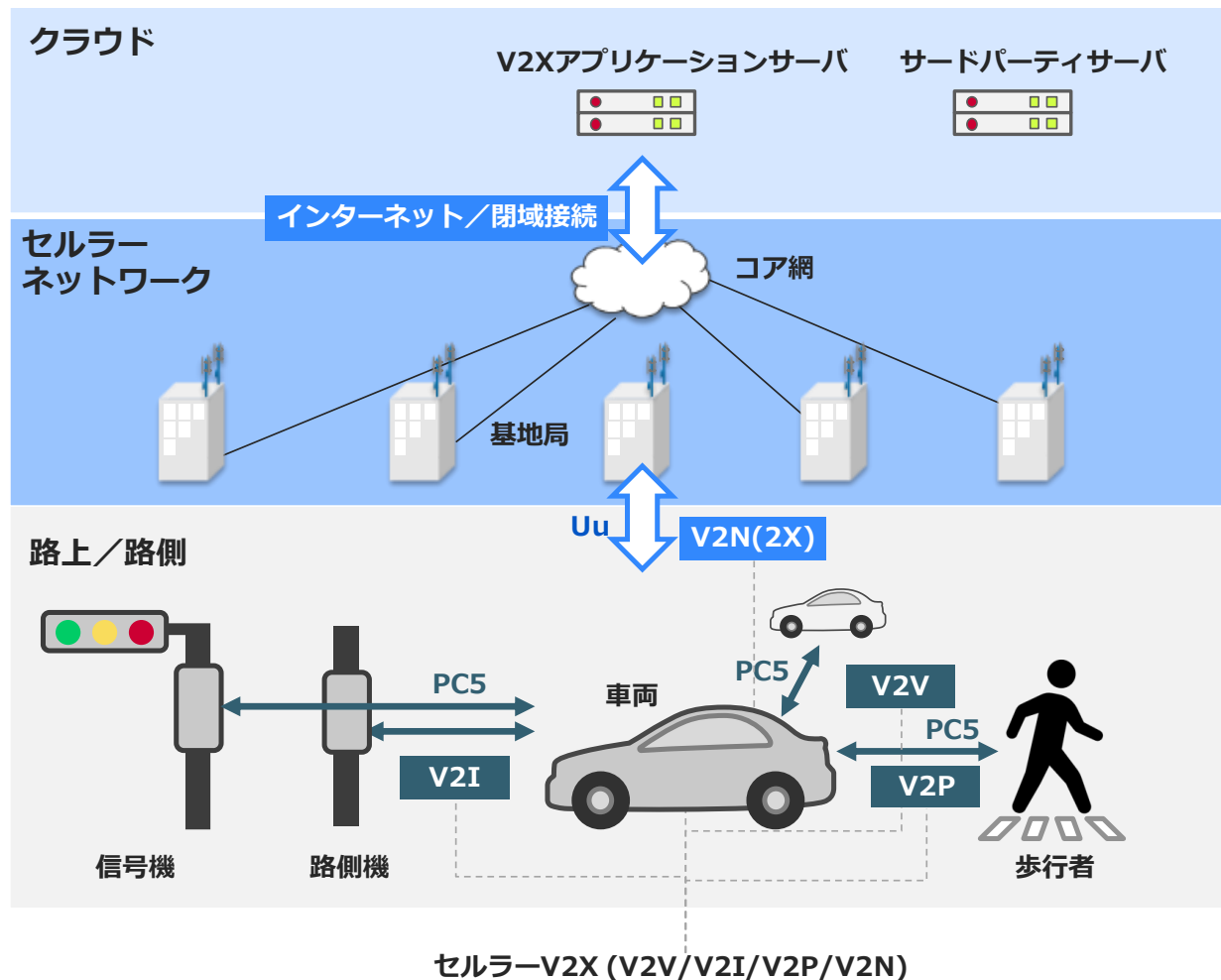


図 3.1 セルラーV2X 全体構成 (再掲)

車両

車両はGPS、CANや車載センサから取得した情報などを他の車両やネットワーク上のV2Xアプリケーションサーバなどに送信する。車載アプリケーションは狭域通信(PC5)・広域通信(Uu)の2種類の通信インタフェースいずれかまたは双方でV2Xメッセージを送受信するよう制御する。受信した情報は、車載アプリケーションを介してドライバーないし自動運転AIに対し通知される。端末コストなどの観点で一方の通信インタフェースのみをサポートする車載器や、ITSコネクトのようなDSRCを備えた車載器の可能性も検討する必要があるが、まずは狭域通信・広域通信の両方を持った端末を想定する。

路側機

路側機は路側センサや近傍の信号機と接続される可能性がある。本書では基地局機能を有する装置は路側機と呼ばず、路側機とは端末型の装置で狭域通信機能ないし広域通信機能を有する装置を指す。例えば、路側機の形態として狭域通信を主たる通信手段として用い、基幹通信網・基幹サーバとの接続の用途で専用線や広域通信のインタフェースを用いるものが考えられる。また同様の構成で信号機や路側センサの情報を基地局から情報配信する I2N2V の形態も実現できる。インフラコストを考慮して、路側機は面的なサービス提供ではなく交通の要所でのスポットサービスとしての利用を想定する。

歩行者

歩行者が持つスマートフォンなどの端末は、狭域通信ないし広域通信で周辺の車両と接続する。主たる目的は歩行者の存在情報を車両に通知することである。バッテリー消費や端末コストなどの観点で一方の通信インタフェースのみをサポートする端末も存在し得るが、ここでは狭域通信・広域通信の両方を持った端末を想定する。

V2X アプリケーションサーバ

V2X アプリケーションサーバとは、端末（路側機、車両、歩行者）同士の間で、2章で述べたようなユースケースのための情報の収集、提供、中継、蓄積を行うサーバである。実装、負荷分散や役割分担の観点で複数のサーバに分割して運用される可能性がある。サードパーティサーバ(後述)から受信する情報の配信を担うことも考えられる。V2X アプリケーションサーバと端末との間は基地局およびコア網で構成されるセルラーネットワーク経由で接続される。基地局を経由した車車間通信（V2N2V）を例にとると、通信は車から V2X アプリケーションサーバ、V2X アプリケーションサーバから車の 2 つに分割され、端末観点では通信対象は V2X アプリケーションサーバとなる。V2X アプリケーションサーバとサードパーティサーバとの間はセキュリティや通信性能などの要件に応じてインターネットないし専用線のいずれかで接続される。

サードパーティサーバ

サードパーティサーバとは、例えば信号情報、工事情報、規制情報、ダイナミックマップなどの情報を V2X アプリケーションサーバに提供するサーバであり、インターネットないし専用線で V2X アプリケーションサーバと接続される。

3.2 狭域通信（V2V/V2I/V2P）アーキテクチャ

狭域通信には広域通信との干渉を避けるため専用周波数が用いられ、V2V/V2I/V2P それぞれの通

信で共用または専用のサブチャネルで通信することを想定する。

3.2.1 プロトコルスタック

LTE における狭域通信を用いた V2V/V2I/V2P は共通の通信仕様を用いて実現され、V2V/V2I/V2P それぞれに対するサービスは上位のアプリケーション層で実現される。図 3.2 にプロトコルスタックを示す。プロトコルスタックは制御系の情報をやり取りする C-plane のプロトコルスタックとユーザ情報のやり取りを行う U-plane のプロトコルスタックがあるが、U-plane のプロトコルスタックにフォーカスして紹介する。物理層から PDCP 層⁵までが 3GPP で仕様化されており、それ以外の上位層は他の標準化団体の ITS 仕様を利用する形態となる。国内で仕様化されていないユースケースを実現する場合は新たに上位層の仕様を作成する必要がある。また、V2N が IP ベースの通信であったのに対して、狭域通信は周辺端末に対するブロードキャスト通信が主たる用途となるため、Non-IP での通信が基本となる。

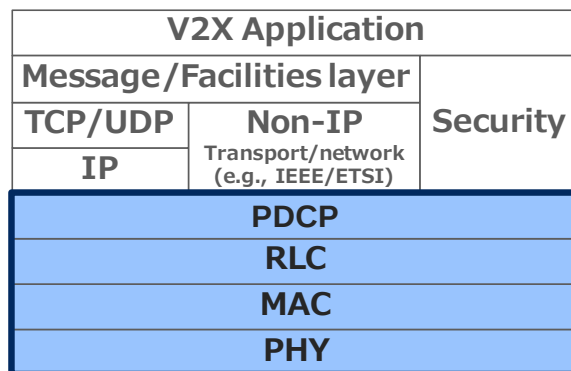


図 3.2 狭域通信のプロトコルスタック

3.2.2 通信アーキテクチャ

LTE V2X の狭域通信では、セルラーインフラへの利用度に応じて様々な運用形態が可能となっている。図 3.3 に運用形態の例を示す。セルラーインフラ利用に関わる主な機能として、パラメータ管理と送信無線リソース選択の 2 種類がある。

⁵ LTE 方式における無線インタフェースのレイヤ 2 におけるサブレイヤの 1 つで、秘匿、正当性確認、ヘッダ圧縮などを行うプロトコル

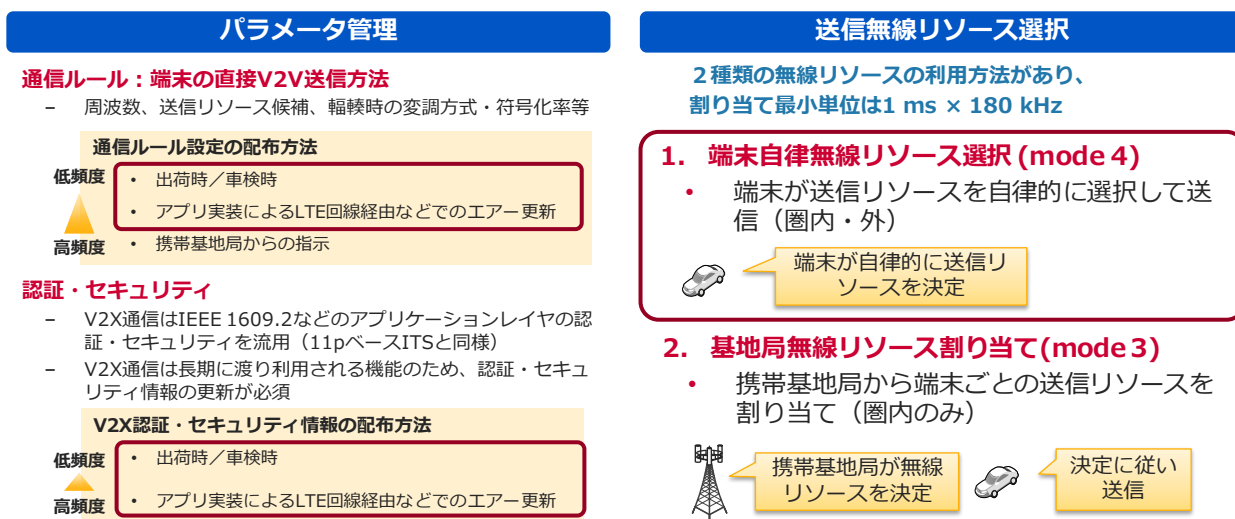


図 3.3 狭域通信の運用形態

本書では基地局エリア外でも狭域通信が利用可能なよう、セルラーインフラへの依存性が低い自律分散型の運用形態（図面赤枠）を説明する。この形態では狭域通信のパラメータが事前設定（Pre-configured [34]）されており、端末内に格納された地域毎のパラメータに基づいて端末が現在地で利用可能なパラメータに基づいた狭域通信を行う。Pre-configuration では無線パラメータが経度・緯度ポリゴン毎に設定可能となっており、国ごとに異なるパラメータを設定したり、都市部と郊外などエリア条件に合わせた通信設定の最適化したりすることも可能である。複数ユースケースを提供する場合のユースケース毎の無線パラメータ設定・管理もこの仕組みを利用して実現することが可能である。送信無線リソース選択はセンシングに基づく端末自律モード（Mode 4）を用いる。

