

衛星通信と 5G/Beyond 5G の連携に関する検討会
報告書

2020 年 2 月

衛星通信と 5G/Beyond 5G の連携に関する検討会

国立研究開発法人情報通信研究機構

目次

検討会開催概要	2
略語一覧	3
1. はじめに	4
2. 衛星 5G 連携の背景	5
2.1. 5G のキー技術	5
2.2. 衛星 5G 連携への期待	7
2.3. 衛星 5G 連携に関する欧州プロジェクト	8
2.3.1. 欧州プロジェクトの概要	8
2.3.1.1. SaT5G プロジェクト [4]	9
2.3.1.2. SATis5 プロジェクト [5]	10
2.3.2. 欧州プロジェクトのトライアルとデモンストレーション	11
2.4. 衛星 5G 連携のネットワークアーキテクチャ	13
3. 衛星 5G 連携に期待されるユースケースの検討	14
3.1. 5G/Beyond 5G の時代の日本	14
3.2. 国内におけるユースケースの検討	15
3.3. ユースケースのまとめ	19
4. 衛星 5G 連携の取り組みに関する検討	21
4.1. 衛星 5G 連携の有効性	21
4.2. 国内におけるトライアルの検討	28
5. 衛星 5G 連携の標準化に関する検討	33
5.1. 移動通信システムの標準化の概要	33
5.2. 地上系 5G の ITU 勧告策定手順と衛星系 5G の動向	34
5.3. 3GPP における衛星 5G 連携標準化の状況	34
5.4. 標準化に関する検討	37
6. Beyond 5G で期待される通信ネットワークの概念	39
7. まとめ	40
謝辞	42
参考文献	43
付録 1：構成員・オブザーバー一覧	44
付録 2：3GPP で検討されている衛星 5G 連携のユースケース	47

※ 本資料の引用について

本資料は、国立研究開発法人情報通信研究機構が開催した「衛星通信と 5G/Beyond 5G の連携に関する検討会」において作成した。本資料を引用する場合は出典を明記すること。

2020 年 2 月 国立研究開発法人情報通信研究機構

検討会開催概要

会 合	日時、場所、出席者	議 題
第1回	日 時：2019年8月29日（木） 14時00分～16時30分 場 所：NICT 大手町会議室（イノベーションセンターTCR） 出席者：外部構成員 15 機関 28 名、オブザーバ 2 機関 4 名	(1) 検討会の主旨説明及び第1回検討会のテーマについて (2) グループ討議 (3) 各グループ発表・質疑
第2回	日 時：2019年9月26日（木） 14時00分～17時00分 場 所：TKP 東京駅日本橋カンファレンスセンター （カンファレンスルーム 322） 出席者：外部構成員 15 機関 29 名、オブザーバ 2 機関 2 名	(1) 検討会の主旨説明及び第2回検討会のテーマについて (2) 衛星 5G の技術の紹介 (3) グループ討議 (4) 各グループ発表・質疑
第3回	日 時：2019年10月25日（金） 13時30分～17時00分 場 所：TKP 東京駅日本橋カンファレンスセンター （ホール 316） 出席者：外部構成員 16 機関 29 名、オブザーバ 2 機関 3 名	(1) 全体会合 (2) グループ討議 (3) 各グループ発表・質疑
第4回	日 時：2019年11月28日（木） 14時00分～16時30分 場 所：TKP 東京駅日本橋カンファレンスセンター （ホール 316） 出席者：外部構成員 17 機関 28 名、オブザーバ 2 機関 4 名	(1) 第3回までの議論の整理と第4回のテーマ (2) 標準化の検討 (3) トライアルの検討 (4) 報告書のまとめ方について (5) その他
第5回	日 時：2020年1月23日（木） 15時00分～17時00分 場 所：NICT 大手町会議室（イノベーションセンター） 出席者：外部構成員 17 機関 29 名、オブザーバ 2 機関 6 名	(1) 検討会報告書（案）の確認 (2) その他

略語一覽

- 3GPP : Third Generation Partnership Project
- 5G : Fifth-generation mobile communication system
- 5GPPP : 5G Infrastructure Public Private Partnership
- ASIC : Application specific integrated circuit
- ARTES : Advanced Research in Telecommunications Systems
- BER : Bit error rate
- D2D : Device to Device
- DVB-S2X : Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation X
- eMBB : enhanced Mobile Broadband
- ESA : European Space Agency
- EIRP : Equivalent isotropically radiated power
- ETSI : European Telecommunications Standards Institute
- GEO : Geostationary earth orbit
- gNB : Next-generation Node B
- HAPS : High-altitude pseudo-satellite
- HTS : High throughput satellite
- IoT : Internet of Things
- LAN : Local Area Network
- LEO : Low earth orbit
- MEC : Mobile edge computing
- MEO : Medium earth orbit
- MIMO : Multiple-input and multiple-output
- NFV : Network functions virtualization
- NR : New Radio
- NTN : Non-Terrestrial Network
- QoS : Quality of service
- RAN : Radio Access Network
- SDN : Software-defined networking
- TR : Technical Report
- TS : Technical Specification
- TSG RAN : Technical Specification Group Radio Access Network
- TSG SA : Technical Specification Group Service and System Aspects
- URLLC : Ultra-Reliable and Low Latency Communications
- VM : Virtual Machine
- VNF : Virtual Network Function

1. はじめに

第5世代移動通信（5G）時代の到来が間近に迫る中で5Gにおける衛星通信の役割が注目され、特に欧州では官民共同プロジェクトの活動が活発であるほか、3GPPにおける5Gの標準化でも衛星との接続が検討されている状況である。

一方、現在国内では5Gの導入に向けた活動は活発であるが、衛星通信を5Gと連携させたユースケースやそのための技術検討は未着手の状況にある。衛星通信は従来から広域性やマルチキャスト／ブロードキャストの特徴を生かしたサービス、災害時の緊急通信あるいは船舶、航空機などの移動体へのブロードバンドサービスに威力を発揮してきた。さらに近年では技術試験衛星9号機で実証実験が計画されているようなマルチビームを用いたハイスループット衛星（High Throughput Satellite：HTS）等の大容量衛星や、実用化が間近といわれている多数の低軌道衛星を利用したメガコンステレーションにより、高速大容量かつフレキシブルな回線制御、通信コストの低減が図られ、衛星サービスの向上への期待が高まっている。

このような状況のなかで、宇宙基本計画工程表（令和元年度改訂）において、技術試験衛星9号機について5G・IoT等の地上システムと連携した実証実験等を行うことが明記された[1]。また、国内での検討を促進する動きとして、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）の主催により2019年3月に「衛星通信と5Gの連携に関するワークショップ2019」を欧州・国内関係機関を交えて開催し、先行して検討が進められている欧州におけるプロジェクト活動（欧州プロジェクト）の最新状況や、3GPPにおける5Gに関する標準化活動において衛星通信との連携の検討が進められている状況を国内の関係機関で共有した。これに引き続き、2019年5月及び6月に「衛星5G連携に関する意見交換会」を開催した。議論の結果、衛星通信と5Gを連携させることによる有効なユースケース、必要な技術課題と実現方法、評価とデモンストレーション、標準化等について、先行する欧州プロジェクトとの連携も視野に入れながら、より具体的に検討することを目的として国内の地上・衛星通信事業者、メーカ、ポテンシャルユーザ、調査研究機関等から構成される「衛星通信と5G/Beyond 5Gの連携に関する検討会」を開催することとなった。

本検討会はNICTの主催により2019年8月から2020年2月の期間中、全5回開催された。第1回会合では有効なユースケースの検討、第2回会合では衛星5G連携に必要な技術の紹介を行い、これを基にユースケースを3つのカテゴリ（スマートシティ、モビリティ、非常災害時対応）に分類し、システム概念の検討を行った。第3回会合では第2回に検討したシステムについてその有効性、技術課題を検討するとともに、今後の標準化についても検討した。第4回会合では期待するユースケースのデモンストレーションと標準化について検討を行い、第5回会合では本検討会の検討結果のまとめを行った。

本報告書では、本検討会において実施した検討内容について報告する。

2. 衛星 5G 連携の背景

本章では衛星 5G 連携の背景として、まずは欧州プロジェクトで衛星 5G 連携への展開を目指している 5G の主要な技術について述べる。次に、衛星通信と 5G の連携が期待されるに至った背景として、最近の諸状況の変化について述べる。その後、衛星 5G 連携の開発動向として欧州プロジェクトの概要を述べる。最後に 5G のキー技術を展開した衛星 5G 連携のネットワークアーキテクチャについて言及する。

2.1. 5G のキー技術

本節では 5G の主要な技術について述べる。欧州における衛星 5G 連携プロジェクトは、5G で展開されようとしている以下の技術を衛星に適用することを目指している。

- SDN (Software Defined Network)
 - ・ネットワーク構成、機能、性能などをソフトウェアで動的に制御
 - ・ネットワーク機器の制御機能を集約
 - ・トラフィックの状況、アプリの要求に応じて動的にネットワーク構成を変更することで、ネットワーク動作の変更が可能
 - ・機器の設定管理の運用コストや設備投資コストの削減が可能
- NFV (Network Function Virtualization)
 - ・仮想化技術をネットワークインフラに拡張した技術。ソフトウェア機能を専用のハードウェアから分離させ、VNF (Virtual Network Function) ソフトウェアとして汎用サーバ上で動作させる。
 - ・仮想化技術を使ってネットワーク機能を汎用サーバ上に実現するため VM (Virtual Machine) を立ち上げ、ネットワーク機器の機能を制御する。
 - ・システム全体の柔軟性向上、ハードウェアコスト低減、稼働率の向上が期待できる。
- ネットワークスライシング
 - ・SDN/NFV を基礎として実現する技術
 - ・複数の類似したサービスを一つのネットワークスライス上でグループ化できる。
- オーケストレーション
 - ・ネットワークサービスやリソースの統合的管理・制御、最適化
 - ・ネットワーク、リソースを迅速かつ柔軟に割り当てることによって、プロセスにかかる時間を短縮する。
- エッジコンピューティング
 - ・低遅延化、大量データ処理、端末負荷のオフロード
 - ・衛星のマルチキャスト／ブロードキャスト機能アップ

図 2-1 にネットワークスライシングの概要、図 2-2 にユースケース、図 2-3 に実装方法を示す[2]。これらの技術を適用することにより、衛星 5G 連携にも大きな効果が見込めると期待される。

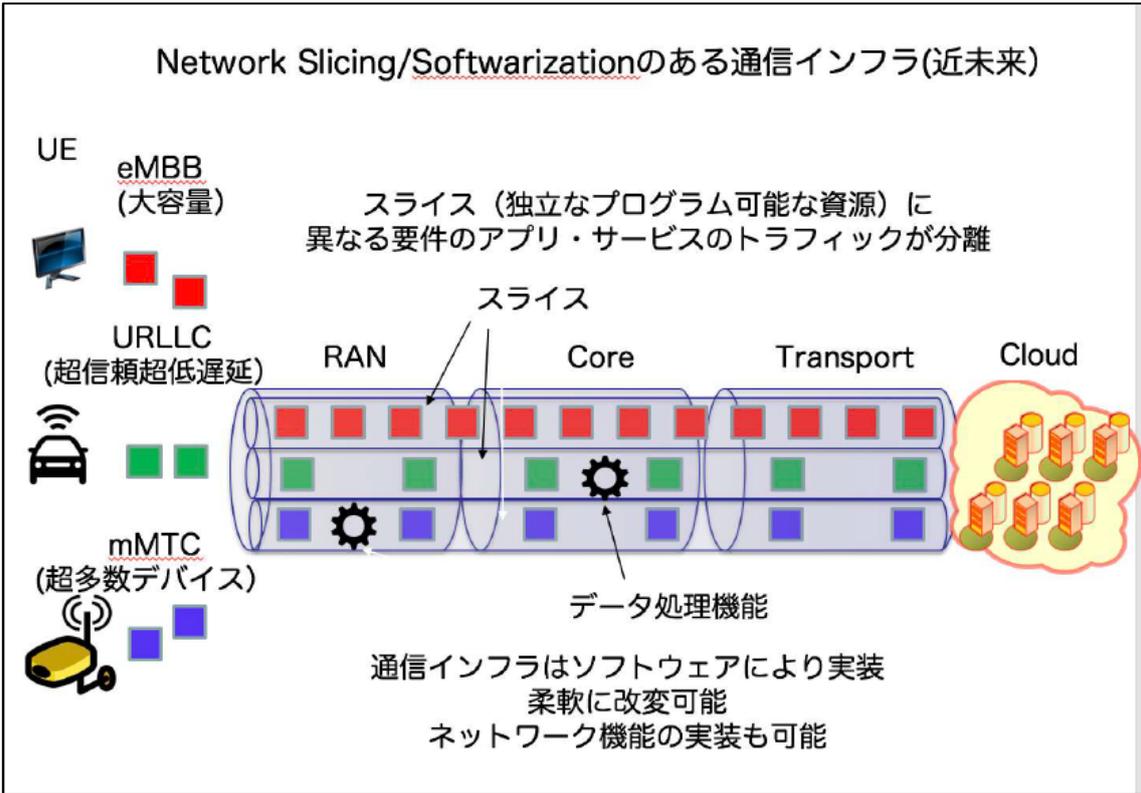


図 2-1 : ネットワークスライシングの概要[2]

