

# 第5世代移動通信システムの標準化

長谷川史樹\* 長谷川文大\*\*  
平 明德\*\*  
大賀正夫\*\*\*

## Standardization Trends and Activities on 5th Generation Mobile Communication System

Fumiki Hasegawa, Akinori Taira, Masao Oga, Fumihiko Hasegawa

### 要 旨

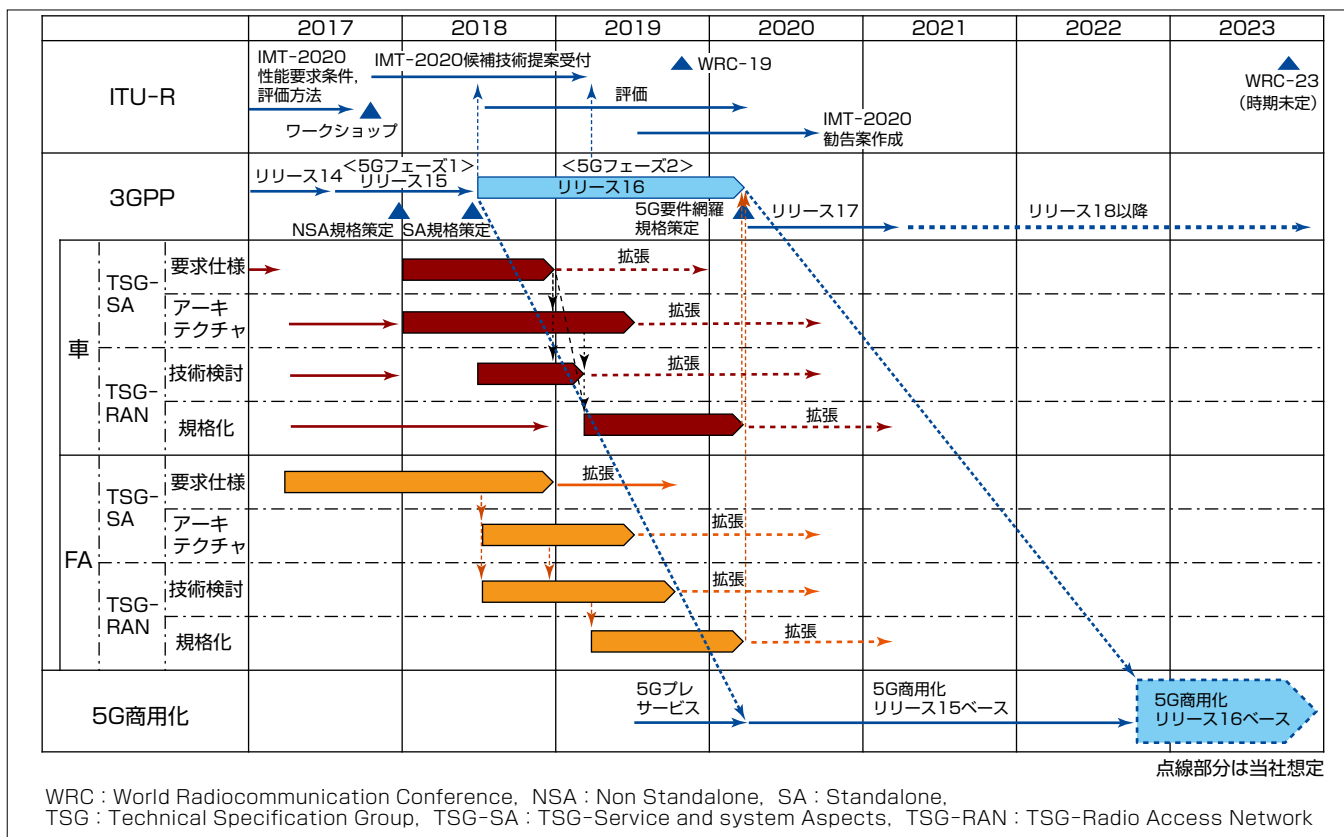
移動通信トラフィックの世界的な増大とIoT(Internet of Things)時代の多種多様なニーズに応えるため、高速大容量、多数同時接続、超高信頼・低遅延を実現する第5世代移動通信システム(5G)の国際標準化が進められている。