パラメータの配布は端末出荷時に限定することも可能であるが、長期運用の中でパラメータ変更が必要になるケースも考えられる。そのためパラメータの更新も可能であることが望ましい。想定される狭域通信用のパラメータの変更頻度に応じて、パラメータ管理サーバからセルラーネットワーク経由で配布するか、運用管理機関を設けて入庫メンテナンスを前提する運用とするか、または通信仕様として規定するかなどの実現形態を決定する必要がある。セルラーネットワーク経由でのパラメータ配信においては図 3.4 に示す通り、アプリケーション層でパラメータ配布を行うことも可能であり、セルラーネットワークに特別な機能は必要ではない。

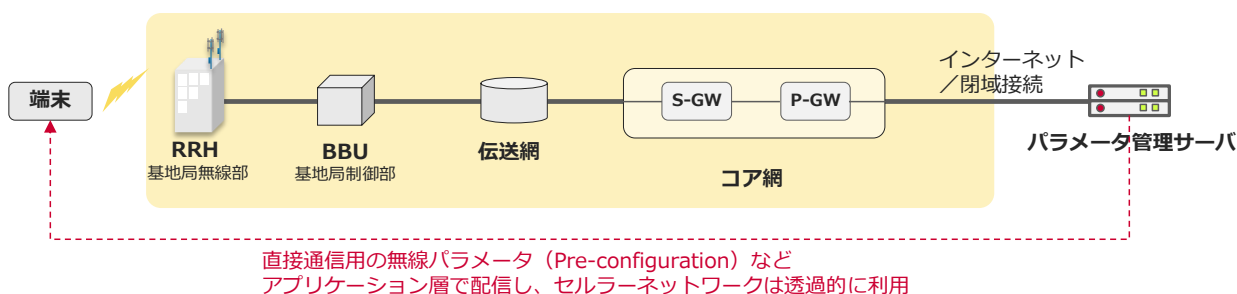


図 3.4 狭域通信パラメータのセルラーネットワーク経由での配布

LTE V2X の狭域通信は同期システムであり、端末間同期のために GPS (もしくは他の GNSS)、基地局同期信号、端末間同期信号の 3 種類を組み合わせ利用可能である。V2X では GPS から取得した端末位置を送信することも想定されるため、GPS を主たる同期ソースとしても利用することが想定される。日本は国土の 2/3 が山地でありトンネルが多く、トンネルの総延長距離は 4,620 km に及ぶ[35]。トンネル内では GPS が受信できないため GPS 同期以外の同期方法の必要性についても議論が必要である。

3.2.3 セキュリティ

前述の通り、狭域通信 (V2V/V2I/V2P) では他の標準化団体で規定されたアプリケーション層のセキュリティを適用することが前提となっている。多くの ITS 仕様ではアプリケーション層でのセキュリティ・プライバシー保護のため、公開鍵暗号を利用した認証基盤である電子証明書方式 (PKI: Public-Key Infrastructure) 方式を用いている。PKI に用いる電子証明書は認証局 (CA: Certification Authority) により配布される。暗号の危殆化対策の一つとして電子証明書の OTA 更新を可能としておくことも考えられる。PKI には CA の運用コスト、更新した証明書や失効証明書リストの配布コスト、車載器での署名検証処理コスト増加等の懸念点があるため、既存の ITS コネクト等で用いられる共通鍵の事前共有方式を使うことも考えられる。

3.2.4 複数 MNO 対応

図 3.3、図 3.4 に示した通り、ネットワークを介さない狭域通信を用いる V2V/V2I/V2P において、セルラーネットワークの専用機能を利用しない運用形態が可能である。パラメータ更新などでパラメータ管理サーバとの接続を行うためセルラーネットワークを利用する可能性はあるが、MNO 固有機能の利用は必須ではない。そのため契約 MNO が異なる端末間での V2V/V2I/V2P での相互接続性に問題が生じない運用が可能である。

3.3 広域通信（V2N）アーキテクチャ

V2N で用いる広域通信について、V2X 用の専用インフラを用いるシナリオも存在するが、インフラ投資・運用コストの現実性から、既存の MNO のインフラを利用することを検討する。この場合新たな周波数割当は必須ではない。その他、総務省で検討されているローカル 5G [36] や米国の Public safety LTE のように専用周波数と共用周波数の中間的な周波数割り当ての運用形態も可能性があるが、まずは広く利用されている既存の MNO インフラ利用の形態を前提として検討する。以下では V2N の通信アーキテクチャ、プロトコルスタック、情報配信のために必要となる Geomessaging について概要を説明する。類似の検討として[37][38]がある。

3.3.1 通信アーキテクチャ

V2N を実現するためのセルラーネットワークのアーキテクチャについて LTE ネットワークを例に図 3.5 を用いて説明する。類似のアーキテクチャ例は 3GPP TS23.285 [10]の Figure 4.2.1.1-1 にまとめられている。また詳細なアーキテクチャに差異はあるものの、同様の構成は 5G でも実現可能である。1 章で述べたとおり現在のセルラーシステムは基本的にユニキャストで運用されているため、以下では短期的に実現が見込まれるユニキャストでのアーキテクチャについて説明する。

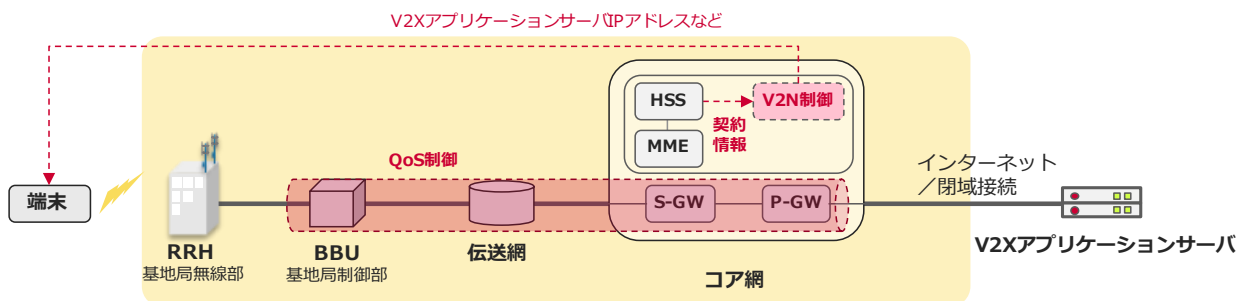


図 3.5 セルラーV2X のシステムアーキテクチャ例

V2N アプリケーションパケットは一般的なセルラー通信と同様に、端末と V2X アプリケーションサーバの間で基地局、伝送網（無線方式固有の通信網部分）およびコア網（無線方式非固有の通信網部分）を経由して接続される。加えて本アーキテクチャでは、V2X 独自の機能として、コア網内に V2X 制御用の機能が付加的に利用される可能性がある。本機能は、モバイル事業者独自の V2X 機能全般を担う論理的な機能である。モバイル事業者独自の運用パラメータの配布や V2X アプリケーションサーバの IP アドレス配布などが想定される。V2N 通信に対して QoS 制御を適用する場合を想定した QoS クラス識別子(QCI : QoS Class Identifier) も規定されている。ただし 1 章で述べたとおり、QoS 制御により完全な品質保証が提供できるものではない。また、狭域通信を用いる V2V/V2I/V2P にセルラーインフラの制御を利用するか、契約形態に応じて V2N サービスの提供有

無や内容を切り替えるかといった検討も必要であり、それらの場合は、HSS (Home Subscriber Server) に関する契約情報を格納するかどうかの検討も必要となる。

3.3.2 プロトコルスタック

続いて V2N のプロトコルスタックについて図 3.6 の例を用いて概要を紹介する。なお同図では簡単のため S-GW を省略している。プロトコルスタックは制御系の情報をやり取りする C-plane のプロトコルスタックとユーザ情報のやり取りを行う U-plane のプロトコルスタックがあるが、U-plane のプロトコルスタックにフォーカスして紹介する。

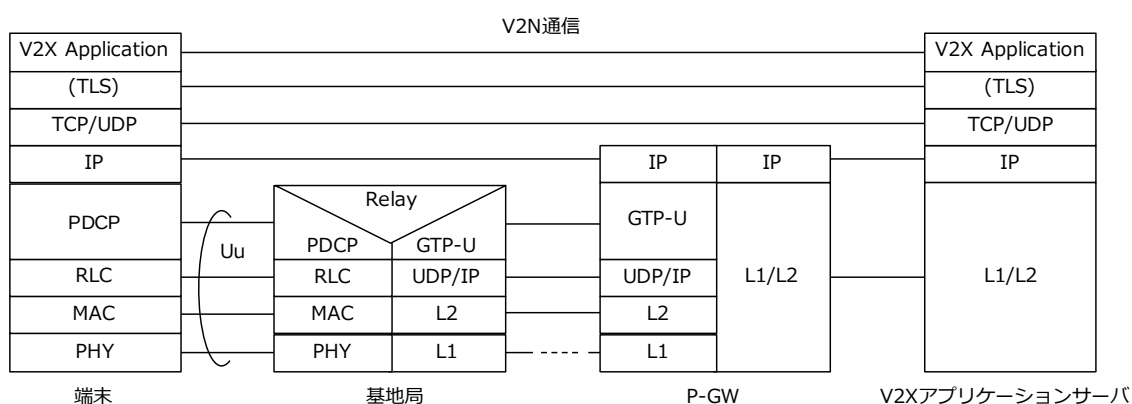


図 3.6 V2N プロトコルスタック例

LTE ネットワークは狭域通信を除きオール IP のシステムであり、IP パケットは P-GW を介して端末と V2X アプリケーションサーバの間で伝送され、途中の基地局や S-GW は透過的に接続される。IP より上位のプロトコルは 3GPP 仕様で特に定められたものではなく、要求条件に応じて IETF (Internet Engineering Task Force) などで規定されているインターネット標準や各地域の ITS 仕様を利用する必要がある。上位レイヤ仕様として定めるべき範囲、ガイドラインなどを規定すべき範囲の整理が必要である。

V2N2V のようにネットワークを介して端末間が通信を行う場合、少なくとも IP 層では端末は V2X アプリケーションサーバとの通信を行う。V2N2V のプロトコルスタック例を図 3.7 に示す。簡単のため基地局・S/P-GW、および IP 層以下は省略した。