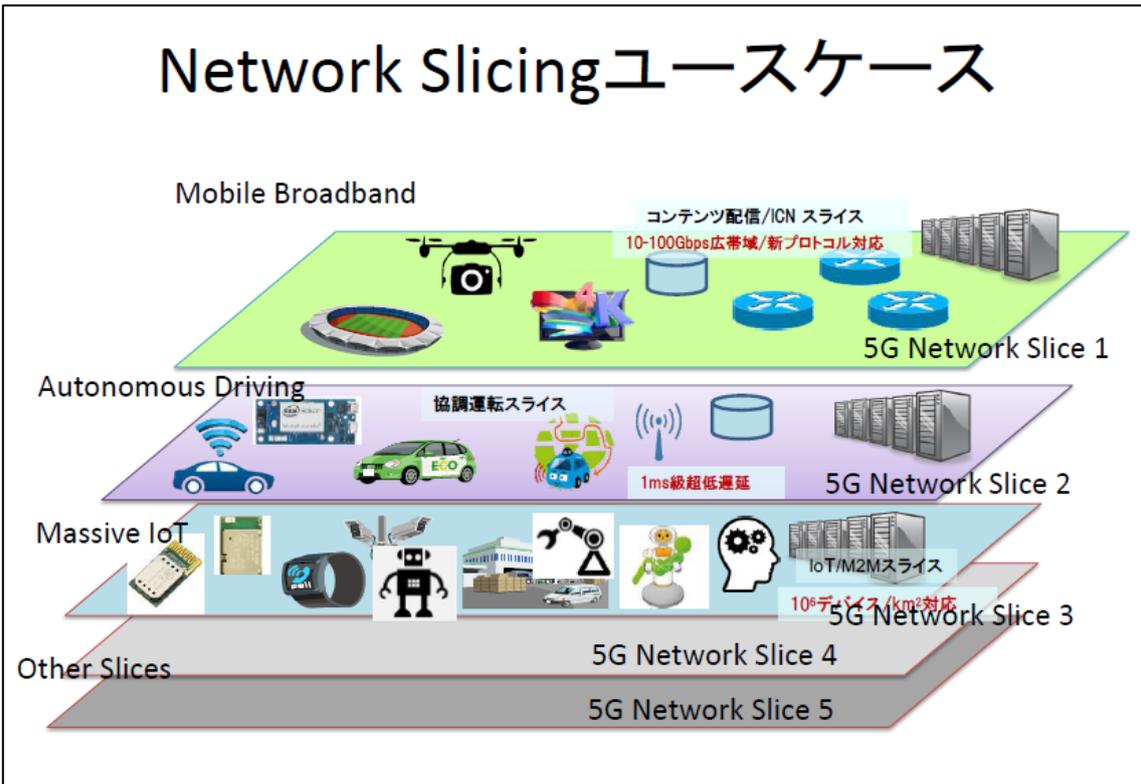


図 2-2 : ネットワークスライシングのユースケース[2]

5G System: Network Slicing

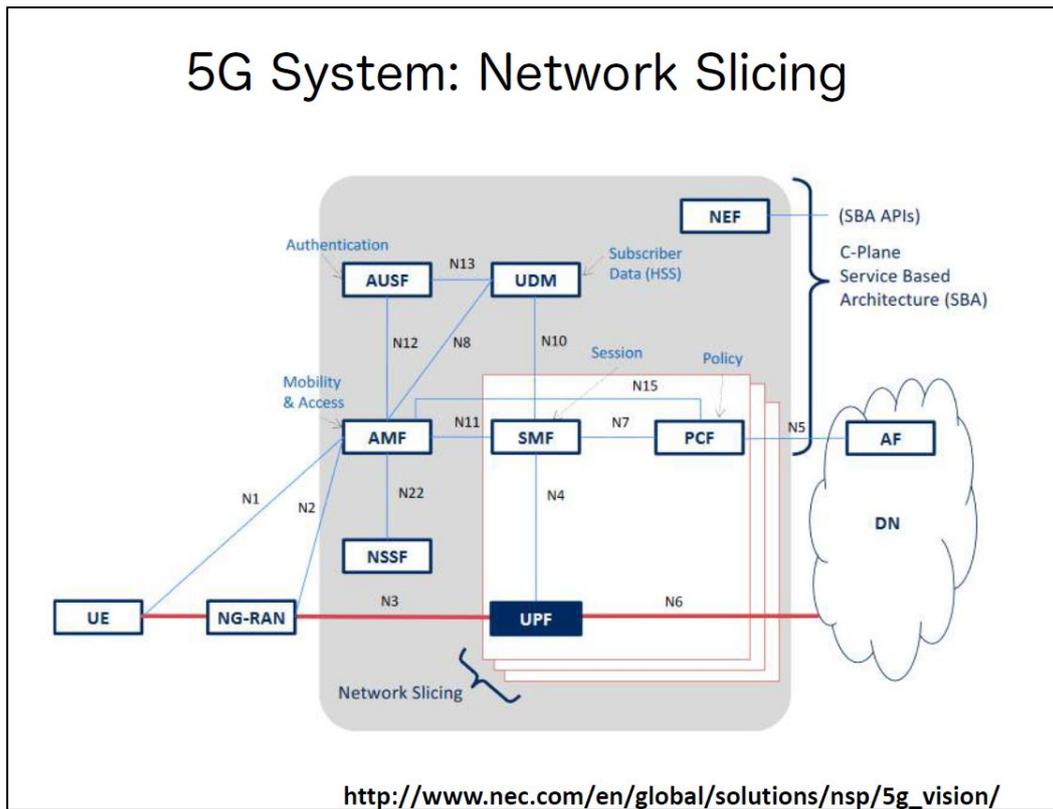


図 2-3：ネットワークスライシングの実装方法[2]

2.2. 衛星 5G 連携への期待

衛星 5G 連携の必要性を考えるモチベーションとしては、少なくとも図 2-4 に示すとおり 3 つが挙げられる。第一に衛星通信の進化である。近年、多数のマルチビームを有する HTS（ハイスループット衛星：High throughput Satellite）の登場や、超多数の LEO（低軌道：Low Earth Orbit）衛星によるメガコンステレーション計画により、周波数利用効率を上げることで、回線の低コスト化や高速大容量化、端末の大幅な小型化、低消費電力化が進んでいる。

さらに、2.1 で述べたような 5G の技術の特徴づけるネットワークのソフトウェア化、仮想化、これらを適用したネットワークスライシング及びネットワーク全体を管理するオーケストレーション等の技術を衛星系に展開することで、衛星通信と 5G の連携が効率よく実現できる可能性が出てきた。

最後は標準化である。これまで衛星通信は、地上系とは独立してアーキテクチャが構築されており、地上系との接続についての標準化はなされていなかった。しかし、今回の 5G では、3GPP において衛星を含む非地上系（NTN：Non-terrestrial network）を含めた標準化が進められており、これまでに見せていない動きを見せている。さらに欧州の 5GPPP では、5G の時代には 5G のアーキテクチャに衛星が組み込まれているといわれている。これにより非地上系の標準化が進み、“plug & play”化や ASIC 化が進展することが期待される。

これらの背景から、衛星通信と 5G の連携により、従来のユースケースの革新的な改善や、従来にないユースケースの創造が期待できると考えられる。

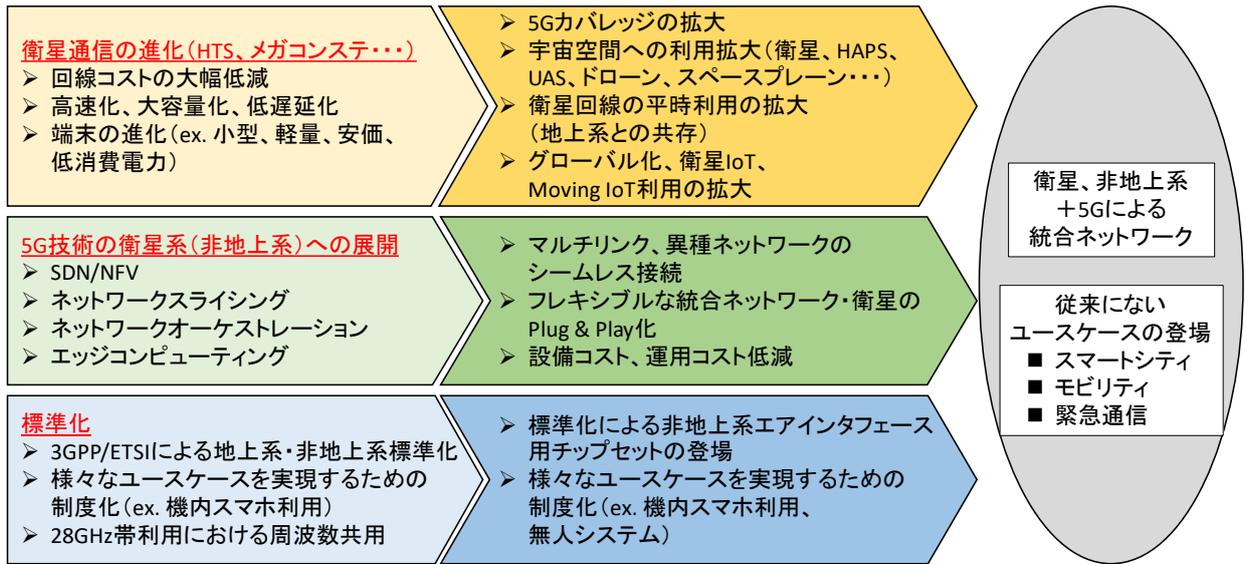


図 2-4：衛星 5G 連携のモチベーション

2.3. 衛星 5G 連携に関する欧州プロジェクト

2.3.1. 欧州プロジェクトの概要

欧州では、2015 年ごろから衛星 5G 連携に向けた開発プログラムが活発化した。図 2-5 に示すように、Horizon2020 では 2017 年に開始された SaT5G[3][4]が大きなコンソーシアムとして活動し、欧州宇宙機関 (ESA) は独自の ARTES プログラムで SATis5[5]を推進した。また、Horizon2020 では EU-韓国によるプロジェクト (5G ALLSTAR[6]) も 2018 年に立ち上がり、ESA の ARTES プログラムでは 2019 年に新たなプロジェクト (Space19+[7]) が提案されるなど、活動が継続している。本節では、SaT5G プロジェクト及び SATis5 プロジェクトについて紹介する。

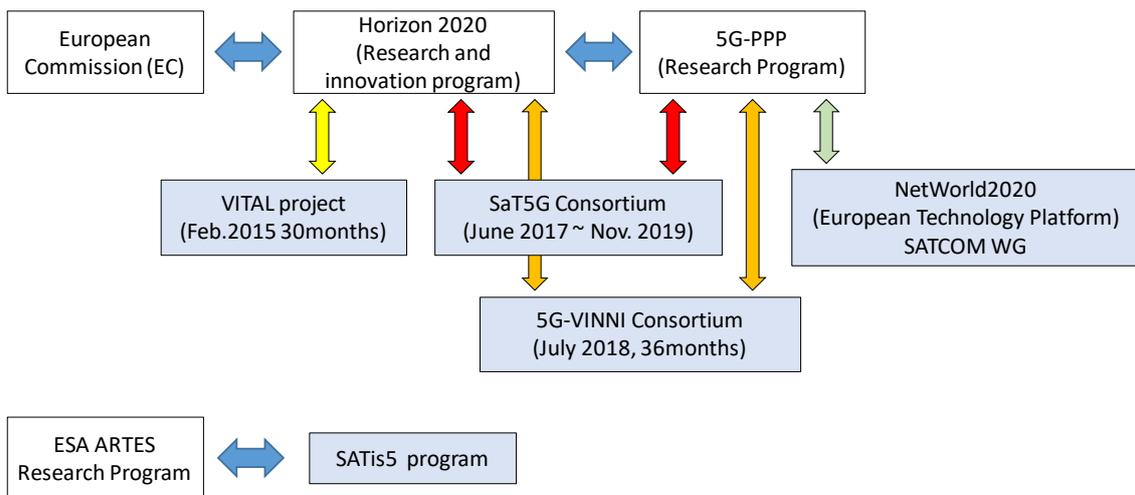


図 2-5：欧州における衛星 5G 連携活動

2.3.1.1. SaT5G プロジェクト [4]

- (1) 名称：Satellite and Terrestrial Network for 5G
- (2) プログラム：Horizon2020 の Research and Innovation Action
- (3) 期間：2017年7月から30か月間
- (4) 参加団体：16団体（Avanti communications, Airbus, Broadpeak, BT, Gilat Satellite Networks, i2CAT, Imec, Ekinops, Quortus, SES, Thales Alenia Space, TNO, University of Oulu, University of Surrey, ST Engineering, Zodiac Aerospace）
- (5) プロジェクトの目標
 - 5GPP を支援して“plug & play”ベースで衛星コンポーネントを組み込むことを可能とするソリューションを目指す
 - SaT5G のユースケースで商業的価値のある事業を開発
 - 評価及びデモンストレーション
 - 3GPP、ETSI の標準化に寄与