国際電気通信連合無線通信部門(International Telecommunication Union Radiocommunication sector : ITU-R)は、5Gに相当するIMT-2020(International Mobile Telecommunications-2020)の無線インタフェース技術勧告案を2020年秋に完成させる予定である。

3GPP(3rd Generation Partnership Project)は、2020年の5G商用サービス開始に向けて二つのフェーズ(フェーズ1 : リリース15, フェーズ2 : リリース16)でNR(New

Radio)規格策定を進めている。リリース15で策定する5G機能は、高速大容量を実現するeMBB(enhanced Mobile BroadBand)と一部の低遅延機能となる。リリース16では、車やFA(Factory Automation)といった産業用途への適用を目指し、多数同時接続を実現するmMTC(massive Machine Type Communication), 超高信頼・低遅延(Ultra Reliable and Low Latency Communication : URLLC)機能の策定を予定している。

三菱電機は、5Gの産業用途への適用に向け、通信の信頼性向上に関連する技術提案を行い、3GPP規格策定に貢献している。



### 2020年商用開始、及び2020年以降の商用に向けた5G標準化の主なスケジュール

3GPPは、2020年の商用化に向けて、リリース15(2017年3月~2018年6月)の規格策定が完了した。この規格を用いて国内では、2019年9月頃にプレサービスが予定されている。また、2018年6月からリリース16の規格策定が開始された。リリース16では、コネクテッドカー(Connected Car)向け、FA機器向けといった産業用途への適用を目指し、規格策定を進めている。

## 1. ま え が き

5Gは、携帯電話方式の国際標準規格作成を行っている3GPPで5G規格策定のフェーズ1が完了し、韓国、米国等の一部地域でサービスが開始された。日本でも2019年9月頃からプレサービスの開始が予定されている。

5Gは、スマートフォンなどに代表される高速データ通信eMBBの更なる大容量化に加えて、センサ等のmMTC、URLLCの三つの特長と、特定アプリケーションごとに必要となるQoS(Quality of Service)を保証する仕組みを導入することで、様々な要件が求められる産業用途への適用を目指している。eMBBとURLLCの一部については、2018年に標準化が完了した。現在、2023年以降の産業用途への適用を目指して、mMTC、URLLC等の標準化が進められている。

本稿では、3GPPでの5G標準化動向と当社の取組みについて述べる。

## 2. 5G標準規格状況

3GPPでは、二つのフェーズ(フェーズ1:リリース15, フェーズ2:リリース16)で5G規格化を進めている。フェーズ1(2017年3月~2018年6月)は、eMBBを中心とし、スマートフォンなどへの更なる高速データ通信を可能にする規格となる。

一方、フェーズ2(2018年6月~2020年3月)は、産業用途への適用を目指し、機器制御を可能にするURLLCや低消費電力で多数端末の接続を可能にするmMTCに対応した規格となる。

表1、表2にフェーズ2で規格化を進めている産業用途向けの検討項目を示す<sup>(1)</sup>。

表1に示すとおり、サービス要件検討、システムアーキテクチャ検討で、産業分野へ5Gを適用するための要件、システムの検討が行われている。5Gサービス要件検討で、5Gを活用した新たなサービスの検討や、市場要求を明確にする。さらに、5Gシステムアーキテクチャ検討で、5Gの特徴である低遅延・高信頼・低ジッタで3GPPデータサービスを行うためのシステムアーキテクチャの検討が行われている。また、サービスごとの要件に合わせてネットワークを運用可能にするネットワークスライシングについての検討も行われている。ネットワークスライシングのビジネスモデル検討は、ビジネスモデルを実現するために必要となる要件検討が行われ、これらの検討を基に実現に向けたアーキテクチャの検討が進められている。

表2は、全体の検討(表1)を基に、車、FA等の特定産業用途向けの検討項目を示す。車関連として3項目、FA関連として2項目、その他として3項目の規格化が行われている。

表1. 産業用途向けの3GPP検討項目(全体)