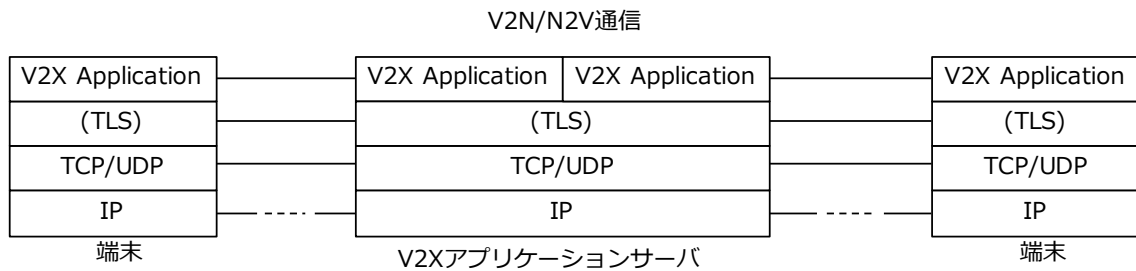


図 3.7 V2N2V のプロトコルスタック例 (IP より下位レイヤ省略)

この例では V2X アプリケーションサーバで端末との通信を終端し、V2X アプリケーションサーバが把握している交通状況に基づきパケット生成・配信を行う。ネットワーク側でのパケット終端・生成のための遅延は増加するが、V2N ないし N2V 通信の場合と同一のプロトコルスタックで実現可能である。MEC の形態によってはアプリケーションサーバが複数のネットワークインタフェースを持つ形態も考えられる。また Geo-messaging を行う中間レイヤを追加し、ネットワーク上側でパケットヘッダに付与された情報に基づいてパケットの複製・配信を行う形態も考えられる。

3.3.3 Geo-messaging

Downlink で端末に対して情報配信を行う際に V2X アプリケーションサーバ側で端末位置情報などに基づき配信対象を決定する処理が必要であり、これを Geo-messaging と呼ぶ。以下にその概要を示す。Geo-messaging では図 3.8 に示すとおり、ユニキャストでは車両位置に基づいた配信、マルチキャストでは基地局カバレッジに基づいた配信判断が必要になる。想定した車両に情報が配信されるようなガイドライン策定などとともに、下記に記載するような実装手段の詳細化が必要である。

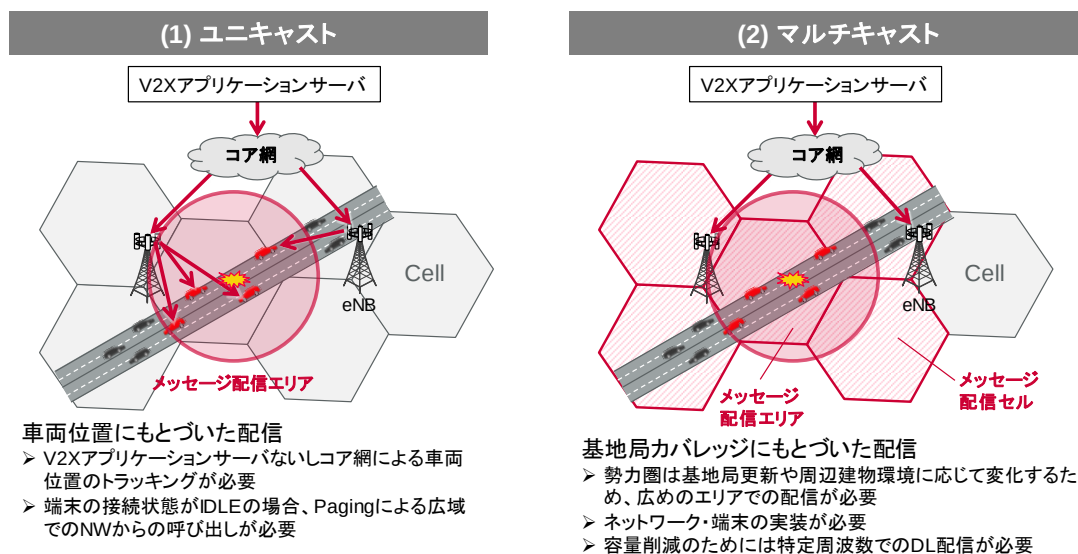


図 3.8 V2N DL 配信における Geo-messaging

ユニキャストでの情報配信では配信エリアと端末 IP アドレスや車両 ID とのマッピング（DL の宛先管理）を実施する必要があり、マルチキャストでは配信エリアに対する基地局のマッピングが必要となる。模式図を図 3.9 に示す。ユニキャストではこれを V2X アプリケーションサーバで実施する構成、コア網で実施する構成、いずれも考えられる。車両端末位置だけでなく、走行状態なども考慮して不要な通知を削減することも考えられる。マルチキャストでは配信処理をコア網内で実施する必要があるためコア網で宛先管理をする必要がある。

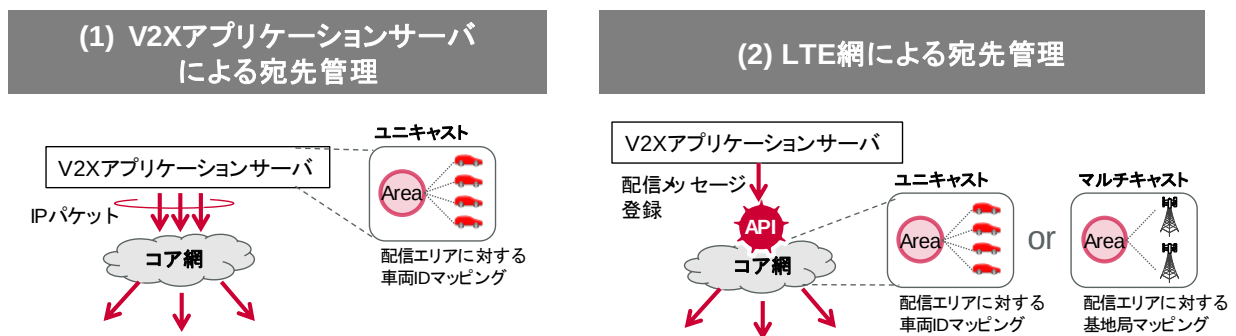


図 3.9 宛先管理の機能分担例

3.3.4 セキュリティ

3GPP 仕様ではセキュリティとして、PDCP 層における無線区間の暗号化をサポートしている[39]。他、TLS (Transport Layer Security) など Web サービスでも利用されているセキュリティ対策も利用可能である。狭域通信と同等のアプリケーション層セキュリティを利用することも可能だが、V2N 通信におけるセキュリティ・プライバシー保護の要件について整理した上で必要なセキュリティを定義することが必要である。特に閉域接続の形態を取った場合は通信経路中の情報の改ざん・傍受は困難であり、必要なセキュリティ・プライバシー要件に関する議論が必要である。

3.3.5 MEC および複数 MNO 対応

一般的にはセルラーネットワーク経由の通信はインターネット上のクラウドサーバとの間で行われるが、通信の低遅延化・高信頼化のため MEC (Mobile Edge Computing) が利用されることも考えられる。インターネットを介さない P-GW 直結から基地局直結まで様々なレベルの接続形態が考えられる[40]。図 5.10 に MEC サーバの物理的な接続例を示す。基地局に近い位置に MEC サーバを設置するほど伝送遅延の削減効果やコア網の負荷低減効果は期待できるが、多数のサーバが必要となりインフラ投資・維持のためのコストが増加する。また、端末の移動に伴う MEC 切り替えや MEC 間協調に伴う遅延やオーバーヘッドも増加する。複数 MNO 回線にて MEC サーバを導入

する場合、それぞれの MNO 内の MEC サーバと他 MNO 網との接続インタフェースについても検討する必要がある。例えば、MEC サーバは MNO 網毎の接続点で IP アドレスを持つ形態となるため、DNS による MEC サーバへの名前解決機能を MNO 網毎に提供するなど、MEC サーバに係る API をセルラーネットワークが提供することが検討されている[41]。以上を考慮すると、低遅延通信が狭域通信でカバーされる前提においては V2N では MNO 間での共通のインタフェースとなるクラウドサーバの形態や既存 P-GW の外側に MEC サーバを設置する形態から検討することが望ましい。MEC をインターネット接続が許容されない外部システムとの閉域接続の目的で利用することも考えられる。

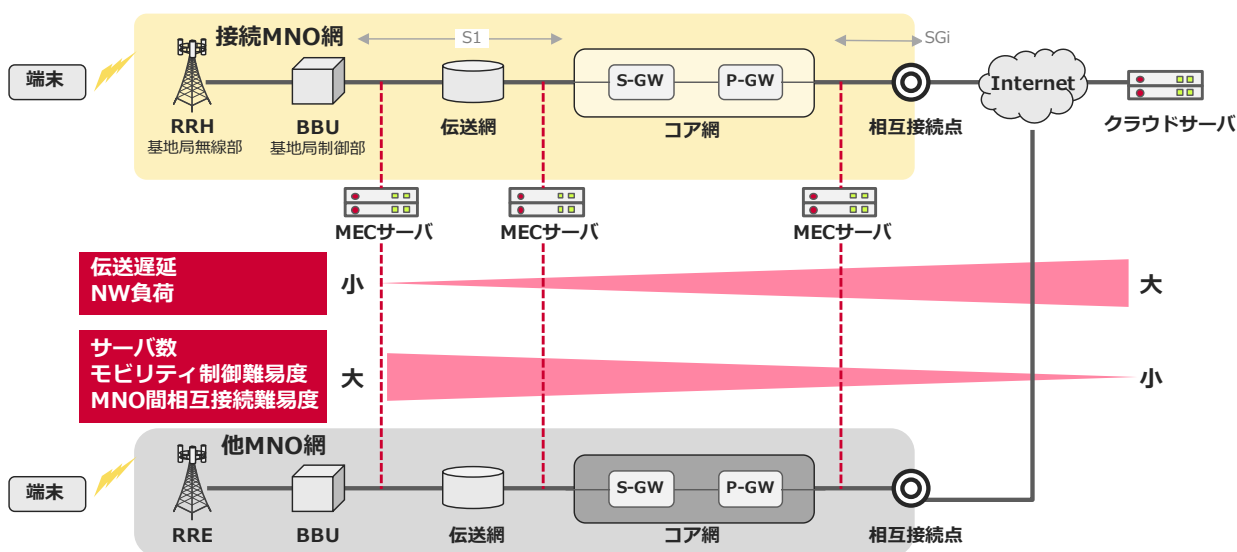


図 4.10 MEC サーバの物理的接続例

第4章 ビジネスモデル

各ユースケースの実現にあたっては、受益者負担の原則から V2X による価値（事故低減、自動運転車の運行設計領域拡大）を享受する受益者がコストを負担できるモデルが望ましい。以下にステークホルダー、コスト要因、V2V/V2I/V2N に対する考え方を整理する。