目標実現のための技術課題としては、

1. 衛星ネットワークへの SDN/NFV 導入
2. ネットワークマネジメント、オーケストレーション
3. マルチリンク、異種ネットワーク接続
4. 5G Control-plane/User-plane と衛星通信の協調
5. 5G セキュリティの衛星への拡張
6. キャッシングとマルチキャスト

の6つのキー技術を挙げている。これらの課題を図 2-6 に示す（[4]を基に作成）。

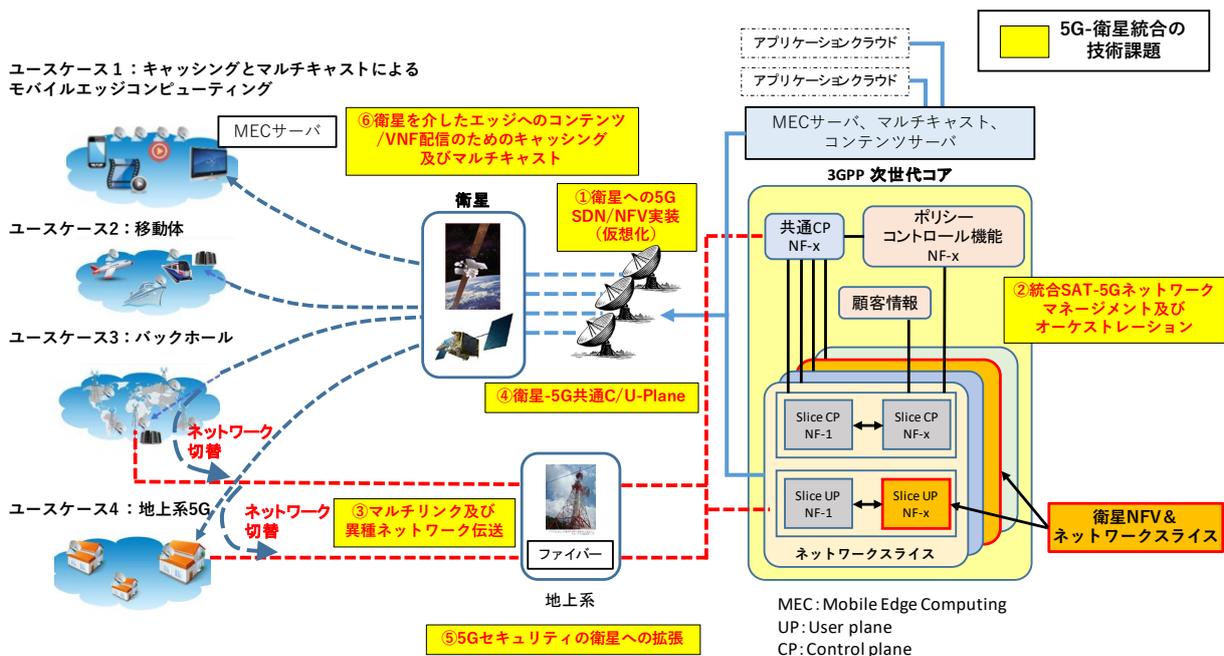


図 2-6：SaT5G による衛星 5G 連携のための技術課題（[4]を基に作成）

2.3.1.2. SATis5 プロジェクト[5]

- (1) 名称 : SATis5 Demonstrator for Satellite Terrestrial Integration in the 5G Context
- (2) プログラム : ESA の ARTES プログラムの一つとして ESA との契約に基づいて進められている
- (3) 期間 : 2017 年 10 月から 24 か月間、その後に 12 か月のテストベッドサービス期間
- (4) 参加団体 : 7 団体 (Eurescom, Fraunhofer FOKUS, Fraunhofer IIS, Newtec, SES S.A, TU Berlin, Universitat der Bundeswehr)
- (5) プロジェクトの目標
 - 主要な技術開発の進展と、5G の主なユースケースで衛星の有効性を実証できるテストベッドの開発
 - 衛星通信技術の進展をハイライトする
 - 3GPP で進められているオープンかつスタンダードなソリューションにより、衛星を 5G に統合すること、衛星業界を超えて通信業界にインパクトを与える

SATis5 では図 2-7 に示すように、直接接続、プロキシ接続、バックホール接続の接続モデルが想定されている。

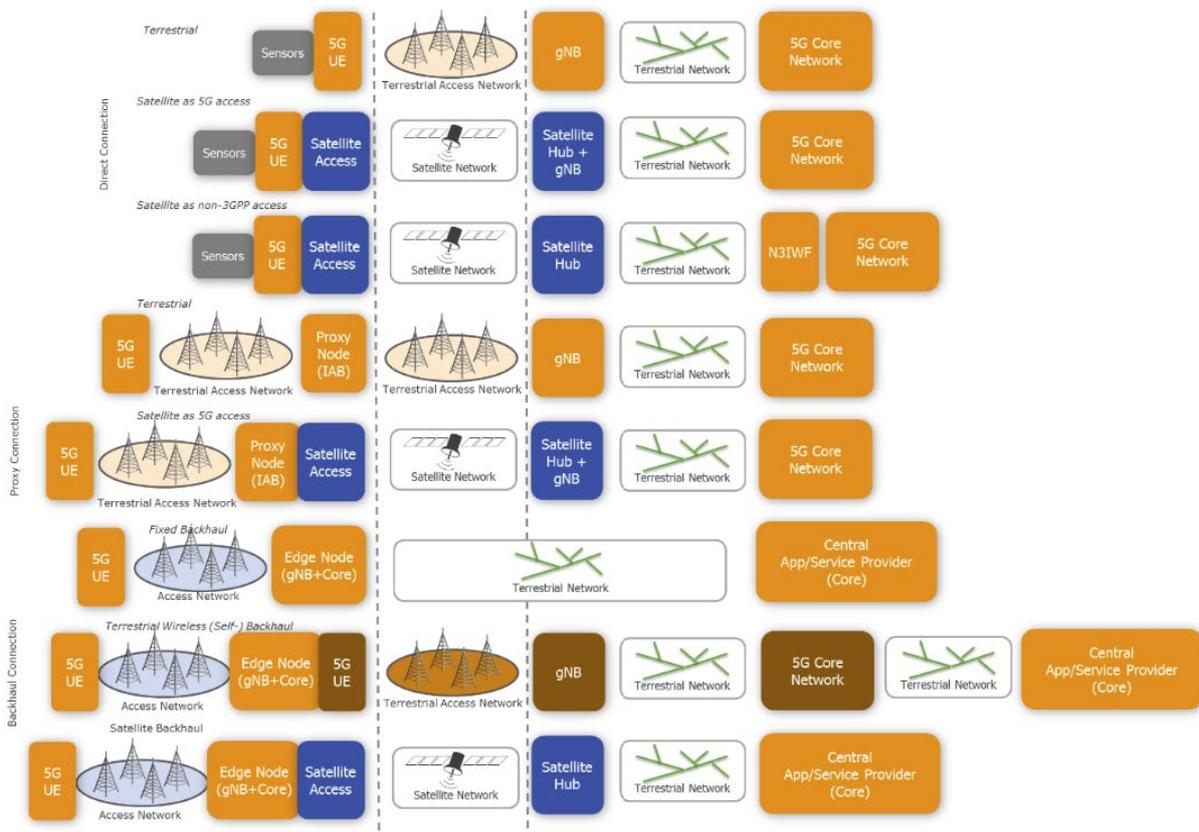


図 2-7 : SATis5 による衛星 5G 連携接続モデル[6]

2.3.2. 欧州プロジェクトのトライアルとデモンストレーション

欧州においては SaT5G や SATis5 等の技術開発の結果を反映したテストベッドが製作され、実衛星を用いた評価及びデモンストレーションが実施されている。表 2-1 と図 2-8 に、2018 年から 2019 年にかけて実施されたデモンストレーションに関する内容とその目的を示す。

表 2-1：欧州におけるデモンストレーションと目的

イベント	プログラム	目的
EuCNC 2018 (Ljubljana, Slovenia, Jun. 2019)	Sat5G	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3GPP におけるネットワークアーキテクチャに衛星が統合 ・ SDN/NFV の衛星への統合 ・ マルチアクセスエッジコンピューティング (MEC) ・ 衛星によるコンテンツ配信
FUSECO Forum 2018 (Berlin, Germany, Nov. 2018)	SATis5	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3GPP におけるネットワークアーキテクチャに衛星が統合 ・ SDN/NFV の衛星への統合 ・ マルチアクセスエッジコンピューティング (MEC) ・ eMBB、mMTC 対応ネットワークスライシングの衛星利用
MWC 2019 (Barcelona, Spain, Feb. 2019)	SATis5	<ul style="list-style-type: none"> ・ 衛星バックホールの 5G コアを満たす 3GPP Release 15 への統合 ・ SDN、NFV 及び MEC 技術の衛星への統合 ・ エッジコンピューティングのユースケース

EuCNC: European Conference on Networks and Communications

FUSECO Forum: Future Seamless Communication Forum

MWC: Mobile World Congress

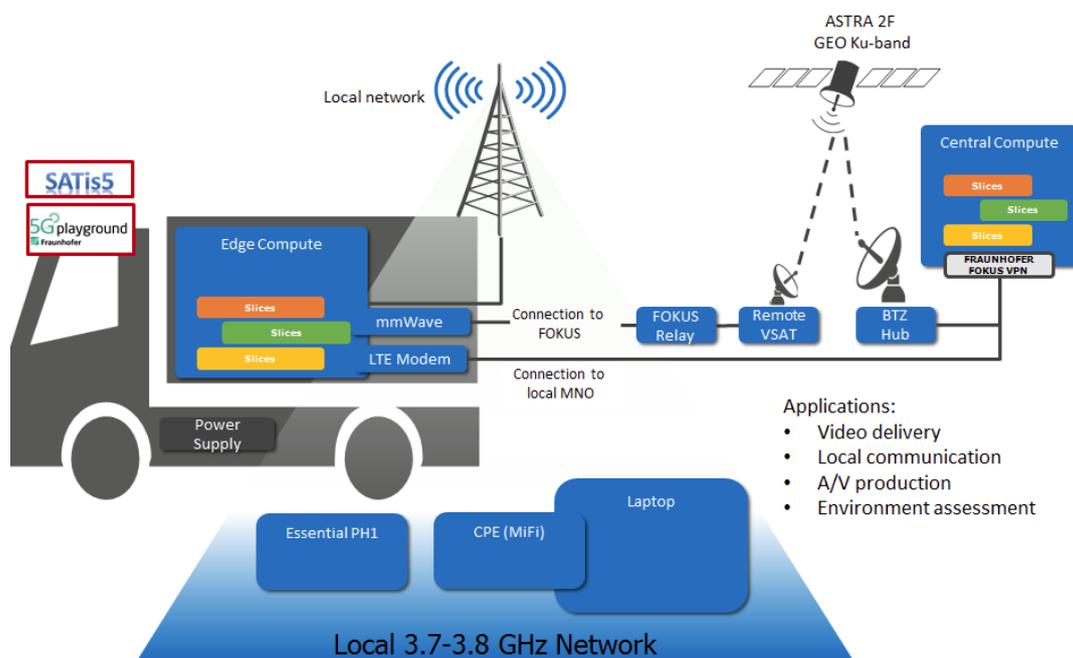


図 2-8：欧州におけるデモンストレーション (FUSECO Forum 2018) [9]

図 2-9 に SATis5 のバックホール接続を想定したテストベッドのアーキテクチャを、図 2-10 に SATis5 のデモンストレーションの構成を示す。ここではセントラルノードをベルリンに、端末を各国に配置している。