分類	アイテム名	概要
全般	サービス要件検討(SMARTER_Ph2)	市場要求の分析、5Gを活用した新たなサービスの検討
	システムアーキテクチャ検討(5G_URLLC)	低遅延・高信頼・低ジッタを実現する5Gシステムアーキテクチャの検討
	ネットワークスライシングのビジネスモデル検討(BRMNS)	ネットワークスライシングのビジネスモデルとそれを実現するための要件の検討
	ネットワークスライシングのためのアーキテクチャ検討(eNS)	ネットワークスライシングを実現するためのアーキテクチャの検討

表2. 特定分野向けの3GPP検討項目

分類	アイテム名	概要
車関連	V2X機能拡張の検討(V2XIMP)	V2Xシナリオの追加とそれに関連する要件の検討
	V2X追加シナリオのアーキテクチャ検討(eV2XARC)	V2X追加シナリオを実現するためのアーキテクチャの検討
	V2Xアプリケーション検討(V2XAPP)	V2Xアプリケーションを利用するためのアーキテクチャ検討
FA関連	産業分野への5G適用検討(cyberCAV)	産業分野へ5Gを適用するための性能要件の検討
	産業分野向けのアーキテクチャ検討(Vertical_LAN)	産業分野へ5Gを適用するためのアーキテクチャの検討
その他	鉄道通信システム検討(MONASTERY2)	鉄道通信へ5Gを適用するためのサービスシナリオとそれに関連する要件の検討
	衛星サービス検討(5GSAT)	衛星サービスに5Gを適用するためのユースケース及びサービス要件の検討
	測位サービス検討(5G_HYPOS)	測位サービスに5Gを適用するためのユースケース及びサービス要件の検討

車関連の項目では、LTE(Long Term Evolution) V2X(Vehicle-to-Everything)をベースとし、5Gの特長を生かした機能拡張の検討が行われている。

FA関連の項目では、工場内に5Gを適用するための性能要件とアーキテクチャの検討が行われている。

その他の項目では、鉄道分野への5G適用や、衛星分野への5G適用、測位サービスへの5G適用などを検討し、規格化が行われている。

## 3. 標準規格と当社活動

この章では、3GPP規格作成段階で当社が関与した技術項目を取り上げ、規格内容と当社活動を述べる。

### 3.1 車向け規格

3GPPの車向けサービスはV2Xシナリオと呼ばれ、V2V(Vehicle-to-Vehicle)、V2I(Vehicle-to-Infrastructure)、V2N(Vehicle-to-Network)、V2P(Vehicle-to-Pedestrian)の4タイプのアプリケーション収容が要求された<sup>(2)</sup>。2016年9月の端末間通信機能を用いるV2V/V2I/V2P規格を皮切りに、基地局-端末間通信機能を用いるV2N規格を加えたV2X Phase-1が2017年3月にリリースされ、さらに大容量化と低遅延化による端末間通信機能の強化などを行ったV2X Phase-2が2018年6月にリリースされた。V2X Phase-1、及びPhase-2共に4Gとして利用されているLTEをベースとした規格である。2019年3月現在、5G向けに開発されたNR(New Radio)を活用し、伝送容量、信頼性、伝送遅延、利用周波数帯域などの強化を目指

すV2X Phase-3の議論が進行中である。3GPPの規格策定に当たっては、車向けに25種のユースケースを想定し、これらを4カテゴリーにグループ化して通信システムとしての要求性能を導いている<sup>(3)</sup>。具体的には、①Vehicles Platooning(隊列走行)、②Extended Sensors(車両・路側装置・歩行者間でのセンサ情報共有)、③Advanced Driving(自動運転)、④Remote Driving(クラウドベースの遠隔操作)という異なる性質のアプリケーションを想定し、必要とされる通信パラメータとしてパケットサイズ、頻度、遅延時間、信頼性、伝送速度、通信距離が示されている。