4.1 各ユースケースのステークホルダー

2 章に記載した各ユースケースについて、情報提供者・システム提供者・直接および間接の受益者を表 4.1 に整理した。すべてのユースケースにおいて直接的な受益者は情報提供を受けるドライバーであるが、安全に関わるユースケースではカーオーナー（ドライバーとは異なる場合がある）、走行円滑化に関わるユースケースでは道路管理者、そしてユースケース 4、5 のように緊急車両運行や工事などの事業の円滑な提供に関わるユースケースでは対応する事業者も受益者と考えられる。

ユースケースの実現にあたり、セルラーV2Xの通信に直接関わるシステム提供に加えて、既存システムとの連携を含めたエコシステムの構築が必要である。

表 4.1 各ユースケースのステークホルダー

ユースケース		情報提供者	システム提供者	受益者	用途
1	落下物、事故車等による「衝突回避・緊急ブレーキ」	ドライバー、カーオーナーなど	カーOEM、システム運用管理者など	ドライバー、カーオーナーなど	安全
2	信号情報活用による「交差点通過支援/ジレンマゾーン回避/赤信号注意喚起」	信号機管理者など	信号機管理者、MNO、システム運用管理者など	ドライバー、カーオーナー、道路管理者など	安全 円滑
3	障害物/故障車等の存在情報による「車線変更支援/ルート選定」	ドライバー、カーオーナー、道路管理者など	道路管理者、MNO、システム運用管理者など	ドライバー、カーオーナーなど	安全
4	緊急車両接近情報による「車両退避支援」	緊急車両運行者など	病院、MNO、システム運用管理者など	ドライバー、緊急車両運行者・利用者など	安全
5	工事・規制情報等による「経路再探索」	道路管理者、工事事業者など	道路管理者、MNO、システム運用管理者など	ドライバー、道路管理者、工事事業者など	円滑

4.2 セルラーV2X ビジネスにおけるコスト要因

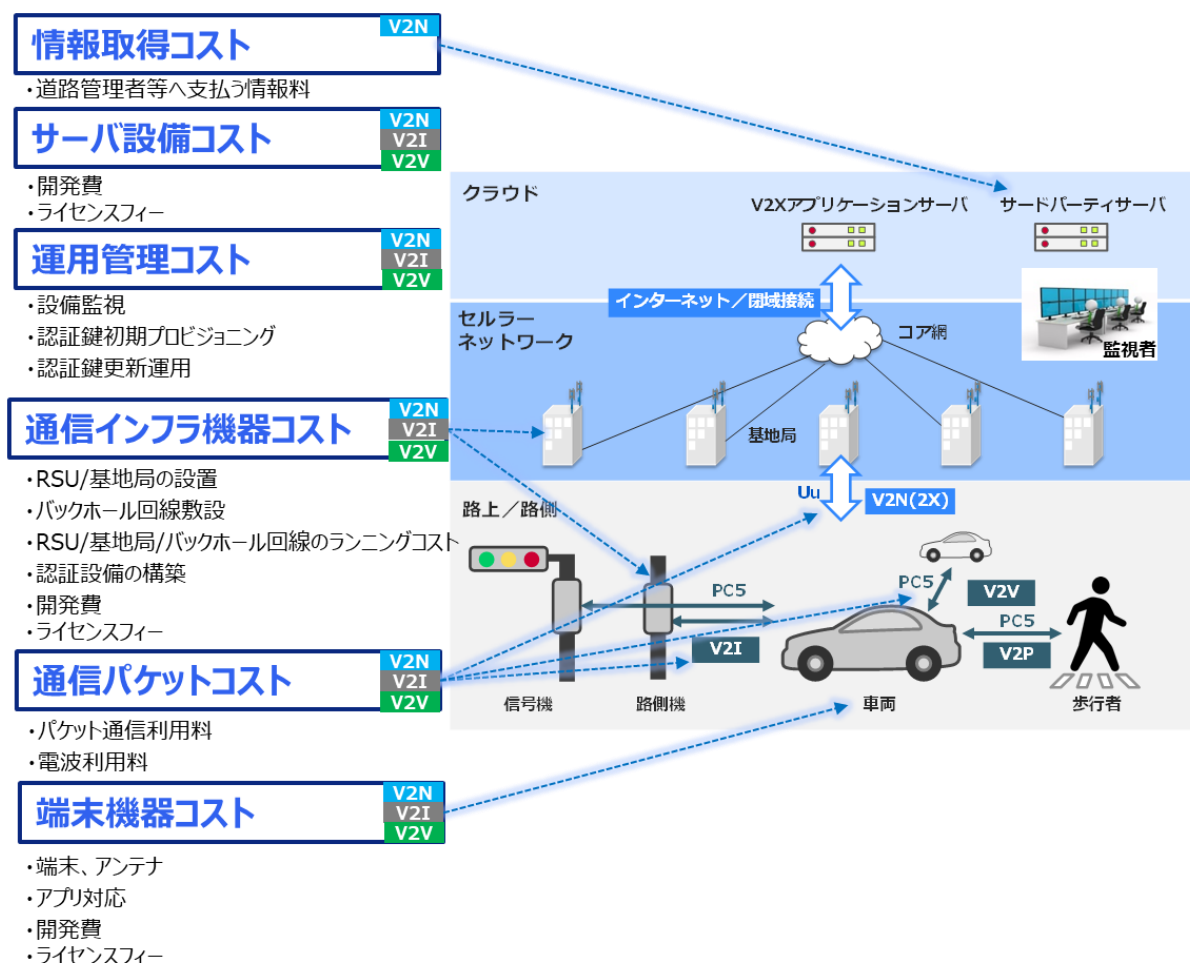


図 5.1 セルラーV2X ビジネスのコスト要因

図 6.1 にセルラーV2X(V2V および V2I/N)ビジネスにおける、一般的な 6 つのコスト要因を示す。

① 情報取得コスト（対象：V2N、V2I）

V2X アプリケーションサーバで利用するために、道路管理者などサードパーティサーバの権利者へ支払う、道路混雑度合や道路規制などの情報提供料である。地域単位、期間単位等で契約される。

② サーバ設備コスト（対象：V2N、V2I、V2V）

V2X アプリケーションサーバ、V2X システム自体の監視サーバ、セキュリティ・プライバシー管理用の電子証明書管理サーバなどの開発費や、ソフトウェアライセンス費である。一時金のみとなる場合と、年単位の保守料金が生じる場合とがある。

③ 運用管理コスト（対象：V2N、V2I、V2V）

上記サーバ設備、V2I/N インフラ、また V2V 端末含めた認証システム等の運用管理費である。運用管理主体の行う電子証明書発行・インストールなどの初期プロビジョニング業務、一般的なサーバ監視業務、設備の遠隔監視・異常切り分け業務等にあたる。運用期間に渡って定常的に発生し続けるコストとなる。電子証明書を外部の公開鍵認証基盤事業者から発行する場合、発行毎にライセンス費が発生する。

④ 通信インフラ機器コスト（対象：V2N、V2I、V2V）

通信インフラ部分の初期およびランニング費である。初期費となるのは RSU、セルラー基地局、端末アクセス認証設備の開発費や、設備の設置費、バックホール回線の敷設費である。ランニング費となるのは、RSU やセルラー基地局のライセンス費、バックホール回線利用料や、RSU やセルラー基地局にシステム更新が発生した際の開発費、アップデート作業費などである。

⑤ 通信パケットコスト（対象：V2N、V2I、V2V）

モバイル事業者に支払う V2N のパケット通信利用料や、政府に支払う電波利用料である。V2N の形態では④と、③の一部を含めた通信パケットコストの形でユーザが負担する形が取られている。いずれも月単位、年単位など定期契約として支払われる事が一般的である。

【注】V2V/V2I の場合、徴収適用除外となる可能性もあるが、本書の立場としては一律に負担発生するものと解釈する。

⑥ 端末機器コスト（対象：V2N、V2I、V2V）

車載器などの端末、およびアンテナ、搭載するアプリの費用である。初期費としては開発費があり、またランニング費として材料部品費、製造・保管・流通・保守サービス、搭載するアプリやライブラリのライセンス費などが考えられる。端末機器コストに⑤をバンドルして販売するケースもある。

4.3 V2V に対する考え方

V2V では、既存の ITS と同様、車両オーナーが V2V 対応端末を購入する形を想定する。セキュリティ・プライバシー保護用の電子証明書管理などの例外はあるものの、必要なインフラに係るコストは小さいため、端末買い切りのビジネスとなる可能性が主流と想定する。他サービスと通信機を共用することで車載器コストを削減できる可能性があるが、具体的な共用検討が必要である。またスマートフォンを車両用の V2V 通信機として限定的に利用できる可能性はあるが、V2V 通信機能のサポートや GPS 精度など不確定要素が多い。そのため車両用の端末としてスマートフォンが利用できない場合、車載器普及を促進させる要因は、車載器の低コスト化と導入インセンティブの

付与になると考えられる。

4.4 V2I/N に対する考え方

V2I/V2N はいずれも V2V と同様の対応端末の導入に加え、インフラの投資・維持に係るコストが必要になる。初期投資コストを回収するため、一定期間の事業継続性の担保があることが望ましい。従来の ITS では公的投資としてインフラ整備がなされている。V2I と V2N で共通のサービスを提供する場合、両者は補完的に利用される関係にあり、V2I ないし V2N でサービスが利用可能な場所を増やすことが受益者の享受する価値を向上させるために効果的である。このとき既存セルラーネットワークを利用した V2N サービスの提供は、インフラ普及を促進させる要因となる。既存網を利用した V2N の形態でサービスを開始し、要件が高いユースケースに対応するために専用インフラや既存インフラの拡張などを実施していくなどの導入形態が考えられる。

また特に V2I/V2N では収集した情報をサードパーティのサービスに提供したり、逆にサードパーティのサービスから情報提供を受けたりすることで採算を改善できる可能性がある。サードパーティサービスからの情報提供を受ける例として、VICS や ETC2.0 など既存 ITS におけるプローブデータの活用が考えられる[42]。

第5章 課題整理

これまでの章で抽出した主要な課題について表 5.1 に整理した。それぞれの課題が該当するユースケース例も表内にチェックマーク（✓）で記載した。車車間の狭域通信（V2V）を想定する場合（ユースケース 1、4）と、基地局（一部路側インフラも含む）を経由した通信（V2N/V2I）を想定する場合（ユースケース 2、3、4、5）で通信観点の課題が異なるだけではなく、サービス観点でもコスト負担の形態が異なりえる課題もある。また、基地局や路側インフラを介して情報提供する場合は情報源ごとの課題整理が必要となる。車両から情報を得る可能性があるユースケース 4 は V2V との役割分担の明確化が課題であり、団体・組織から情報を入手する可能性があるユースケース 2、3、4、5 はそれぞれの情報源に対応する団体・組織と協調した課題整理が必要となる。受信車両に至るまでのステークホルダーが多く、事業モデルの明確化が難しい課題もある。