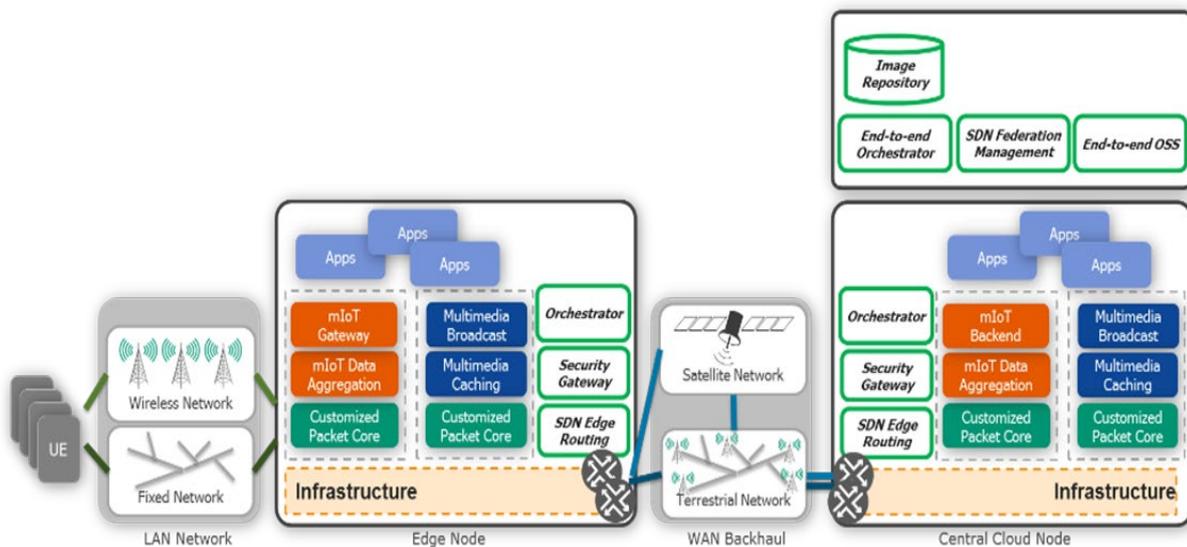


図 2-9 : SATis5 のテストベッドのアーキテクチャ [5]

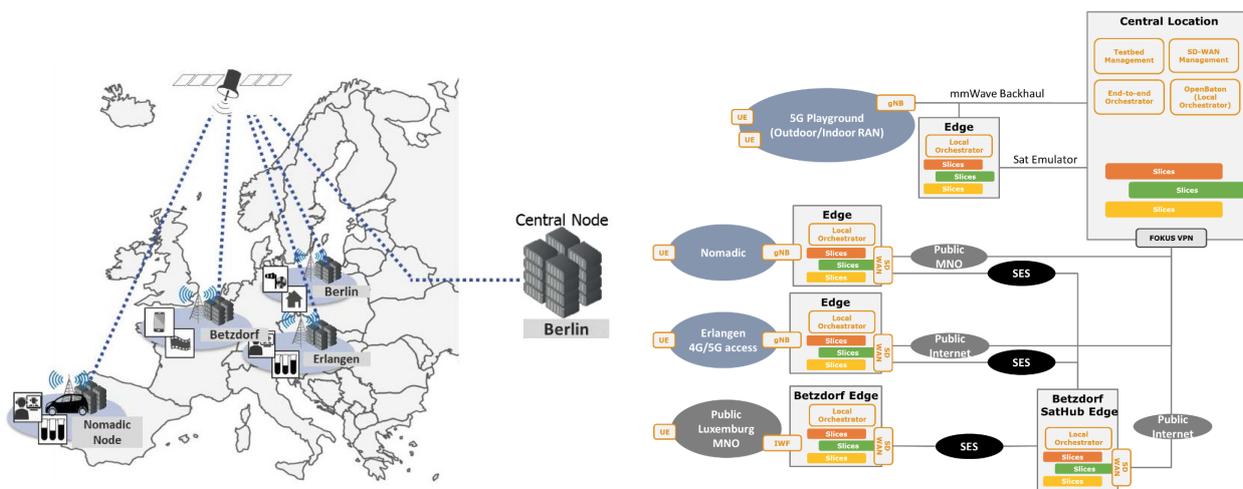


図 2-10 : SATis5 のテストベッドを用いたトライアルの構成例 [6]

2.4. 衛星 5G 連携のネットワークアーキテクチャ

衛星 5G 連携は、2.1 で述べた 5G のキー技術を衛星ネットワークに展開することにより実現される。図 2-11 に、5G のキー技術を適用した衛星 5G 連携のネットワークアーキテクチャの例を示す。

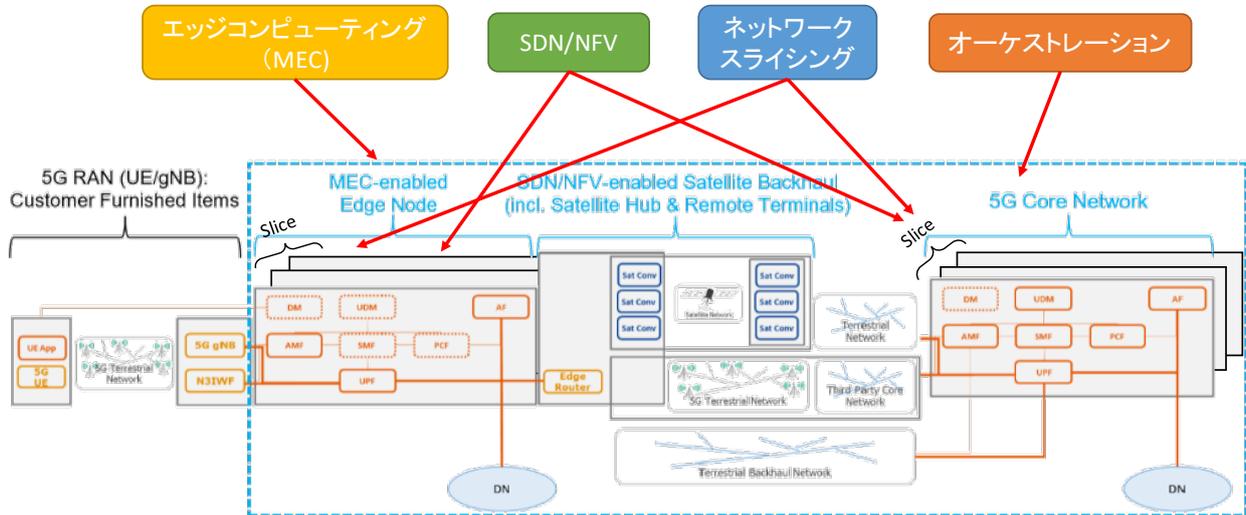


図 2-11：衛星 5G 連携のネットワークアーキテクチャ例 ([9]を基に作成)

5G についてはローカル 5G によるサービスの拡大が検討されているが、地上ネットワークとローカル 5G が接続できない環境において、衛星、HAPS 等の非地上系ネットワークが有効な手段になると予想される。図 2-12 には衛星、HAPS も組み込んだネットワークのアーキテクチャの例を示す[2]。

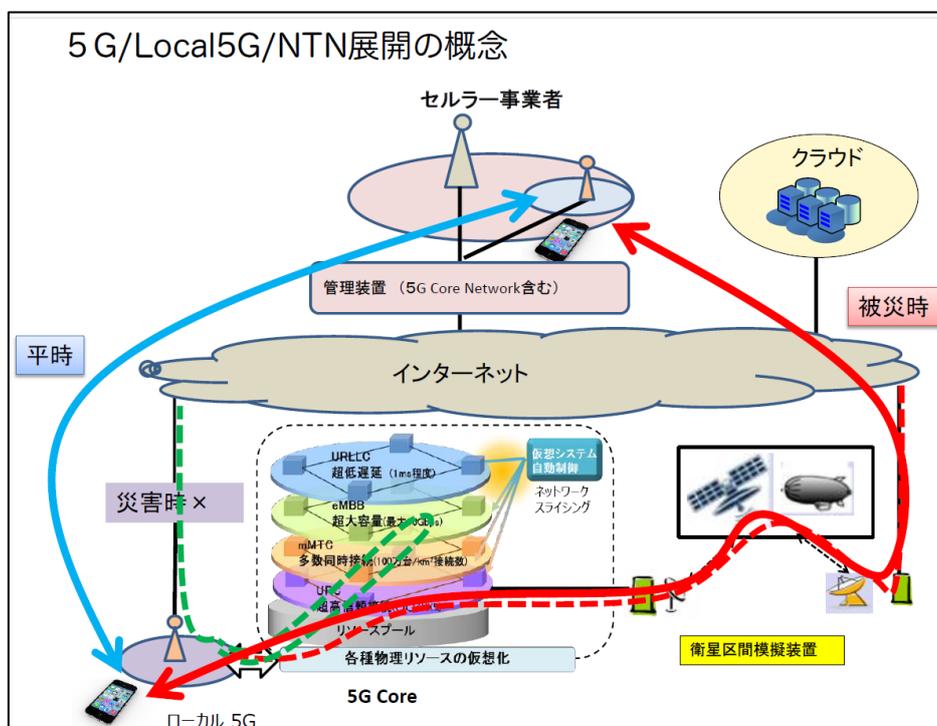


図 2-12：5G／ローカル 5G／衛星連携のネットワークアーキテクチャ例[2]

3. 衛星 5G 連携に期待されるユースケースの検討

3.1. 5G/Beyond 5G の時代の日本

5G/Beyond 5G の時代（2020 年～2040 年）の日本では、以下のような状況が想定され、様々な課題が顕在化すると予測される。

- ・日本の人口は 2005 年をピークに減少し、2040 年では約 1 億 1100 万人（図 3-1）
- ・超高齢社会（約 40%が高齢者）
- ・社会構造の変化
- ・高齢者の一人暮らしや低所得化
- ・消費市場は高齢者が約半分を占める
- ・全国で町やモノが消滅
- ・買い物難民が地方で増加
- ・生産年齢人口の減少で生産力の維持が困難になる
- ・一方、条件が不利な地域への遠隔医療、自動運転、ネットショッピング（宅配）のニーズが高まる
- ・生産性を向上するための対策が課題となる

また、図 3-2 に示すとおり、居住地の無居住化も以下のように進行すると予測される。

- ・2050 年までに、現在、人が居住している地域の約 2 割が無居住化
- ・現在、国土の約 5 割に人が居住しているが、約 4 割にまで減少

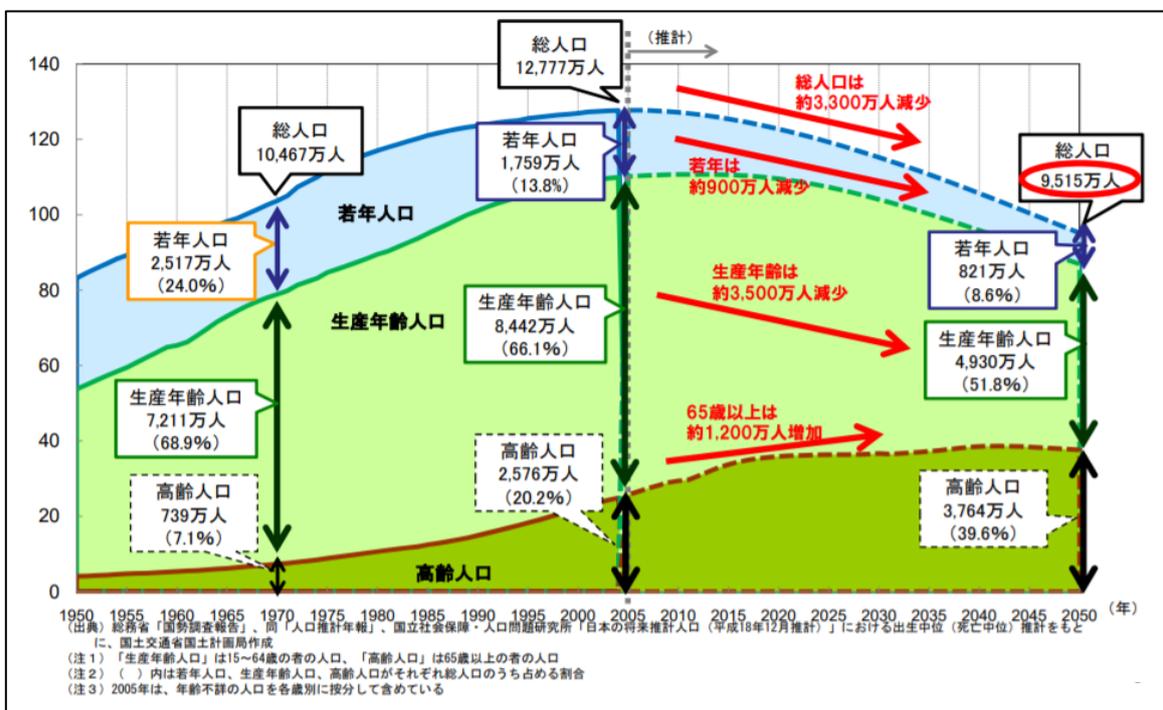


図 3-1：日本の総人口の推移（年齢 3 区分別） [10]