V2Xシナリオで特徴的な機能の一つとして、端末間通信が挙げられる。一般的に用いられるスマートフォンなどは、基地局を介して無線接続が行われており、基地局→端末がダウンリンク(DL)、端末→基地局がアップリンク(UL)と呼ばれている。これに対して、V2Xシナリオでは車と車、又は車と人など端末同士が基地局を介さずに直接通信を行う機能が大きな役割を果たし、サイドリンク(SL)と呼ばれている。技術的には、高速移動環境での安定した情報伝送、端末間での時間・周波数同期が重要な課題となる。SLは専用周波数での運用も可能であるが、基地局-端末間通信と同一周波数で運用する場合には、ULフレームの一部がSLに割り当てられる。基地局による制御を行わない場合、ランダムリソース選択に基づくSPS(Semi-Persistent Scheduling)による伝送が行われる<sup>(4)</sup>。SPSとランダムリソース選択の概念図を図1に示す。送信情報を持つ端末は、20~100m秒の送信ウィンドウ内で半固定的に送信リソースを設定する。SPSによる情報の送信周期は20, 50, 100, 200, …, 1,000m秒の中から選択可能である。各端末はリソース選択時に“再選択カウンタ”に乱数をセットする(例えば送信周期100m秒以上の場合は5~15回)。この回数送信が完了したタイミングで、一定確率でリソース切替えが行われる。リソース選択を行う際には、直前1秒間の干渉測定が義務付けられており、一定強度以上の干渉が生じない時間・周波数リソースが優先的に選択される。この仕組みによって、各端末は自律的に干

渉を回避しつつ、端末間通信を実現できる。

当社ではV2Xシナリオでの安定した情報伝送に向け、ダイバーシチ方式や参照信号の構成、端末間同期方式に関する提案を行っている。

### 3.2 FA向け規格

3GPPのFA向け規格検討は、“Factory of the Future”と呼ばれ、表3に示す5種類のユースケースと9種類のアプリケーションエリアを定義して要求条件及び技術検討が進められている。

リリース16では、CPS(Cyber Physical System)向けアプリケーションのサービス要求条件が2018年12月に規格化された<sup>(5)</sup>。特に、モーションコントロールなどのユースケースでは、500μ秒間隔の周期的な通信の実現やクロック同期精度1μ秒以下など非常に厳しい要求条件となっている。

また、FA向けサービスを提供するネットワークは、公衆網(Public Network)の利用だけではなく、工場などの建物内に構築し、5G通信機能を持つFA向け産業機器や特定のユーザーなど限られた範囲内でサービスを提供できるNPN(Non Public Network)が新たに導入されている<sup>(6)</sup>。NPNは2種類のカテゴリーに分類され、①完全に独立したスタンドアロンなネットワーク構成、②公衆網と連携したネットワーク構成、を想定している。また、NPNの保守運用では、これまで公衆網で同サービスを提供してきた通信事業者ではなく工場のオーナーや委託されたシステムインテグレータが担当する。

近年、産業用通信規格として、CC-Link IE、PROFINET<sup>(注1)</sup>、EtherCAT<sup>(注2)</sup>など産業用イーサネット<sup>(注3)</sup>系の通信プロトコルの導入が進んでいる<sup>(7)</sup>。そのため、FA向け規格では、これらの産業用アプリケーションを5Gシステム上で通信するための技術課題を解決するソリューションが提案され、主要な技術課題としては、①5G LAN-typeサービス(LANアプリケーションのサポート)、②クロック同期(Time Sensitive Communication)、③低遅延・高信頼無線通信などが挙げられる。

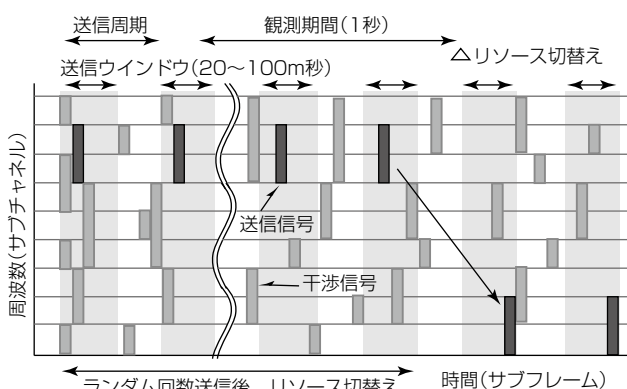


図1. SLでのSPSとランダムリソース選択の概念図

表3. FA向けユースケースとアプリケーションの対応

	モーションコントロール	安全機能付き可搬制御盤 制御装置間通信	モバイロロボット	遠隔アクセスと保守	拡張現実	閉ループプロセス制御	プロセス監視	プラントアセットマネジメント
ファクトリーオートメーション	×	×	×					
プロセスオートメーション			×			×	×	×
HMIと生産IT		×			×			
物流と倉庫保管	×		×					×
監視と保守				×				