表 5.1 セルラーV2X による各ユースケース実現のための課題整理

観点		課題	対応ユースケース				
			#1	#2	#3	#4	#5
通信	狭域通信 (V2V/V2I; PC5)	周波数割当ての獲得、通信方式の標準化	✓			✓	
		通信パラメータ・運用方法の確立	✓			✓	
		相互接続やセキュリティの運用管理体制の構築・維持	✓			✓	
		実現可能な性能（遅延・信頼性）・可用性検証	✓			✓	
		性能要件を満たせない場合の対応と、対策コスト	✓			✓	
	広域通信 (V2N;Uu)	実現可能な性能（遅延・信頼性）・可用性検証		✓	✓	✓	✓
		通信品質改善方法の検討（必要な場合）		✓	✓	✓	✓
		性能要件を満たせない場合の対応と、対策コスト		✓	✓	✓	✓
		各 MNO によるサービスエリア差異への対応		✓	✓	✓	✓
情報	団体・組織 から入手	団体・組織から元情報取得の了解獲得		✓	✓	✓	✓
		情報源から情報取得するシステムの構築(精度・セキュリティなど)		✓	✓	✓	✓
		情報源から情報取得する機器仕様/フォーマット等の規格化		✓	✓	✓	✓
	車両から 入手	メッセージフォーマット・プロトコル仕様の策定	✓		✓	✓	
		生成情報の各車両によるばらつきを抑えるためのガイドライン策定	✓		✓	✓	
		セキュリティ・プライバシー対策	✓		✓		
		各車両所有者から情報使用に関する同意獲得	✓		✓		
	受信車両で の利用	メッセージフォーマット・プロトコル仕様の策定	✓	✓	✓	✓	✓
		受信情報の信頼性の担保(通信経路のセキュリティ)	✓	✓	✓	✓	✓
		受信情報の活用ガイドラインの策定(遅延の考慮含む。)	✓	✓	✓	✓	✓
サービス	サービス	サービスの定義、ガイドラインの策定	✓	✓	✓	✓	✓
		元情報の入手から車両へ伝達するまでの体制構築		✓	✓	✓	✓
		サービス機会の確保（端末の普及促進、インフラ整備など）	✓	✓	✓	✓	✓

観点	課題	対応ユースケース				
		#1	#2	#3	#4	#5
ビジネス	PC5 車載器の低コスト化（普及のため）	✓			✓	
	Uu 通信コストの負担		✓	✓	✓	✓
	通信品質改善に係る投資（必要な場合）	✓	✓	✓	✓	✓
	情報取得・収集・配信するサーバ等の構築・維持コスト負担をふまえたビジネス確立（公的資金の獲得、団体・組織の協力提携含む）		✓	✓	✓	✓
責任	元情報の入手から車両へ伝達するまでの責任分担の明確化	✓	✓	✓	✓	✓
	機器故障や NW 障害等によるサービス停止時の対応方針の策定	✓	✓	✓	✓	✓
	認証・検査の対象にする範囲の明確化（出荷前検査や車検など）	✓	✓			

第6章 まとめ

本書では、セルラー通信技術（セルラーV2X）を用いた ITS・自動運転の高度化に向けた課題について、ユースケース例として①落下物、事故車等による「衝突回避・緊急ブレーキ」、②-1 信号現在灯色情報活用による「交差点通過支援」、②-2 信号サイクル情報活用による「ジレンマゾーン回避/赤信号注意喚起」、③障害物/故障車等の存在情報による、「車線変更支援/ルート選定」、④緊急車両接近情報による、「車両退避支援」、⑤工事・規制情報等による、「経路再探索」を想定して通信アーキテクチャ、ビジネスモデル双方の観点で検討を行った。検討の結果抽出した課題を通信・情報・サービスの観点でユースケースとの対応を整理した。ITS・自動運転の高度化に向けて様々なサービスが検討されている中で、必要な通信性能や法制度・ビジネスへの影響が議論されている。これまで述べてきたように広域通信（V2N）と狭域通信（V2V、V2I、V2P）の両方を利用し、多様なサービスに対し柔軟に設計していけることが大きな魅力となる一方で、実現に向けては検討すべき課題も多い。今後、実現性の具体化に向けて、ユースケース・性能要件・実現形態・ビジネスモデルなど多岐にわたる観点で自動車業界と通信業界の密な連携が必要になる。更には周波数・通信仕様の策定および制度設計、そしてインフラ整備の観点で産官の密な連携が必要である。何よりも、議論を単なる通信性能比較で終わらせることなく、セルラーV2Xを活用することの真のメリットや新たな価値の創造と、それに伴う法制度やビジネスへのインパクトを双方から議論し、よりよい ITS サービスの提供につながる検討が進むことを期待する。

今後これらの議論も取り込む形で、本書のアップデートを行っていく予定である。国内での ITS・自動運転の高度化に向けた検討の一助として、本書が広く活用されることを期待する。

A. 付録

A.1 用語集詳細版

1.1 章で示した用語集の詳細版を本書下記に示す。

表 A.1 用語集（詳細版）

用語	意味、説明
セルラーV2X	LTE などのセルラー通信技術を用いて、車とあらゆるものとの接続を提供することが可能な技術をセルラーV2X と呼び、車車・路車・歩車など路上・路側での狭域通信と、基地局およびコア網で構成されるセルラーネットワークを介した車両との広域通信を包含した技術である。
LTE	3GPP により規格化された第 3.9 世代もしくは第 4 世代携帯電話システムまたは無線アクセス技術。現在 3GPP Release 8 から Release 15 までの規格が存在。
LTE V2X	セルラーV2X の内、広域通信および狭域通信が LTE を基にした方式のこと。
5G	第 5 世代携帯電話システム。3GPP では Release 15 以降の NR および LTE の拡張を含むシステム。一般には NR のみのことを指すことも多い。
NR	5G に向けて 3GPP が新規に規定した無線アクセス技術。現在 Release 15 の基地局を経由する広域通信のみが標準化されており、Release 16 以降で狭域通信機能も標準化される見込み。
Downlink/uplink、 Uu、広域通信、V2N2X	移動機と基地局との通信，広域通信サービスを提供する 本書ではコア網やアプリケーションサーバを介した通信も含め、V2N2V/V2N2I/V2N2P と呼ぶ
Downlink、下り回線	Uu における基地局から移動機への通信
Uplink、上り回線	Uu における移動機から基地局への通信
狭域通信、Sidelink、 PC5、 V2V/V2I/V2P	車両と車両、もしくは車両と歩行者との通信用途向けの移動機と移動機の直接通信で、狭域通信サービスを提供する。LTE においては Release 14 で標準化され、NR においては Release 16 で標準化予定。
基地局、NB、 eNB、 gNB	基地局は、セルラーネットワーク内にて、移動機と通信する装置の総称。一つの基地局が一つまたは複数のセルをサポートする。

	NB (node B)は、WCDMA における基地局。 eNB (e node B)は、LTE における基地局。 gNB (g node B)は、NR における基地局。
移動機 (MS)、UE (User Equipment)	セルラーネットワークにおいて、ネットワークと通信する端末。厳密には、移動機は SIM などを含まず、UE は SIM などを含むが区別されないことが多い。
セル	一つの周波数において、基地局から一定領域にむけて送信され、移動機から一意に認識される領域。
コアネットワーク (CN)	セルラーネットワークにおいて、WCDMA、LTE、NR といった無線方式に非依存な部分のネットワーク部分。S-GW、P-GW などを含む。
無線ネットワーク (RAN)	セルラーネットワークにおいて、WCDMA、LTE、NR といった無線方式特有な部分の基地局を含むネットワーク部分。LTE 特有の部分を E-UTRAN、NR 特有の部分を NG-RAN と呼ぶ
ユニキャスト	基地局と単一移動機との一対一通信
ブロードキャスト	広域通信の場合は、基地局から該当エリアにおける全移動機に向けての単方向の 1 対多の送信。 狭域通信の場合は、移動機から周辺エリアにおける全移動機に向けての送信
マルチキャスト	広域通信の場合は、基地局から該当エリアにおけるグループ識別子などで識別される特定の移動機群に向けての単方向の 1 対多の送信 複数のセルから同時に同報通信を行う eMBMS と単一セル毎の同報通信である SC-PTM がある。 狭域通信の場合は、移動機から周辺エリアにおける特定の複数移動機に向けての送信
ハンドオーバー	広域通信において、広義では、コネクテッドモード、アイドルモードにかかわらずセル間を移動すること。厳密には、移動機がコネクテッドモード中にネットワークの指示に従いセル間を移動することで、アイドルモード中の移動は含まない。
コネクテッドモード (Connected mode)	広域通信において、ネットワークからセル単位で移動機が存在が把握され、移動機は送受信ができる状態になっていること。コネクテッドと表記されることもある。
アイドルモード (Idle mode)	広域通信において、ネットワークからは、通常複数セル単位でしか移動機の位置を把握しておらず、移動機は待ち受けをしている状態。アイドルと表記されることもある。

Subframe	LTE や NR における基本的な無線区間のリソースの割り当て単位であり、1msec である。NR においても subframe は 1msec であるが、割り当て単位として 1msec 以下をサポートしている。
RSU (Road Side Unit)、路側機	狭域通信により移動機と通信する端末型 RSU と、広域通信を用いて移動機と通信する基地局型 RSU がありうるが、本書では基地局機能を有する装置は路側機と呼ばず、路側機とは端末型の装置で狭域通信機能で移動機と通信装置を指す。ネットワークとの接続に広域通信を用いることもある。
DRX (Discontinuous reception)	間欠受信。広域通信において、事前に設定された一定周期ごとに移動機は ON になりネットワークからの送信がないかを確認する。コネクテッドモードおよびアイドルモードともに規定されている。コネクテッドモードでは、DRX をオフにすることもできる。
SR (Scheduling request)	広域通信において、移動機から上り通信があるときに、ネットワークに最初に通知する通信。移動機固有の無線リソースが割り当てられる方式と移動機間で共有の無線リソースが割り当てられる方式がある。
SPS (Semi Persistent Scheduling)	Uu および PC5 において、あらかじめ設定された一定周期ごとに送信および受信を行うこと。広域通信においては、特にリソース割り当ての制御信号を別途用いずにあらかじめ設定された一定周期ごとに送信および受信を行うことを指す。
MNO (Mobile Network Operator)	電気通信役務としての移動通信サービスを提供する電気通信事業を営む者であって、当該移動通信サービスに係る無線局を自ら開設又は運用している者。
MVNO (Mobile Virtual Network Operator)	MNO の提供する移動通信サービスを利用して、又は MNO と接続して、移動通信サービスを提供する電気通信事業者であって、当該移動通信サービスに係る無線局を自ら開設しておらず、かつ、運用をしていない者。
SIM (Subscriber Identity Module)	携帯電話の加入者および契約に対する識別子番号を保持するモジュールであり、Uu でのセルラーネットワークにおけるセキュリティにおいて大きな役目を果たしている。
MEC (Mobile Edge Computing)	セルラーネットワーク外のクラウドで、アプリケーションレイヤのコンピューティングやデータベースアクセスを行うのではなく、セルラーネットワーク内の基地局近傍やコア網内に、処理遅延の短縮などを目的として、それらの演算資源を持つこと。

図 A.1 ユースケース整理 (拡大)

ユースケース例の整理 (扱うデータと想定されるアプリの視点より)