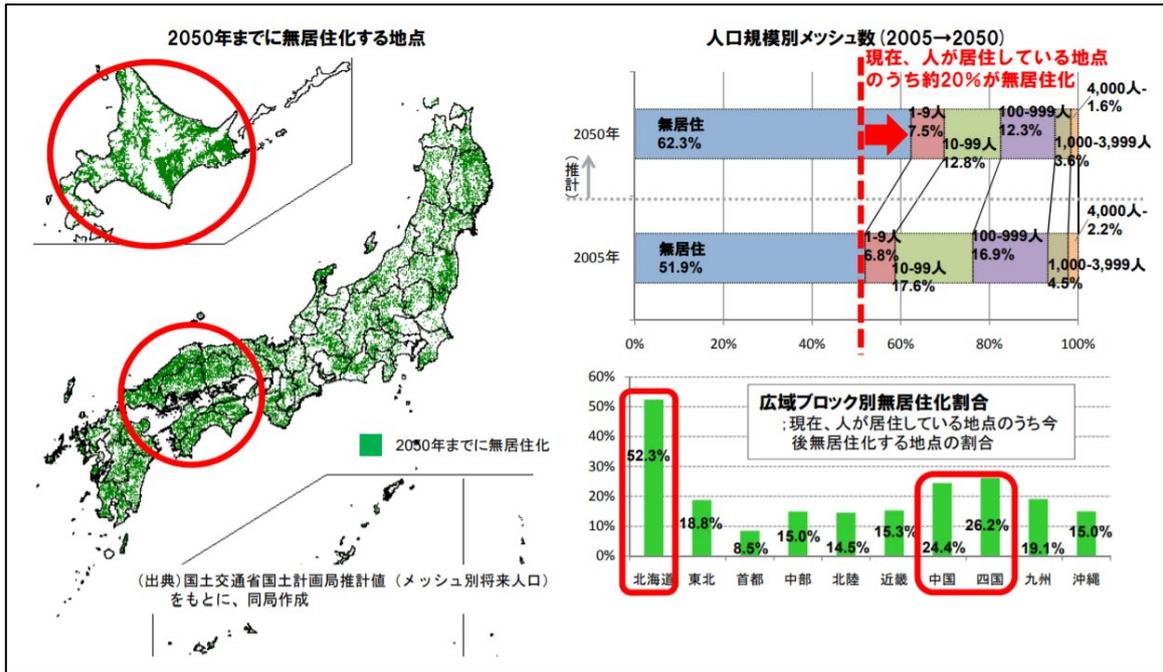


図 3-2：居住地域・無居住地域の推移[10]

3.2. 国内におけるユースケースの検討

国内において衛星 5G 連携のユースケースを検討するにあたっては、前節で述べたような状況を想定した通信のあり方の検討が必要である。そこで、「2040 年頃にかけて顕在化する日本の諸課題に向けた衛星 5G 連携の利用」を一つの中心的なテーマにすることとした。また、ユースケースの分野としては様々な分野が想定されるが、IoT、スマートシティ、海上・航空領域における交通インフラ、非常災害時対応が有効なユースケースであると考えた。

そこで、本検討会では、まず以下の 5 つのテーマを中心に衛星 5G のユースケースを議論した。

- テーマ 1：2040 年頃にかけて顕在化する日本の諸課題に向けた衛星 5G の利用
- テーマ 2：IoT 時代における衛星 5G の利用
- テーマ 3：スマートシティ実現に向けた衛星 5G の利用
- テーマ 4：海上・航空領域・交通インフラでの衛星 5G の利用
- テーマ 5：非常災害時対応における衛星 5G の利用

なお、ユースケースの検討にあたっては、先行する 3GPP において検討されたユースケースを参考とした。3GPP における検討結果は TR22.822 の 5 章に記載があり、様々なユースケースが 12 件のユースケースにカテゴライズされている[11]。3GPP で検討されたユースケースと、本検討会における上記検討テーマの関係を図 3-3 に示す。

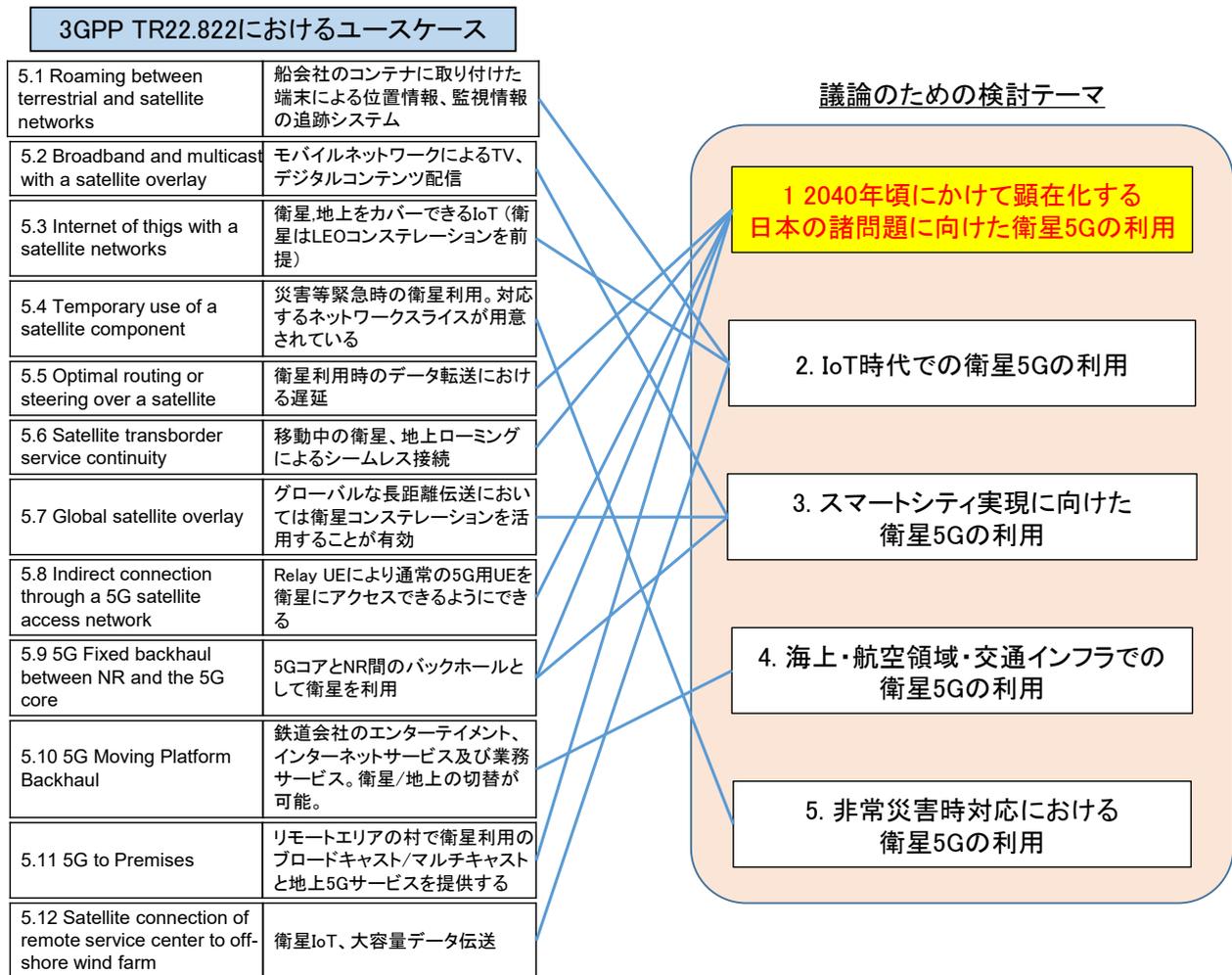


図 3-3 : 3GPP で検討されたユースケースと検討テーマの関係

上位概念であるテーマ1と、テーマ2からテーマ5について各々議論した内容の要約を以下に示す。

テーマ1+テーマ2 : IoT時代での衛星5G利用

●議論内容まとめ

- ・IoTへの利用
- ・人がいないところでの使い方が新しい衛星の使い方になる
- ・信号機を衛星5G基地局として展開
- ・衛星の広域性、同報性を生かすユースケース
- ・面積カバー率拡大の手段としての衛星
- ・センサネットワーク系でデータ収集
- ・回線構築手段の簡便化による衛星通信の普及
- ・モバイル端末を用いた衛星との直接通信
- ・地域系のIoT山崩れ、ダム監視等及び海上通信

テーマ1+テーマ3：スマートシティ実現に向けた衛星5G利用

●議論内容まとめ

- ・過疎地域のスマートシティ化
- ・過疎地域への観光客誘致のための通信インフラ整備
- ・過疎地域への緊急通報、医療サービス提供
- ・災害時のトラフィック集中時、緊急回線とYouTube等の回線にスライシングを適用
- ・point-to-pointでの高機密性
- ・LEOなどを利用した地球観測画像データを活用した都市計画
- ・5Gでカバーできない空間への衛星、HAPS適用
- ・5Gの高セキュリティ性を利用したユースケース（Wi-Fiで対応できない高いセキュリティ）

●ユースケース、サービスの具体例

- ・過疎地域の観光客向け通信回線
 - ① 観光スポットでの同時多数利用
 - ② 過疎地域の宿泊施設
- ・過疎地域の住民向け緊急通報、遠隔医療サービス
 - ① 個人情報のセキュリティ対策
 - ② 高齢者の医療監視
- ・自然環境モニタリング
 - ① 分散配置したセンサによる自然災害予知情報収集
 - ② 観光客への災害等の情報提供
- ・過疎地域における都市計画
 - ① 測位と通信を融合した都市計画
 - ② 衛星、HAPSによる空の5Gエリア化

●懸念事項

- ・自治体の資金不足による5G化の遅れ
- ・衛星端末の使い勝手が悪いこと
- ・衛星、HAPSの空のエリア拡大のための電波環境把握が容易ではないこと

テーマ1+テーマ4：海上・航空領域・交通インフラでの衛星5Gの利用

●議論内容まとめ

- ・規模の小さい都市の分散に対応する通信インフラが必要
- ・海上、航空には衛星が必要だが、今後は5G化によりさらなる利用拡大が期待できる
- ・衛星は地上バックアップとして必要だが、低遅延化が課題
- ・低軌道衛星、HAPSは低遅延であるため、災害に強い基地局として期待できる
- ・地方でのバス路線維持への利用
- ・過疎地における工事を衛星による遠隔操作で実施
- ・5Gのマルチキャストによる放送サービス
- ・国策により衛星を基幹インフラとして運用してほしい（自動運転インフラにも使える）

- ・衛星回線のコストが高い
- ・マルチビーム衛星により 5G の基地局削減
- ユースケースの検討
- ・現状の航空機サービスは繋がりにくい。船舶・航空機サービスの高速度大容量化（ビームフォーミングの適用など）が必要
- ・空飛ぶクルマへの適用
- ・地上でカバーできないエリアでの自動運転支援
- ・海路、空路、陸路におけるシームレスな物流システムへの衛星の適用

テーマ 1+テーマ 5：非常災害時対応における衛星 5G の利用

●議論内容まとめ

- ・5G カバレッジの拡大
- ・シームレス接続維持
- ・テンポラリなインフラバックアップ

●テーマ 1 議論内容

- ・自動運転：人口減少におけるルーラル地域で有効
- ・End-to-end 通信の改善
- ・将来人口減になるが人は居るので 5G のエリアの拡大が重要。遠隔医療も必要
- ・海上の高機能利用
- ・海上 IoT
- ・見通し外での衛星によるドローン操作
- ・ローカル 5G への衛星利用（例えば建設現場など）
- ・自律ロボット
- ・外国人労働者支援：人口減となるエリアで 5G カバレッジ外での衛星利用（例えば翻訳サービスなど）
- ・地上基地局のバックホールとして衛星を利用
- ・基地局のメンテナンスフリー化として衛星を利用：基地局のメンテナンスは大きな負担。衛星バックアップは有効
- ・バックアップとしてドローン、HAPS
- ・通信インフラの充実：フレキシブルカバレッジと複数の周波数利用ができれば有効
- ・広域 IoT
- ・テンポラリ基地局への衛星利用
- ・大規模農業

●テーマ 5 議論内容

- ・D2D、スマホリレーを衛星までつなぐ：衛星のコストが課題である
- ・現行スマホが災害時にもつながる（低速でもよい）
- ・IoT 端末を使った災害対策
- ・シームレス端末（デュアル化）
- ・離島バックアップ