HMI : Human Machine Interface

(1) 5G LAN-typeサービス<sup>(6)(8)</sup>

5G LAN-typeサービスでは、5Gシステム上で従来のIP(Internet Protocol)データに加え、イーサネットなどの非IPデータの通信を提供する。このサービスを利用する端末は、同じグループに登録された端末のみがアクセス可能な5G LANの仮想ネットワーク(5G LAN-Virtual Network)内で、イーサネットデバイスが接続された端末と端末間を1対1又は1対多接続によるプライベートな通信を行う。なお、端末間のプライベート通信は、基地局及びコアネットワークを経由した通信経路上で実施される。トランスポート層プロトコルがイーサネットの場合、QoS制御やVLAN-ID(Virtual LAN-IDentifier)に基づくルーティング機能などのサポートが要求されている。

(2) クロック同期

産業用イーサネットでは、ネットワークのリアルタイム性を保証するためTSN(Time Sensitive Networking)技術への対応が進んでいる。3GPPでは、TSN規格のうち時刻同期規格であるIEEE802.1AS及び時分割スケジューリング規格であるIEEE802.1Qbvに対応し、TSNブリッジやエンドステーションとの接続をサポートする。図2は、TSNソリューションのうち、5Gシステムを一つの論理的なTSNブリッジとみなすアーキテクチャ例と完全な

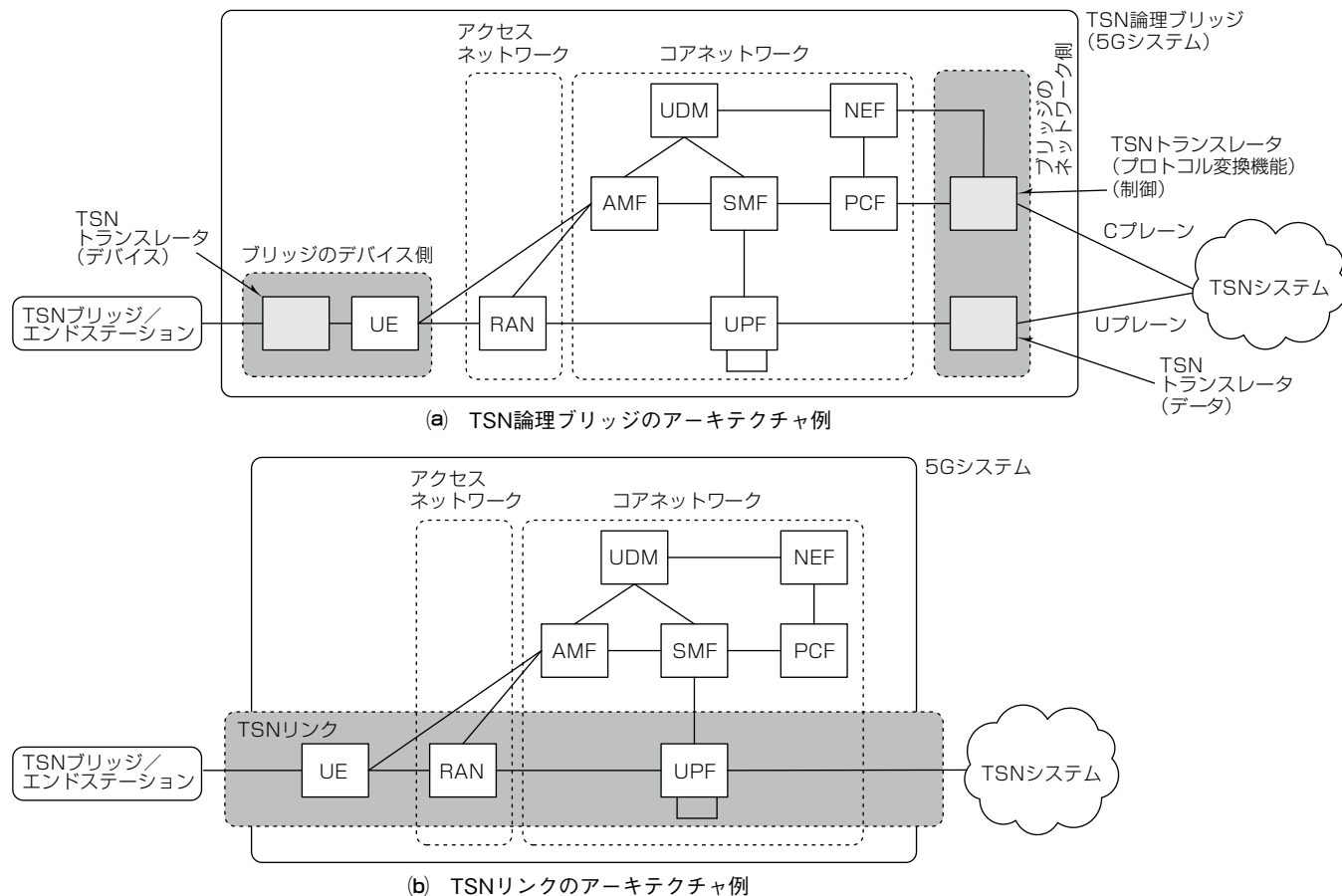
産業用イーサネットの置き換えとなるTSNリンクのアーキテクチャ例を示している。図2(a)では、新たにTT(TSN Translator)と呼ばれるTSNを終端する機能を5Gシステム内に備えるブリッジモデルを構成する。このモデルでは、5Gシステム内の遅延量から新たにバウンダリー・クロックを生成することでTSN規格に対応した通信装置やFA向け産業機器間のクロックを同期させ、TSN接続を保証する。一方で、図2(b)は、5Gシステムを介して接続されたTSN規格対応機器間で直接クロック同期処理を行うリンクモデルを構成している。なお、ブリッジモデルでもリンクモデルと同様にTSN規格対応機器間で同一のクロックに同期するトランスペアレント・クロックの接続形態も技術課題の一つに挙げられている。表4にTSN接続モデルとクロック同期の関係を示す。