情報の更新頻度	扱う情報の例	用途	利用レベル(用途)	想定アプリ	情報を使う場所	備考
●動的	複数センサの一つとして、自動運転の制御に反映(いわゆる多重系)	歩行者・自転車等の存在	制御介入/注意喚起	歩行者事故防止	一般道	この領域は、通信を多重センサの一つとして、他センサと併用することで、システムを成立させられる可能性がある用途にもよるが、信頼性の担保がカギ
		周辺車両(含：二輪)の存在	制御介入/注意喚起	出会いがしら事故防止/車線変更支援	一般道/自専道	
		(直前の)事故車・落下物	制御介入	追突回避・緊急ブレーキ ①	一般道/自専道	
		前車の急激なブレーキ	制御介入		一般道/自専道	
		前走車のリアルタイムな動作情報	制御介入	隊列走行	自専道	
		自専道本線車両情報	制御介入/注意喚起/情報提供	合流支援	自専道	
●准動的	先読み情報 安全な停止や車線変更を活用するレベル	信号サイクル情報	制御介入/注意喚起	交差点通過支援 ②-1	一般道	自動車の要件によるが、セルラー通信を他の通信と併用、または、そのまま活用できる可能性あり
		障害物/故障車等の存在情報	制御介入/注意喚起	右直/左折巻き込み/横断歩行者事故防止	一般道	
		緊急車両接近	情報提供	急閉時の衝突防止/ゲート選択/経路変更	自専道	
		車線別渋滞情報	情報提供	ジレンマ回避/赤信号注意喚起 ②-2	一般道	
			情報提供	車線変更支援/ルート選定 ③	一般道/自専道	
			情報提供	車両退避支援 ④	一般道	
●准静的	先読み情報 事前のルート変更等への活用レベル	更新地図情報(走行中の部分更新)	情報提供	車線変更支援/ルート再探索	一般道	従来のセルラー通信と同等の性能・仕組みで活用できる可能性あり
		規制情報	情報提供		一般道/自専道	
		工事情報	情報提供	経路再探索 ⑤	一般道/自専道	
		渋滞情報	情報提供		一般道/自専道	
		渋滞末尾情報	情報提供	退避支援/自動⇒手動判定	自専道	
		エアバッグ等の開閉情報	情報提供	HELP	一般道/自専道	
●静的	自動運転の経路作成に必要なレベルの情報	高精度地図		経路探索	一般道/自専道	いわゆるテイル活用であり、本検討の対象外
		更新地図情報(停止中の取得)			一般道/自専道	

A.2 LTE V2X (PC5; V2V/V2I/V2P) の通信性能の特徴

本編 2.2 章にて、「V2V で十分な遅延・信頼性を達成できる可能性がある」および「LTE は他の通信方式に比べて受信感度が高い特徴を生かすことができる」と記載した LTE V2X (PC5 : V2V/V2I/V2P) の通信性能の特徴について補足する。その他、各国で実施された実証実験の結果も公開されている[15][23]。

Link Design (1 of 2)

Challenges

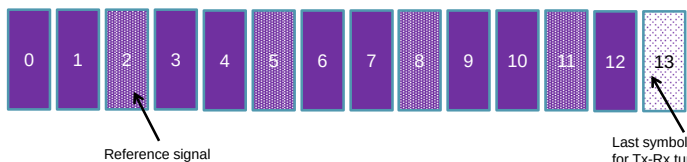
- ITS spectrum @ 6 GHz
- High speed
 - Max vehicle speed of 250 kph ⇔ max relative speed is 500 kph
 - At 6 GHz, 2700Hz Doppler shift ⇔ channel variation within a subframe
- High frequency offset
 - Up to 0.3ppm frequency offset
 - At carrier frequency of 6GHz ⇔ 1800Hz
- Focused on enhancing sidelink (V2V) channels
 - PSCCH : Assignment Channel for sidelink
 - PSSCH : Data Channel for sidelink

2

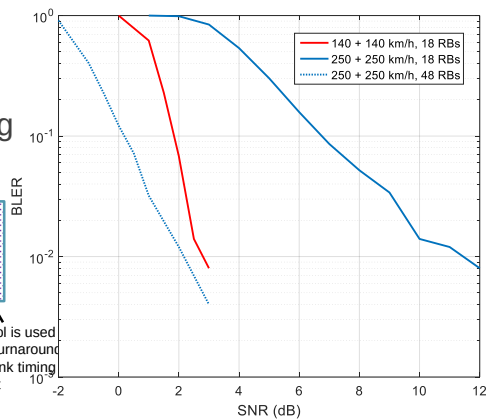
Link Design (2 of 2)

Solutions

- High reference signal density with regular spacing
 - Symbol location: #2, #5, #8, #11



- Normal CP (~5us) supported
- Intra-symbol estimation of frequency offset
- Pre-specified limits on MCS, #RBs, #Tx
 - Possibly based on speed and synchronization source



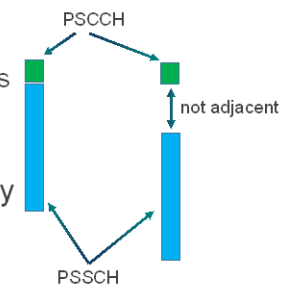
300 bytes, QPSK, two Tx, random frequency error

3

PSSCH and PSCCH (1 of 2)

Intra subframe PSSCH and PSCCH transmission

- PSSCH and PSCCH transmitted on the **same** subframe
 - Separate DFT and reference signals (two cluster SC-FDM)
 - Same subframe transmissions reduces the impact of in-band emissions
 - Reduces issues related to half duplex operation
- PSSCH and PSCCH may or may not be adjacent in frequency
 - Depends on the resource pool (pre)configuration
 - We simulate adjacent case => lower MPR
- Same **open loop power control** parameters are used for both channels
 - 3 dB PSD boosting for PSCCH => try to make sure that control does not become the bottleneck



4

PSSCH and PSCCH (2 of 2)

Details

◦ PSCCH

- One PSCCH transmitted for each PSSCH on the same subframe
- No combining of PSCCH retransmission
- Number of RBs = 2
- Blind detection of cyclic shift to improve PSCCH to PSCCH interference
- Group id (u) fixed to 8 $\Leftrightarrow$ better performance for high frequency offset

◦ PSSCH

- Max number of transmissions = 2
- RV ID sequence for HARQ transmissions are given by 0, 2
- Maximum distance between initial transmission and HARQ retransmission is 15
- Various phy parameters are a function of PSCCH CRC

5

C-V2X range benefits from multiple reasons

- Longer transmission time: allows for higher energy per information bit
 - Enabled by synchronization which allows frequency multiplexing
- HARQ : Enables higher energy per information and more time/frequency diversity
- Channel estimation: More density in frequency makes less susceptible to multi-path
- Coding: Turbo coding typically provides for more coding gain compared to convolution coding
- Waveform: SC-FDM allows for higher Tx power due to lower PAPR

6

C-V2V - PC5 Transmission Modes

Modes 3 and 4 - Default is Mode 4

- Mode 3

- eNB scheduled resource selection

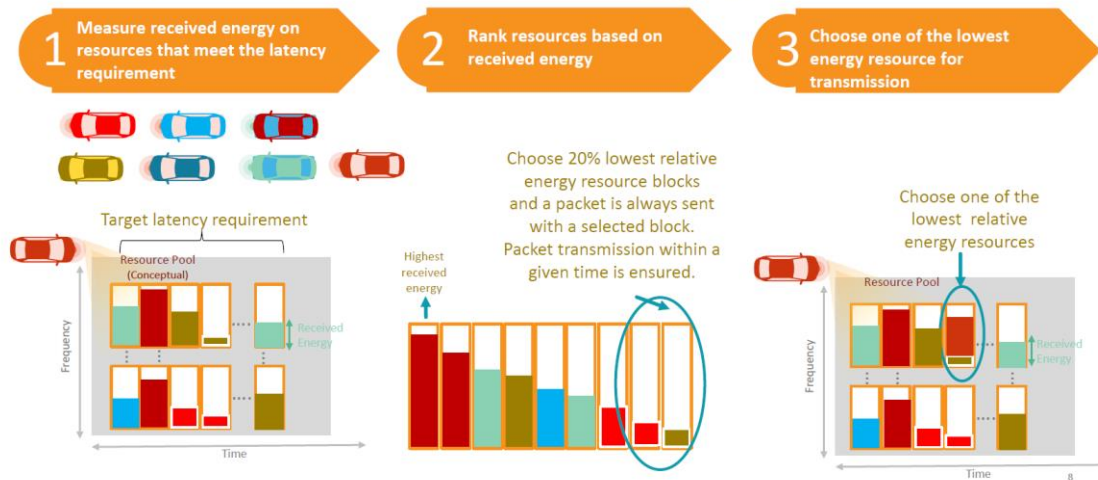
- Mode 4

- Autonomous resource selection without eNB scheduling
- Uses sensing with semi-persistent transmission ⇔ frequency domain LBT
 - Semi-persistent transmission allows one to take advantage of semi-periodic traffic arrival
 - Uses past interference patterns to predict the future
- Random selection/energy based selection allowed for one shot transmissions
- Sensing ⇔ combination of priority information, energy sensing, PSCCH decoding
- Energy sensing ⇔ Rank resources according to energy received and pick low energy resource
- PSCCH decoding ⇔ Avoid resources for whom control is decoded and received energy is above a threshold
- Priority ⇔ Avoid resources that are being used for higher priority packet transmission

7

Mode 4 Resource Selection Concept

Choose resources with close to lowest relative energy level



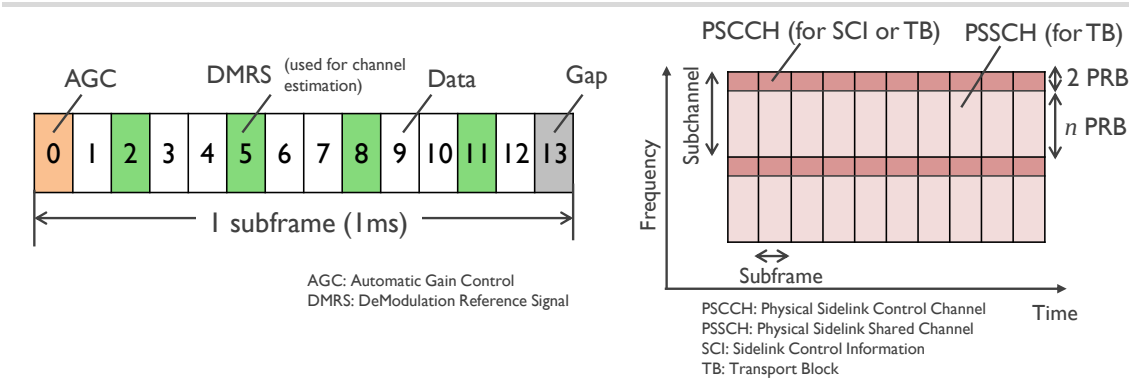
8

A.3 LTE V2X (PC5; V2V/V2I/V2P) のマルチアクセス方式などに起因する性能への影響

本編 2.2 章にて、“検証を必要とする項目”として挙げた、“マルチアクセス方式などに起因する性能への影響”について補足する。

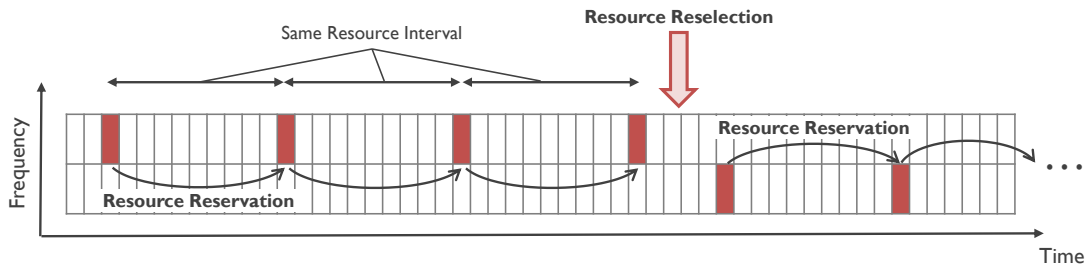
Note: Any multi-access schemes have potential packet collision or performance degradation. However, LTE-V2X PC5 mode 4 has additional aspects that do not exist in other multi-access schemes. This Appendix describes those aspects unique to LTE-V2X PC5 mode 4 that requires further study.