- ・特設公衆電話
- ・地上でカバーできない用途：リソースマネージメント、大容量化、低コスト化
- ・常時利用できる地球観測（災害予測）
- ・災害時に観測衛星を利用

3.3. ユースケースのまとめ

前節で議論されたテーマにはレベルの違い等があったことから、テーマ分類の精査を行い、図 3-4 に示すように各テーマを

- カテゴリ A：スマートシティ
- カテゴリ B：モビリティ
- カテゴリ C：非常災害時対応

の 3 つのカテゴリに再分類した。前節で議論された各テーマにおけるユースケースと本カテゴリの対応を表 3-1 に示す。

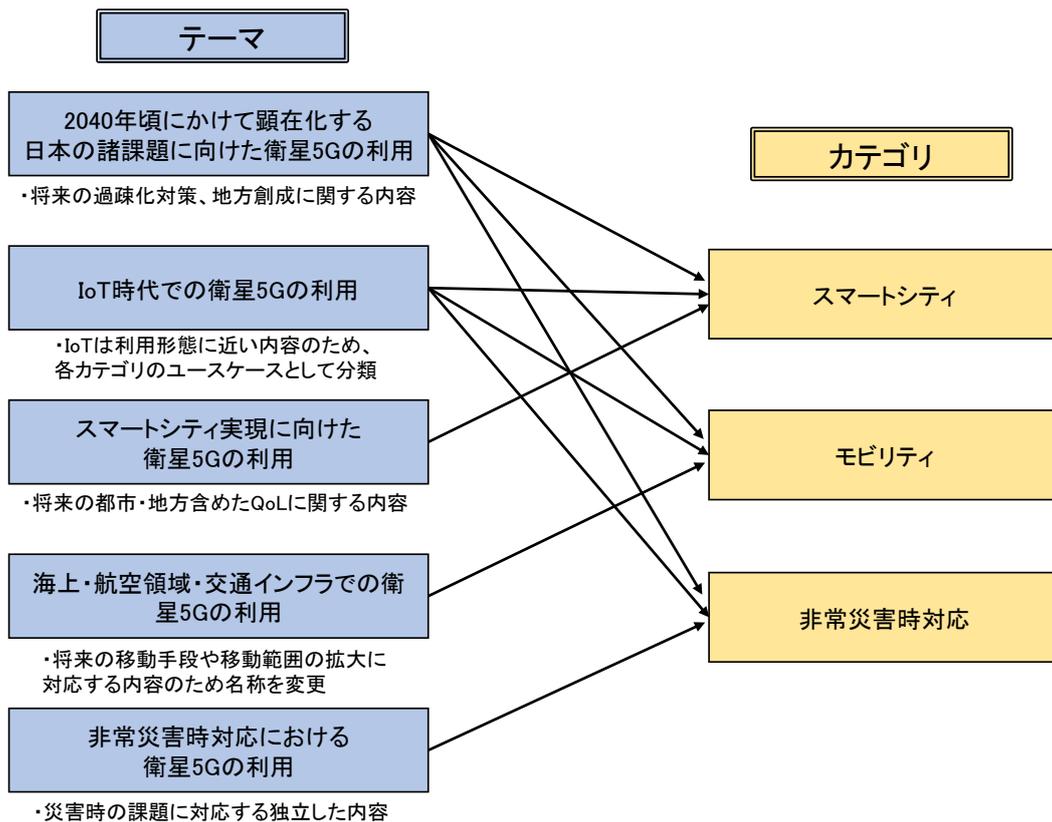


図 3-4：ユースケースのテーマの再分類

表 3-1：ユースケースのまとめ

カテゴリ	ユースケース
A：スマートシティ	<ul style="list-style-type: none"> ・道路の信号機に設置した衛星端末、5G 端末基地局による各種データ通信サービス ・観光スポットで大人数が同時利用できる高速の通信回線 ・ホテル等への 5G サービス提供 ・自然環境モニタリングによる観光客向け情報提供 ・LEO 衛星の画像、測位情報と通信を融合した都市計画 ・衛星のマルチキャストを活用した放送代替 ・自動運転（人口減少におけるルーラル地域で有効） ・将来人口減になるが人は居るので 5G のエリアの拡大が重要、遠隔医療も必要となる ・自律ロボット ・ローカル 5G への衛星利用（例えば建設現場） ・外国人労働者支援（人口減となるエリアで 5G カバレッジ外での翻訳サービス等） ・テンポラリ基地局への衛星利用 ・大規模農業 ・基地局のメンテナンスフリー化として衛星利用 ・離島バックアップ
B：モビリティ	<ul style="list-style-type: none"> ・船舶上の各種機器（機関系、計測系等）のモニタリングデータ収集 ・衛星、HAPS による空（宇宙）への 5G サービス拡大 ・航空機用通信の高速、大容量化、低コスト化 ・空飛ぶクルマ ・物流システムにおける物流管理の海上／陸上シームレス化、IoT 活用 ・自動運転 ・見通し外での衛星によるドローン操作
C：非常災害時対応	<ul style="list-style-type: none"> ・山崩れ、ダム監視等 ・分散的に配置されたセンサによる自然災害予知情報の収集及び提供 ・LEO、HAPS による災害時のバックホール ・D2D スマホリレーを衛星までつなぐ（現行のスマホがそのままつながる） ・IoT による災害状況観測（地上系が使用不可） ・常時利用できる地球観測（災害予測、災害観測）

4. 衛星 5G 連携の取り組みに関する検討

本章では、前章で述べたユースケースに関する議論をもとに、各カテゴリのユースケースについて、衛星と 5G の連携によってユーザにもたらされるメリット、実現に必要な衛星 5G 連携技術、国内におけるトライアルの有効性と評価項目、確認すべき技術等について検討した結果を記述する。

4.1. 衛星 5G 連携の有効性

各カテゴリのユースケースを実現するための衛星 5G 連携のシステム概念図を検討し、衛星 5G 連携を導入した場合の有効性や、実現のための技術課題等を検討した。以下に検討結果を示す。

カテゴリ A：スマートシティ

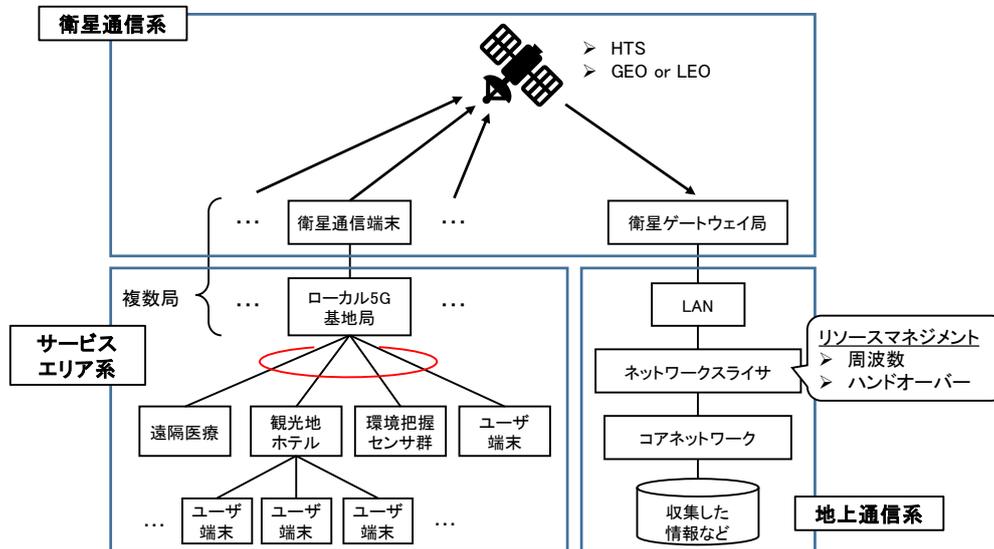


図 4-1：スマートシティにおけるシステム概念図

●システム概念図：図 4-1

●システム概念検討

- ・バックホールの使い方
- ・衛星以外に代替の手段がない場合
- ・衛星の通信単価は下がると仮定 (多数の衛星によるシステムも登場)
- ・ネットワークのソフトウェア化 (汎用品でキャリアでなくてもネットワークが構築)
- ・スライシング技術により、用途に応じて複数衛星 (GEO、LEO) が利用可能

●ユースケースのメリット等の検討 (要約)

- ・ルーラル地域など、地上ネットワークがないところにスポットエリアを作る
- ・需要に対応してアドホックなネットワーク構築
- ・衛星の海域利用 (無人船、離島、無人島) が有効
- ・コンビニの無人化 (映像、センサデータ)

- ・IoTでの利用：センサ、カメラによる鳥獣監視、遭難対策
- ・エンターテインメント、金融用途での低遅延化
- ・衛星画像データの MEC 処理による効率化
- ・遠隔医療、遠隔で重機操作、農業自動化
- ・スライシングの利用による公共／民間のネットワークの混雑解消、航空機の旅客用回線と機体管理回線の効率的伝送

●技術課題

- ・5G コアは、遅延を考慮したプロトコルにする必要がある
- ・低遅延を要するユースケースに対しては LEO に接続する必要がある、異なるスライシングにおける遅延パラメータの調整も必要
- ・衛星系－地上系のハンドオーバー制御が必要
- ・衛星端末－5G 基地局間のインタフェースを考える必要あり
- ・アプリケーションレベルでの優先制御が必要
- ・Q/V 帯などの高周波利用

●衛星 5G 技術を導入する有効性

離島、山、国定公園など、地上系が十分に整備されていない地域への 5G サービスの提供

●懸念事項

- ・端末やモデムは汎用のもので良いのか、新規の研究開発要素はないのか
- ・ネットワークスライサからローカル 5G 基地局へのパラメータ設定は可能なのか

カテゴリ B：モビリティ

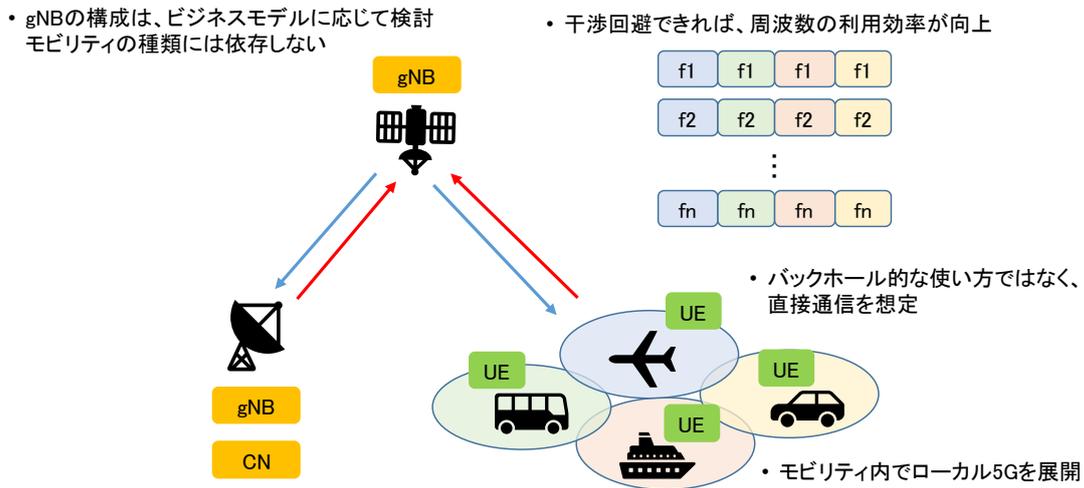


図 4-2：モビリティにおけるシステム概念図

●システム概念図：図 4-2

●ユースケースのメリット等の検討

- ・無線リピータにより機内ユーザ向け通信と衛星通信を変換可能

- ・通信の一元管理（ネットワークオペレータのメリット）
- ・大容量映像データ、省電力 IoT（荷物管理）をスライシングで対応
- ・衛星の大容量化とビームフォーミングで航空機にビームを割り当て
- ・低軌道衛星は空間分離の点で静止衛星より有利
- ・ハンドオーバー技術でビーム／衛星切り替えが可能
- ・衛星の遅延が許容される用途もある

●衛星 5G 技術の導入による有効性

(a) QoS

- ・スライシングでサービスの優先度を設定
- ・高付加価値、安全通信／一般サービスの共用ができるのではないか

(b) 干渉回避

- ・5G 技術を使ったビーム間／地上セルとの干渉回避ができるのではないか
- ・サイドローブの抑圧が難しい小型アンテナの干渉回避への対応、28 GHz 帯の効率利用が可能となるのではないか
- ・5G における多数の基地局の中で、端末と通信するための干渉回避技術を衛星 5G 連携に応用できないか