(3) 低遅延・高信頼無線通信技術

FA向けアプリケーションに要求される高可用性を保証するために、3GPPではDC(Dual Connectivity)やCA(Carrier

表4. TSN接続モデルとクロック同期の関係

モデル	クロック同期の形態
ブリッジモデル	トランスペアレント・クロック
	バウンダリー・クロック
リンクモデル	-



UE : User Equipment, UDM : Unified Data Management, AMF : Access and Mobility Management Function, NEF : Network Exposure Function, SMF : Session Management Function, PCF : Policy Control Function, UPF : User Plane Function

図2. 5GSのTSN接続アーキテクチャ例<sup>(7)</sup>

Aggregation)技術を活用し、レイヤごとに①Multi-TRP (Transmission Reception Point), ②PDCP duplication, ③High Layer Multi-Connectivity, と呼ばれる複数の通信経路を用いた冗長的な無線通信によって高信頼性を確保する無線通信技術が検討されている(図3)<sup>(9)(10)</sup>。

2019年3月時点では、リリース17でのFA向け規格のサービス要件が提案され、新たにTSNの複数タイムドメイン対応など産業用イーサネット向け機能追加、NPNの運用管理機能及びデバイス間通信(Device to Device Proximity Services)などFA向け規格の機能拡張に向けた技術課題として挙げられている。