Rel-14 LTE-V2X PC5: PHY Aspects



Access Scheme	SC-FDMA
Modulation	QPSK, 16QAM
Channel Coding	Turbo Coding (for data), Tail Biting Convolutional code (for control)
System Bandwidth	10, 20 MHz
Sub-Carrier Spacing	15 kHz
Cyclic Prefix Length	Normal: 4.7 μ s
# of MIMO streams	1

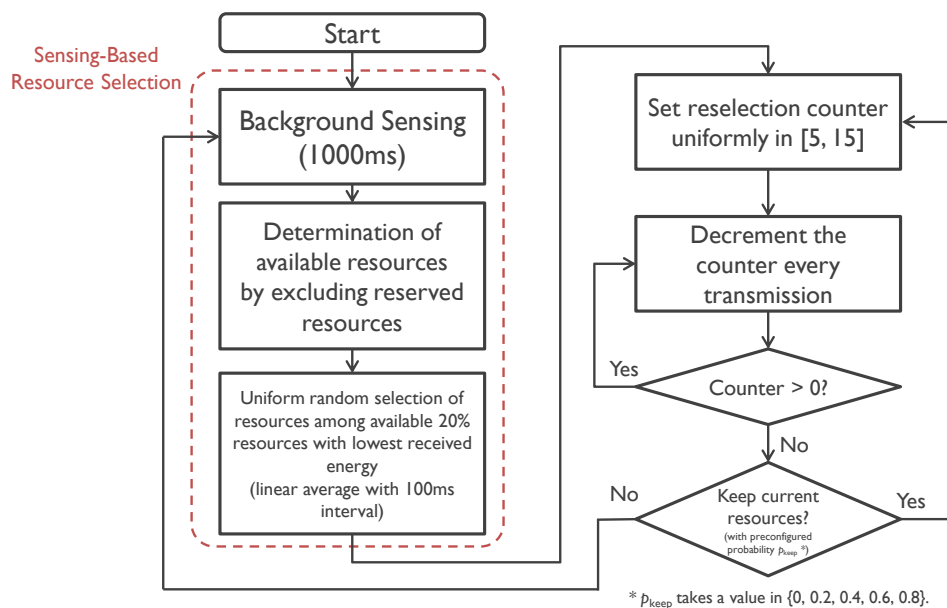
Rel-14 LTE-V2X PC5 Mode 4: Semi-Persistent Scheduling (SPS)



- SPS is used for LTE-V2X PC5 to efficiently support periodic message traffics.
 - Keep using the same resource with a fixed time interval
 - Explicitly indicate the use of the next resource for the next transmission (i.e., resource reservation)
 - Reselect the resource after several transmissions with a certain probability

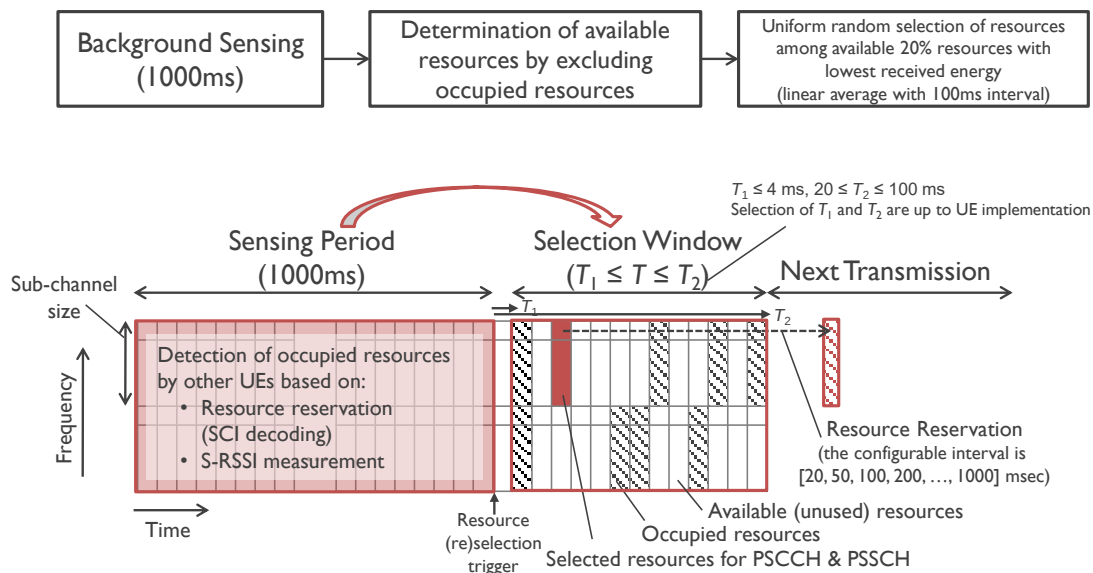
p. 2

Rel-14 LTE-V2X PC5 Mode 4: Channel Access Procedure of SPS



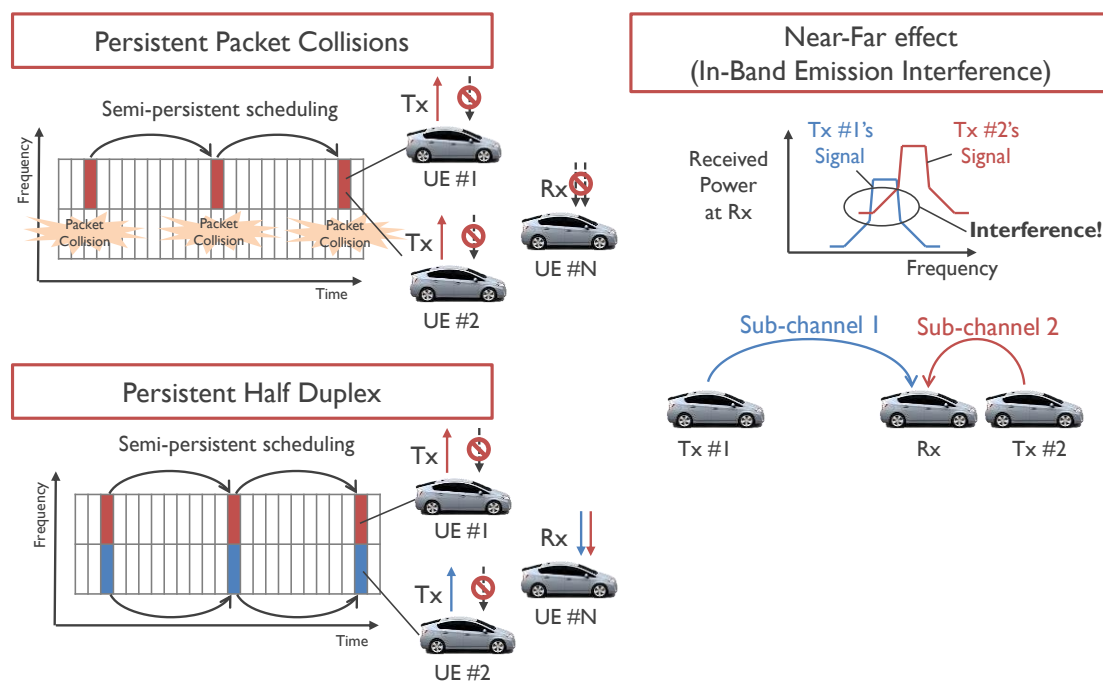
p. 3

Rel-14 LTE-V2X PC5 Mode 4: Sensing-Based Resource Selection



In case that the retransmission feature is enabled, if some resources (same frequency resources) are available within 15ms from the initial transmission, resources for retransmission are randomly selected among available resources. p. 4

Factors Affecting LTE-V2X PC5 Mode 4 Performance (1/2)



p. 5

Factors Affecting LTE-V2X PC5 Mode 4 Performance (I/2)

Note:

- Persistent packet collisions, persistent half duplex and near-far effect can be mitigated by blind retransmission (HARQ) and geo-zoning resource selection.
 - It is not sure whether repetition is disabled on congestion. Congestion control can be performed by adjusting MCS, i.e., using higher order modulation or coding rate. However, using a higher MCS has some factors affecting to communication range. One is required higher CN values, it reduce communication range. Another is increase power spectrum density, it improve communication range. Since there are factors that work both positive and negative in communication range, more quantitative analysis is needed to assess the impact of congestion control for V2X services.
 - Geo zoning may not provide meaningful improvement. Instead, geo zoning will introduce inefficient spectrum utilization by reducing resource candidate from UE perspective.
- Persistent half duplex and near-far effect due to in-band emission can be avoided by disabling FDMA. However, there are pros and cons when FDMA is disabled. One of the cons is the reduced power spectrum density, and thus the reduced communication range. Another cons is that the number of vehicles that can be accommodated in the same area would be reduced due to reduced number of resource candidates in the frequency domain in each subframe. One of the pros is the improved spatial spectrum reuse by virtue of the reduced communication range. Another pros is the improved communication range by using a lower MCS as more number of resource blocks in the frequency domain can be allocated to each vehicle. Since there are pros and cons when FDMA is disabled to mitigate persistent half duplex and near-far effect, more quantitative analysis is needed to assess the impact of these effects for safety services.

p. 6

Factors Affecting LTE-V2X PC5 Mode 4 Performance (I/2)

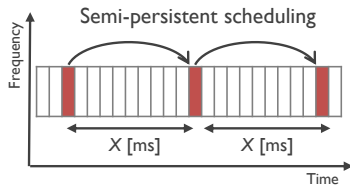
Note:

- Half-duplex issue is a common problem for any wireless communication systems when a vehicle uses the same channel for transmission and reception. However, the sub-channelization and SPS of LTE-V2X PC5 mode 4 cause persistent half-duplex (i.e., two vehicles using different subchannels in the same subframe for transmission cannot receive the other's packets consecutively).
- Cross-channel interference is another common problem for any wireless communication systems when multiple adjacent channels are used by each vehicle for transmission and reception. However, in addition to cross-channel interference, the sub-channelization of LTE-V2X PC5 mode 4 in a channel causes in-band emission interference (i.e., interference among different subchannels in the channel).
- Assuming IBE, Tx UEs which are in the vicinity each other may avoid selecting FDMed resource at least if FDMed resource has strong reception power where RSSI of adjacent resource has some RSSI level due to IBE. However, depending on the positions of Tx UEs, hidden terminal UEs may not be able to avoid selecting the FDMed resources with IBE. In addition, avoiding FDMed resources due to IBE may result in a limited number of similar candidate resources in resource selection and affect the occurrence probability of Persistent Packet Collisions. So, it is necessary to quantitatively evaluate its impact.