(c) LEO/MEO システムの効率利用

- ・LEO 衛星群全体のネットワークのリソース管理に使えるのではないか
- ・ネットワーク制御法の検討が必要

●技術課題・懸念事項

- ・モビリティに搭載されるアンテナは小さく、軸外輻射が大きくなるため、隣接衛星や隣接ビームが見えてしまう
- ・周波数管理の 3 次元化、シームレスな移動の実現
- ・地上／衛星のトータルでの管理
- ・地球局アンテナの狭ビーム化、省電力化
- ・Q/V 帯などの高周波利用
- ・マルチビームの高度化
- ・Massive MIMO の適用

カテゴリ C：非常災害時対応

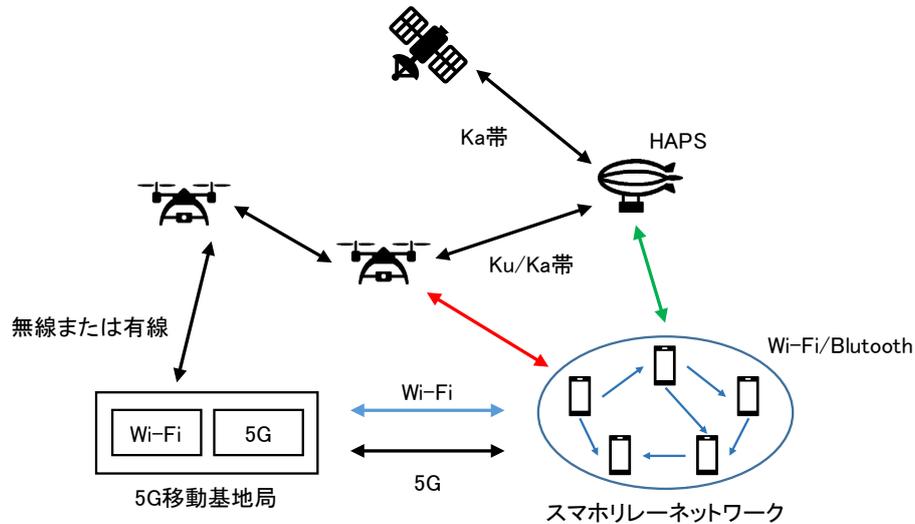


図 4-3：非常災害時におけるシステム概念図

●システム概念図：図 4-3

●システムの目標

- ・災害時、災害エリアの状況に応じて通信手段をフレキシブルに選定できる
- ・普段使っているスマホで必要最低限の通信を確保する

●ユースケースのメリット等の検討

- ・エンドユーザ災害救助においては被災者や救援団体、監視は自治体等
- ・サービス提供者通信事業者

(a) 災害救助におけるメリット

- ・被災者発見のための管理（検知確認、救出手段、伝達など）
- ・スマホ利用で安否確認
- ・ドローンによる情報収集（空撮、データラバ（持ち運び））
- ・高精細映像（例えば 4K）を D2D で伝送
- ・被災地の状況確認のため上空からの映像情報を対策本部に迅速に伝送

(b) 災害救助におけるネットワークの実現方法

- ・早い立上げのできるネットワーク。例えばローカル 5G（ヘリコプター、HAPS などを利用した通信手段）
- ・アドホックネットワークの活用（衛星 5G を活用）

(c) 監視におけるメリット

- ・映像、音声、データの伝送
- ・IoT（センシングデバイスを利用したもの）

(d) 監視におけるネットワークの実現方法

- ・アプリ毎のスライシング（衛星、地上系）

●課題（全体）

- ・各径路における周波数選択の条件と課題の検討（図 4-4・表 4-1）
- ・5G との干渉対策
- ・5G コアにおけるネットワークマネジメント；異種ネットワーク、マルチリンクのシームレス接続
- ・スマホリレー、ドローン、HAPS、衛星のカバレッジを考慮したサービスエリアの最適配分
- ・gNB、エッジノードの最適な配置と機能分担

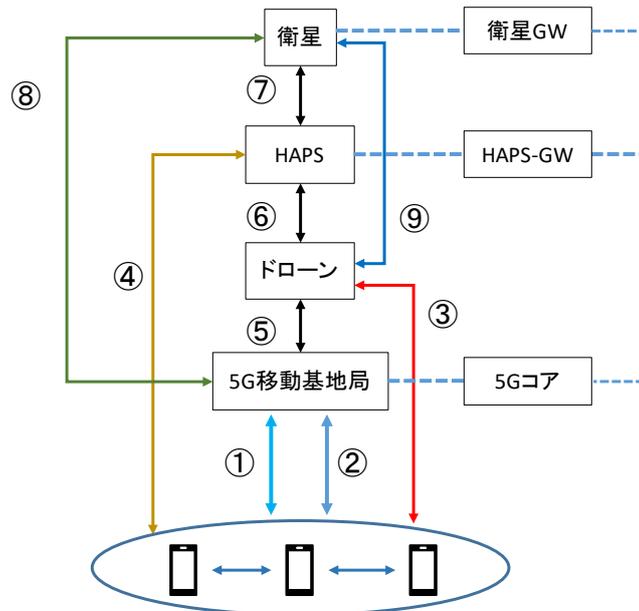


図 4-4：通信経路

表 4-1：各経路に関する課題

パス	対向局		周波数案	課題
①	スマホ	移動基地局	Wi-Fi	・スマホリレーリンクについては構造計画やドコモの実証実験あり
②	スマホ	移動基地局	5G	・周波数選定 ・移動基地局は現場で容易に設置できるよう可搬性、小型・軽量化が必要
③	スマホ	ドローン	5G	・スマホの無指向性アンテナで対応可能な周波数の選定。 ・ドローンの搭載能力（重量、電力）
④	スマホ	HAPS	5G	・C バンド以下でスマホの無指向性アンテナに対応可能か ・HAPS 側で 28GHz Massive MIMO が可能か
⑤	移動基地局	ドローン	5G	・周波数の選定 ・有線接続によるカバレッジ、回線容量確保
⑥	ドローン	HAPS	Ku/Ka	・周波数の選定 ・HAPS に gNB を含めるか
⑦	HAPS	衛星	Ka	・HAPS への衛星追尾機能
⑧	移動基地局	衛星	Ka	
⑨	ドローン	衛星	Ka	・周波数選定（回線設計により重量、電力を考慮したトレードオフ）

本検討会では各々のカテゴリについてターゲットとなるエンドユーザ、サービス提供者を想定し、衛星 5G 連携による有効性、実現に向けての必要な技術及び課題について議論を行った。検討結果を表 4-2、表 4-3、表 4-4 に示す。

表 4-2：エンドユーザ、サービス提供者、有効性及び実現方法（カテゴリ A：スマートシティ）

エンドユーザ (サービス)	サービス提供者	有効性 (メリット)	実現方法 (技術・課題)
<ul style="list-style-type: none"> ・ イベント、テナポラリ使用 (臨時でネットワーク構築を可能にする) ・ マラソン、フェス等 ・ ダム工事 ・ 検針、メーターリーディング ・ 見守り系 (ルーラル) ・ 土砂崩れ監視 ・ 林業・農業 ・ 遠隔ロボ制御 ・ 自動運転 ・ スマートグリッド 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 官公庁 ・ セキュリティ会社 ・ 自治体 ・ キャリア ・ JA (農業協同組合)・漁業組合 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 同時に (既存に比べて) 多数の端末を制御し、多数の端末からデータ収集 ・ MEC 使って遅延許容データを選択 ・ 地上⇄衛星のシームレスハンドオーバー ・ 魚群探知の高精度化 ・ 養殖 	<ul style="list-style-type: none"> ・ アプリケーションごとの圧縮により回線効率的利用 ・ 端末側で MEC/AI で不要データを廃棄 ・ シームレスに地上⇄衛星を切り換える技術 ・ 通信方式：DVB 等既存方式の 5G 版が必要 ・ 衛星 5G の定義 (遅延・通信速度・誤り率) ・ 制度化をどうするか ・ ユーザの回線品質を平準化、サービス品質 ・ 地上局制御プロトコル ・ 5G では切換遅延を小さくできるか?
<ul style="list-style-type: none"> ・ 遠隔医療 (リモート手術・映像伝送) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 病院 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大容量・低遅延 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 衛星を介した場合にも地上 5G の低遅延を維持できるか? ・ 制度化・法改正必要

表 4-3：エンドユーザ、サービス提供者、有効性及び実現方法（カテゴリ B：モビリティ）

エンドユーザ (サービス)	サービス提供者	有効性 (メリット)	実現方法 (技術・課題)
<ul style="list-style-type: none"> 航空会社 船会社 旅客 航空機メーカー 船メーカー 物流業 	<ul style="list-style-type: none"> サービスプロバイダ 船会社 航空会社 メーカー 	<ul style="list-style-type: none"> 運航管理 インターネット接続 機体モニタリング 環境モニタリング (温度、湿度等の気象情報) コンテナ位置情報 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星の容量 ✓ MIMO ✓ ビームフォーミング (空間分離) ハンドオーバ技術 物や個体を1つのユーザとして考える スライシング ✓ mMTC (多数接続) ✓ eMBB (大容量) 地球局 ✓ 終端タイプ ✓ 無線リピータタイプ (船・航空機)
<ul style="list-style-type: none"> UAV 		<ul style="list-style-type: none"> 見通し外通信 	<ul style="list-style-type: none"> HAPS を利用 低遅延実現
<ul style="list-style-type: none"> 宇宙機関 		<ul style="list-style-type: none"> 宇宙域ネットワーク 	<ul style="list-style-type: none"> 中継衛星

表 4-4：エンドユーザ、サービス提供者、有効性及び実現方法（カテゴリ C：非常災害時対応）

エンドユーザ (サービス)	サービス提供者	有効性 (メリット)	実現方法 (技術・課題)
<ul style="list-style-type: none"> 被災者 救援団体 (災害救助) 	<ul style="list-style-type: none"> 通信事業者 	<ul style="list-style-type: none"> 被災者発見のためのマネジメント スマホ利用で安否確認 ドローンによる情報収集 (空撮、データラバ) 映像 (4K) を D2D で伝送 被災地の状況確認のため、上空からの映像情報を災害対策本部に伝送 	<ul style="list-style-type: none"> 早い立上げのできるネットワーク。例えばローカル 5G (へり、HAPS) アドホックネットワーク活用 (衛星・5G を活用)
<ul style="list-style-type: none"> 自治体等 (監視) 	<ul style="list-style-type: none"> 通信事業者 	<ul style="list-style-type: none"> 映像、通話、データ、IoT、センシングデバイス 	<ul style="list-style-type: none"> アプリ毎のスライシング (衛星・地上系)

検討結果の概要は以下のとおりである。

・スマートシティ

ユースケースはルーラル地域など、地上ネットワークがないところにスポットを作ることを前提として検討した。エンドユーザ（サービス）としてはイベントでの利用、検診メータ、見守り、農林漁業、スマートグリッド、遠隔医療等が挙げられた。サービス提供者は官公庁や自治体、キャリア等。有効性については端末の同時制御及びデータ収集により 4G よりも同時収容数が改善することが期待される。高速通信よりも IoT 的な多数データ収集に効果があるのではないかと考えられる。端末側の MEC で必要なデータを選別することで伝送効率を上げることも期待される。3GPP のプロトコルで地上-衛星をシームレス接続できるなら、切換時間の短縮も期待できる。

・モビリティ

エンドユーザとして船・航空会社や旅客、物流業が挙げられた。サービス提供者としてはサービスプロバイダや船・航空会社、メーカーが考えられる。有効性としては運航管理、インターネット接続、機体モニタリングや環境モニタリング（温度、湿度等の気象情報）、コンテナ位置情報の管理が挙げられる。環境モニタリング（温度、湿度等の気象情報）は他の用途にも展開できる（例えば船舶からの気象情報を収集すれば航路選定にも活用可能）。これらはモノ・個体一つ一つがユーザ（端末）と考えられ、グローバルに移動するため、サービスの持続性（Service Continuity）が必須となり、スライシング（同時多数、高速大容量）が必要となる。また、船舶・航空機の地球局として、無線リピータタイプと終端タイプが考えられる。

・非常災害時対応

ユースケースを大きく災害救助、監視の 2 つに分け検討を行った。エンドユーザは、災害救助は被災者や救援団体、監視は自治体等が挙げられた。サービス提供者は通信事業者である。有効性は、被災者発見のマネジメントや、スマホでの安否確認（D2D-ドローン-HAPS-衛星のネットワークによる）、D2D で 4K 映像の大容量伝送、被災地の状況確認のため上空からの映像情報を災害対策本部に伝送する利用が挙げられた。実現方法として、早い立上げのできるネットワークが必要であり、例えばローカル 5G をへり、HAPS に接続する等が考えられる。また、衛星 5G を活用したアドホックネットワークの活用が考えられた。監視におけるコンテンツは映像、通話、データ、IoT センシングデバイスからのデータ等であり、実現方法としてアプリ毎のスライシングを設定することが考えられる。その際には、衛星系と地上系の両方のネットワークを考慮して通信速度、遅延等を制御する必要がある。