当社では、3GPPでの提案活動を通じて、FA向け産業機器に対する5G技術の適用範囲を明確にしつつ、工場の無線化に向けた検討を進めている。

(注1) PROFINETは、PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.の登録商標である。

(注2) EtherCATは、Beckhoff Automation GmbHの登録商標である。

(注3) イーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

### 3.3 その他の産業向け規格

3GPPで、NR向け測位の技術の検討が行われている。ダウンリンクで複数基地局を用いて測位を行うOTDOA (Observed Time Difference Of Arrival), アップリンクで隣接セルに向けて測位用参照信号を送信し、測位を行うUTDOA(Uplink-Time Difference of Arrival)手法、そしてアップリンク及びダウンリンクを用いて1台の基地局で測位を行うE-CID(Enhanced-Cell Identifier)方式が測位手法として提案されている。無線アクセス技術を用いた手法で、FR1(Frequency Range 1)と呼ばれる4GHz帯-及びFR2と呼ばれる30GHz帯-の周波数帯を想定した技術が検討されており、PRS(Positioning Reference Signal)と呼ばれる測位用参照信号設計もダウンリンク及びアップリンク向けに提案されており、信号設計の枠組みが議論されている。また、FR2向けにはビームを用いた測位も検討されており、測位時にビームを動かしながら送信に用いるビームの候補の中から最適なビームを選べる仕組みも議論されている。併せて衛星を用いた測位手法の規格化も行われている。先に述べた手法は基地局又は端末から送信される信号を用いた無線アクセス技術に基づいた測位手法であるが、衛星を用いた測位手法も3GPP規格として検討されている。QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)<sup>(11)</sup>で規格化されている測位精度及び収束時間に優れるPPP(Precise Point Positioning)-RTK(Real Time Kinematic)方式の規格化が3GPPで行われている<sup>(12)</sup>。

また、リリース16でのMIMO(Multiple Input Multiple Output)議論でURLLC向け技術議論が行われており、基地局間で同期又は非同期を想定した複数基地局を用いて信頼性を高める技術が提案されている。また、空間多重、周波数多重及び時間多重を用いる技術が提案されている。

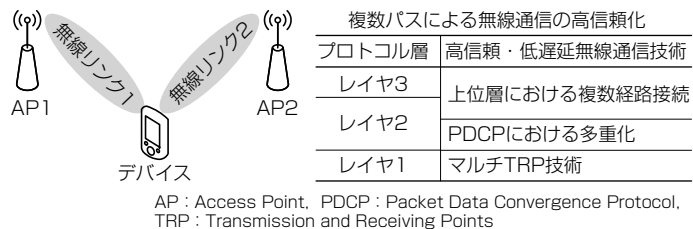


図3. 複数パスによる低遅延・高信頼無線通信技術

## 4. む す び

3GPPでの5G標準化に関して、規格策定状況を述べ、さらに、当社が産業用途向け規格策定に対して技術提案した信号伝送の信頼性向上技術に関して述べた。当社は、今後も3GPPへの継続的な参加と技術提案を行い、2020年の5G実現及び2020年以降の5G要件を網羅した国際標準化へ貢献していく。

## 参 考 文 献

- (1) 3GPP : TSG SA Report to TSG RAN 83 (2019)
- (2) 3GPP : Service requirements for V2X services, TS22.185 V14.3.0 (2017)
- (3) 3GPP : Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services, TR22.886 V15.1.0 (2017)
- (4) 工藤理一, ほか : コネクテッドカーサービス実現に向けたLTE V2X技術, 電子情報通信学会和文論文誌B, **J101-B**, No.6, 417~433 (2018)
- (5) 3GPP : Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains; Stage1, TS22.104 V16.1.0 (2019)
- (6) 3GPP : Service requirements for the 5G system; Stage1, TS22.261 V16.1.0 (2019)
- (7) 堀田善文, ほか : IoTを支えるイーサネット規格TSN技術, 三菱電機技報, **90**, No.7, 406~410 (2016)
- (8) 3GPP : Study on enhancement of 5G System(5GS) for vertical and Local Area Network(LAN) services, TR23.734 V16.1.0 (2019)
- (9) 3GPP : Study on physical layer enhancements for NR ultra-reliable and low latency case(URLLC), TR38.824 V16.0.0 (2019)
- (10) 3GPP : Study on enhancement of Ultra-Reliable Low-Latency Communication(URLLC) support in the 5G Core network(5GC), TR23.725 V16.1.0 (2019)
- (11) Cabinet Office : Quasi-Zenith Satellite System Interface Specification, Centimeter Level Augmentation Service, IS-QZSS-L6-001 (2018)
- (12) 3GPP : Study on NR positioning support, TR38.855 V1.1.0 (2019)