p. 7

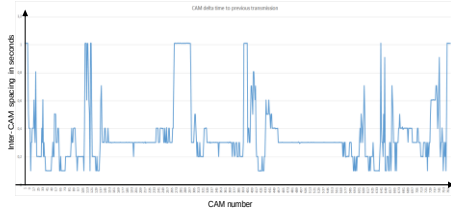
Factors Affecting LTE-V2X PC5 Mode 4 Performance (2/2)

Support of variable message Interval



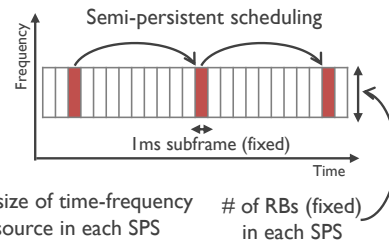
The allowed resource interval X [ms] is limited to: {20, 50, 100, 200, 300, ..., 1000} [ms]

ETSI CAM interval can dynamically change*



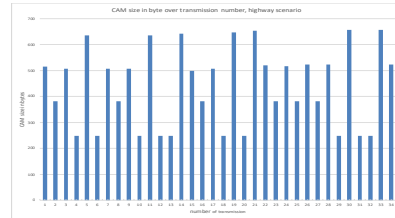
* <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/11-18-1731>

Support of variable message sizes



Fixed size of time-frequency resource in each SPS # of RBs (fixed) in each SPS

ETSI CAM message size can dynamically change*



CAM: Cooperative Awareness Message

p. 8

Factors Affecting LTE-V2X PC5 Mode 4 Performance (2/2)

Note:

- Potential impact of variable message interval and message size
 - Variable message interval --> unused reserved resources and frequent resource reselection, i.e., 1) UE reserves certain resources, but those resources may not be used for transmission due to resource reselection, and 2) frequent resource reselection caused by message interval change potentially increase packet collision.
 - Variable message size --> variable MCS causes a reduced communication range for bigger messages (e.g., shorter communication range for messages with full security certificate than messages with certificate digest)

p. 9

参考文献

- [1] U.S. Department of Transportation (US DOT), Connected Vehicle Pilot Deployment Program, <https://www.its.dot.gov/pilots/index.htm>
- [2] Cooperative ITS Corridor, Cooperative Traffic Systems-safe and intelligent, <http://c-its-korridor.de/>
- [3] Nordic Way2 ホームページ, <https://www.liikennevirasto.fi/web/en/projects/pilots/nordicway2>
- [4] Chinadaily, Trial results for world-first LTE-V2X project to be unveiled, 2018 年 9 月 15 日, <http://europe.chinadaily.com.cn/a/201809/15/WS5b9cdabba31033b4f46563d3.html>
- [5] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議, 官民 ITS 構想・ロードマップ 2018, 2018 年 6 月, <https://cio.go.jp/node/2436>
- [6] 自動走行ビジネス検討会, 報告書「自動走行の実現に向けた取組方針」Version2.0, 2018 年 3 月, https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/Automated-driving/report-Version2.0.pdf
- [7] 内閣府, 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP: エスアイピー), <https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>
- [8] 3GPP, TR 21.905 Vocabulary for 3GPP Specifications V15.0.0, 2018 年 12 月, https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/21_series/21.905/
- [9] 3GPP, TS 36.300 Overall description; Stage 2, 2019 年 4 月, https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.300/
- [10] 3GPP, TS 23.285 Architecture enhancements for V2X services, 2019 年 3 月, https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/23_series/23.285/
- [11] KDDI, ノキア, Hexagon, KDDI 総合研究所, 世界初、コネクティッドカー向け LTE 一斉同報配信に成功, 2018 年 4 月 16 日, <http://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2018/04/16/3084.html>
- [12] A. Awada, E. Lang, O. Renner, K.-Josef Friederichs, S. Petersen, K. Pfaffinger, B. Lembke, R. Brugger, “Field Trial of LTE eMBMS Network for TV Distribution: Experimental Results and Analysis,” 2016 年 12 月, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7782381>
- [13] 3GPP, TS 23.303 Proximity-based services (ProSe); Stage 2, 2018 年 6 月, https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/23_series/23.303/

-
- [14] コンチネンタル・オートモーティブ・ジャパン株式会社, エリクソン, 日産自動車株式会社, 株式会社 NTT ドコモ, 沖電気工業株式会社, Qualcomm Technologies, Inc, コンチネンタル、エリクソン、日産自動車、NTT ドコモ、OKI、クアルコムが、日本初のセルラーV2X 共同トライアルを実施, 2018 年 1 月 12 日,
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2018/01/12_00.html
- [15] NTT ドコモ, 日本初、セルラーV2X の共同実証実験に成功, 2018 年 12 月 13 日,
https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_181213_01.pdf
- [16] Connected automated driving.eu ホームページ,
<https://connectedautomateddriving.eu/cad-knowledge-base/>
- [17] 3GPP, TS 36.101, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA);
User Equipment (UE) radio transmission and reception, 2019 年 4 月.
- [18] 中華人民共和国工業情報化部, 工业和信息化部关于印发《车联网（智能网联汽车）直连通信使用 5905-5925MHz 频段管理规定（暂行）》的通知, 2018 年 11 月 13 日,
<http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n4509650/c6482536/content.html>
- [19] CHINADAILY.COM.CN, Trial results for world-first LTE-V2X project to be unveiled,
<http://europe.chinadaily.com.cn/a/201809/15/WS5b9cdabba31033b4f46563d3.html>
- [20] 5GAA, 5GAA Report shows superior performance of Cellular V2X vs DSRC,
<http://5gaa.org/news/5gaa-report-shows-superior-performance-of-cellular-v2x-vs-dsrc/>
- [21] Comment on 5GAA Petition for Waiver to Allow Deployment of Cellular Vehicle-To-Everything (C-V2X) Technology in the 5.9 GHz Band
•GM:
https://ecfsapi.fcc.gov/file/10118044155019/FCC_5GAA%20Waiver_01.17.19_GM.pdf
•VW:<https://ecfsapi.fcc.gov/file/10130432124533/VWGoA-5GAA-CV2X-Waiver-Comments-FCC.pdf>
•C2CCC:
[https://ecfsapi.fcc.gov/file/1012927404734/20190118_C2C_letter_to%20FCC_on_C-V2X_waiver%20\(1\).pdf](https://ecfsapi.fcc.gov/file/1012927404734/20190118_C2C_letter_to%20FCC_on_C-V2X_waiver%20(1).pdf)
•NXP:[https://ecfsapi.fcc.gov/file/1012964492869/NXP%20C-V2X%20Technology%20Comments%20\(Final%20-%201.29.2019\).pdf](https://ecfsapi.fcc.gov/file/1012964492869/NXP%20C-V2X%20Technology%20Comments%20(Final%20-%201.29.2019).pdf)
- [22] JRC, Assessment of the Commercial Availability of LTE-V2X Equipment According to the 5G Automotive Association (5GAA),
https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-04-11-jrc_assessment_lte-v2x-equipment_april_2019.pdf
- [23] 5GAA, 5GAA, BMW Group, Ford and Groupe PSA Exhibit First European Demonstration
-

-
- of C-V2X Direct Communication Interoperability Between Multiple Automakers,
<http://5gaa.org/news/5gaa-bmw-group-ford-and-groupe-psa-exhibit-first-european-demonstration-of-c-v2x-direct-communication-interoperability-between-multiple-automakers/>
- [24] 勧告 ITU-R M.2083-0, IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, 2015 年 9 月,
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf
- [25] 3GPP, TS 38.211, NR physical layer, General description v15.0.0, 2019 年 3 月,
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/38_series/38.211/
- [26] 総務省, 第 5 世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設計画の認定, 2019 年 4 月 10 日, http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000378.html
- [27] 3GPP, TS38.101-1, NR;User Equipment (UE) radio transmission and reception;Part1: Range 1 Standalone V15.2.0, 2019 年 4 月,
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/38_series/38.101-1/
- [28] 総務省, 第 5 世代移動通信システムの導入のための周波数の割当てに関する意見募集の結果及び電波監理審議会からの答申, 2018 年 12 月 14 日,
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000367.html
- [29] SIP 自動走行システム推進委員会, ダイナミックマップの概要/定義および、SIP-adus における取り組みに関する報告, 2017 年 9 月,
https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/iinkai/jidousoukou_30/siryo30-2-1-1.pdf
- [30] 驚見公一, コネクテッド/自動運転を見据えた交通システム, 2019 年 1 月,
<https://sei.co.jp/technology/tr/bn194/pdf/194-16.pdf>
- [31] 警察庁交通局, 警察による ITS, 1998 年 11 月,
<https://www.tmt.or.jp/research/pdf/its-j.pdf>
- [32] 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) /ITS 無線路側機等の路車間通信以外の手法による信号情報の提供に係る調査 平成 30 年度成果報告書, 2019 年 3 月, <https://www.nedo.go.jp/content/100890631.pdf>
- [33] 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) /自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る調査 平成 30 年度成果報告書, 2019 年 3 月, <https://www.nedo.go.jp/content/100890621.pdf>
- [34] 3GPP, TS 31.102 Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) application, 2019 年 3 月,
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/31_series/31.102/
- [35] 国土交通省, 道路統計年報 2018, 2018 年 4 月,
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/index.html>
-

-
- [36] 情報通信審議会 情報通信技術分科会, 新世代モバイル通信システム委員会報告ローカル 5G 検討作業班,
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/5th_generation/local_5g/index.html
- [37] CONVERGE, Deliverable D4.3 Architecture of the Car2X Systems Network, 2015,
<http://www.converge-online.de/doc/download/Del%2043%20Masterdocument.zip>
- [38] ETSI, TR 102 962 V1.1.1, Framework for Public Mobile Networks in Cooperative ITS (C-ITS), 2012,
https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102900_102999/102962/01.01.01_60/tr_102962v010101p.pdf
- [39] 3GPP, TS 36.323 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification, 2019 年 4 月,
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.323/
- [40] ETSI, MEC Deployments in 4G and Evolution Towards 5G, February 2018,
<https://portal.etsi.org/TBSiteMap/MEC/MECWhitePapers.aspx>
- [41] ESTI, MEC - Multi-access Edge Computing, 2019 年 5 月,
<https://forge.etsi.org/gitlab/mec>
- [42] 国土交通省, ETC2.0 データを活用した新たな民間サービスの実用化に向けパーク 24 株式会社とデータ配信に関する協定 (第 1 号) を締結 ～スムーズな駐車場案内によるサービス向上と交通円滑化の実現～, 2019 年 3 月,
http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001144.html