これ以外に、UAV による見通し外通信で低遅延な HAPS を中継に利用することやバックホールで衛星を利用すること、宇宙機関による宇宙域のネットワークが挙げられた。

4.2. 国内におけるトライアルの検討

前節までに検討したユースケースの有効性を検証するためには、トライアルによる実証・評価が必要である。したがって、検討した各ユースケースにおけるトライアルの有効性、評価項目、確認すべき技術などを議論した。ただし、2.3.2 に記載したとおり、欧州では既にテストベッドを用いたトライアルやデモ

ンストレーションが実施されているため、本検討会では海外と国内のニーズの差異も考慮して検討を行った。

まずは、検討会の構成員に対し、これまで検討してきた 3 つのカテゴリに関するトライアル案についてアンケート調査を実施し、トライアルを期待するユースケース、確認すべき評価項目、衛星 5G に関連する技術の調査を実施した。表 4-5、表 4-6、表 4-7 にアンケート調査の結果（有効回答数：8 機関）を示す。カテゴリ A（スマートシティ）では無人システム、監視（映像、データ）及とローカル 5G/バックホール（衛星をローカル 5G のバックホールとして利用）への期待が大きい。カテゴリ B（モビリティ）では移動体 eMBB、IoT、無人機システム、物流システム、バックホール（衛星、HAPS）、カテゴリ C（非常災害時対応）ではバックホール（衛星、HAPS）、スマホ連携、監視（映像、データ）への期待が大きいという結果であった。

表 4-5：トライアルに期待するユースケース（カテゴリ A：スマートシティ）

項番	回答件数	内容	キーワード	キーワード特徴
A-1	1	道路の信号機に設置した衛星端末、5G 端末基地局による各種データ通信サービス		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">ローカル 5G バックホール</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">監視 (映像、データ)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">無人システム</div>
A-2	1	観光スポットで大人数が同時利用できる高速の通信回線		
A-3	1	ホテル等への 5G サービス提供	ローカル 5G、バックホール	
A-4	2	自然環境モニタリングによる観光者向け情報提供	監視（映像、データ）	
A-5	1	LEO 衛星の画像、測位情報と通信を融合した都市計画	LEO	
A-6	1	衛星のマルチキャストを活用した放送代替	マルチキャスト、ブロードキャスト	
A-7	0	自動運転（人口減少におけるルーラル地域で有効）		
A-8	1	遠隔医療（リモート手術、映像伝送。人口減少においても 5G エリア拡大が必要）	遠隔医療、バックホール	
A-9	1	自律ロボット、遠隔ロボット制御	監視、無人システム	
A-10	4	ローカル 5G への衛星利用（例えば建設現場）	ローカル 5G、バックホール	
A-11	0	外国人労働者支援（人口減となるエリアで 5G カバレッジ外での翻訳サービス等）		
A-12	1	テンポラリ基地局への衛星利用（マラソン、フェス等のイベント、ダム工事）	バックホール	
A-13	3	大規模農業、林業	監視、無人システム	
A-14	0	基地局のメンテナンスフリー化として衛星利用		
A-15	3	離島バックアップ	バックホール	
A-16	1	見守り系（コンビニの無人化に向けた監視等）	監視（映像、データ）	
A-17	1	馬産業		

表 4-6：トライアルに期待するユースケース（カテゴリ B：モビリティ）

項番	回答件数	内容	キーワード	キーワード特徴
B-1	4	船舶上の各種機器（機関係、計測系等）のモニタリングデータ収集	移動体 eMBB、IoT	移動体 eMBB、IoT
B-2	4	船舶の運航管理情報の伝送		
B-3	4	船舶用通信の高速、大容量化、低コスト化（インターネット接続等）		
B-4	3	航空機上の各種機器（機関係、計測系等）のモニタリングデータ収集		
B-5	3	航空機の運航管理情報の伝送		
B-6	3	航空機用通信の高速、大容量化、低コスト化（インターネット接続等）		
B-7	2	衛星、HAPS による空（宇宙）への 5G サービス拡大	バックホール（衛星、HAPS）	物流システム
B-8	1	空飛ぶクルマ	移動体 eMBB、IoT	無人システム
B-9	3	物流システムにおける物流管理における海上/陸上のシームレス化、IoT 活用（コンテナ等）	物流システム、IoT	
B-10	1	自動運転	無人システム	
B-11	2	見通し外での衛星によるドローン操作		
B-12	2	天候・気象観測における現地モニタリング（映像・データ）	監視（映像、データ）	

表 4-7：トライアルに期待するユースケース（カテゴリ C：非常災害時対応）

項番	回答件数	内容	キーワード	キーワード特徴
C-1	4	山崩れ、ダム監視等	監視（映像、データ）	監視 （映像、データ）
C-2	3	分散的に配置されたセンサによる自然災害予知情報の収集及び提供		
C-3	4	LEO、HAPS による災害時のバックホール	バックホール（衛星、HAPS）	バックホール （衛星、HAPS）
C-4	4	D2D スマホリレーを衛星までつなぐ（現行のスマホがそのままつながる）	スマホ連携	
C-5	3	IoT による災害状況観測（地上系が使用不可）	監視（映像、データ）	スマホ連携
C-6	2	常時利用できる地球観測（災害予測、災害観測）		
C-7	4	上空からの災害状況観測（ドローンによる）		
C-8	2	スマホによる災害時の安否確認	スマホ連携	
C-9	2	被災者発見への衛星の活用	監視（映像、データ）	

また、アンケート調査以外の、トライアルで期待するユースケースへの各機関からの意見の概要は以下のとおりである。

- ・ 信号機による中継、車内や電車内へのサービス提供
- ・ ローカル 5G、ネットワークスライシング
- ・ 災害時スマホリレーネットワーク
- ・ 航空機内ネットワーク接続、スマホリレーネットワーク
- ・ 5G バックホール、地上とのシームレスな接続切換
- ・ ローカル 5G バックホール
- ・ 非常災害時対応におけるスマホバックホール
- ・ ローカル 5G バックホール、物流システムにおける IoT、LEO と HAPS
- ・ バックホール
- ・ バックホール、多量端末接続 IoT
- ・ 監視無人システム、林業・大規模農業
- ・ 航空機の機体制御通信とデータ伝送通信のスライシング
- ・ 田舎などローカルエリアにおける ICT（遠隔医療、オンライン決済など）、自動運転
- ・ バックホール、モビリティへの通信提供
- ・ ローカル 5G、モビリティ通信、IoT モニタリング、LEO を用いた遠隔操作、酪農など大規模農業
- ・ 船舶の運航管理情報の収集、モビリティ内への通信サービス提供、土砂センサ IoT 利用
- ・ 民間ニーズが高いユースケース、災害監視
- ・ ローカル 5G

アンケートではトライアルを通じて確認したい評価項目とそれに必要な技術についても調査を行った。この結果を表 4-8 に示す。表に示すとおり、いずれのカテゴリに関しても衛星 5G 連携の特徴的な項目が挙げられている。

- ・ 地上／衛星の切換えによりシームレス接続がどの程度確保できるのかという点に関心が高い
- ・ ネットワークスライシングの効果にも関心が高く、特に複数スライスの有効性、スライスの同時利用時の成立性が評価対象として挙げられている
- ・ QoS がネットワークオーケストレーションによりどの程度向上するのかにも関心が高い

表 4-8：トライアルに期待する評価項目と技術

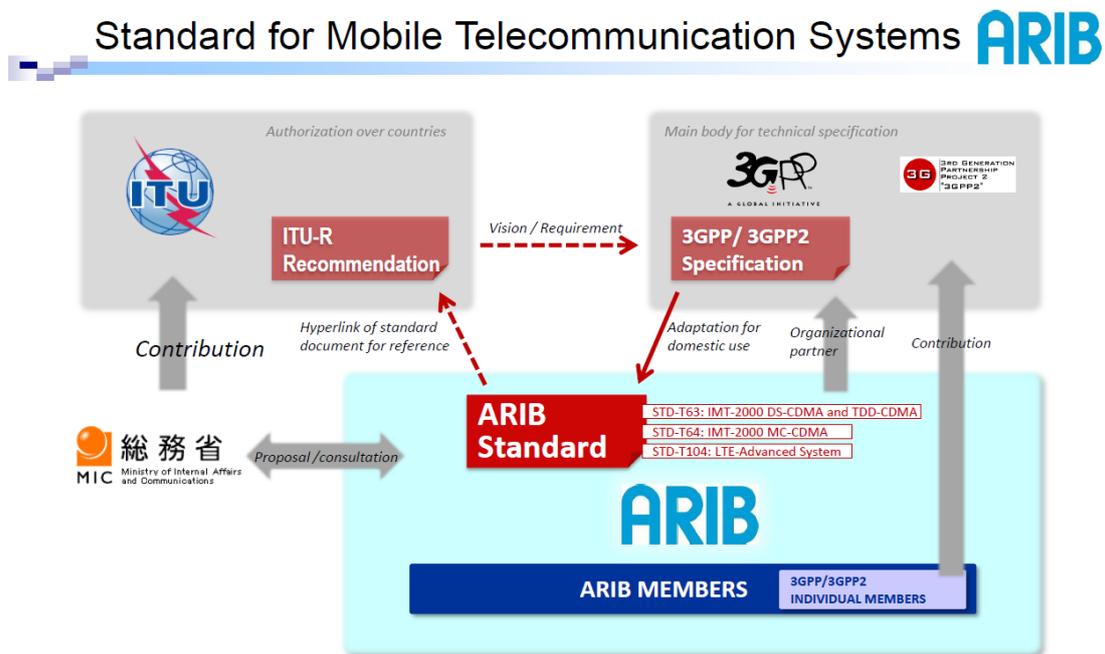
ユースケース	評価項目回答	評価項目 (回答まとめ)	必要な衛星 5G 連携の キー技術回答まとめ
スマートシティ	<ul style="list-style-type: none"> ・伝送特性（情報速度、BER 特性） ・同時接続性 ・遅延 ・複数スライス同時利用 ・地上／衛星切換 ・QoS（上位レイヤ品質） ・回線成立性 ・映像伝送品質 ・衛星による国土カバー率 	<ul style="list-style-type: none"> ・伝送特性（情報速度、BER 特性） ・同時接続性 ・遅延 	<ul style="list-style-type: none"> ・ネットワークスライシング/NFV による最適制御 ・複数スライスの同時運用 ・アクセス制御 ・衛星／地上統合運用（オーケストレーション）
モビリティ	<ul style="list-style-type: none"> ・伝送特性（情報速度、BER 特性） ・同時接続性 ・遅延 ・複数スライス同時利用 ・QoS（上位レイヤ品質） 	<ul style="list-style-type: none"> ・複数スライス同時利用 ・地上／衛星切換 ・QoS（上位レイヤ品質） ・回線成立性 ・映像伝送品質 	<ul style="list-style-type: none"> ・干渉回避 ・ローカル 5G ・5G IoT ・LEO との接続
非常災害時対応	<ul style="list-style-type: none"> ・伝送特性（情報速度、BER 特性） ・同時接続性 ・遅延 ・複数スライス同時利用 ・QoS（上位レイヤ品質） ・呼損率 ・映像伝送品質（ドローン含む） 	<ul style="list-style-type: none"> ・映像伝送品質（ドローン含む） ・衛星による国土カバー率 	<ul style="list-style-type: none"> ・映像伝送 ・遠隔制御 ・リアルタイム制御（低遅延） ・Q/V バンド（高周波）利用 ・大容量伝送方式 ・マルチビームの高度化

5. 衛星 5G 連携の標準化に関する検討

5.1. 移動通信システムの標準化の概要

ICT 分野における標準化組織には、デジュール標準（公的／法的な標準）、地域（国内）標準、フォーラム／団体標準があり、移動通信システムの標準化においてはそれぞれ ITU、ARIB、3GPP が対応する。移動通信システムにおける標準化の流れを図 5-1 に示す（2018 年時点の状況。地上系の IMT（ITU-R SG5 WP-5D の議題）のケースであり衛星系は別途整理が必要）。移動通信システムの標準化においては、ITU において策定したビジョンや要求条件をもとに、3GPP を中心に検討した技術仕様を、各国や各地域の標準化組織（SDO：Standards Development Organization）がそれぞれの国や地域の標準規格として制定する。これを各 SDO が ITU-R・ITU-T 勧告で参照するよう提案し、ITU で承認されることにより、国際標準規格が策定される。

3GPP は、1998 年 12 月に発足した第 3 世代移動通信システムのための標準化作業を行うためのパートナーシッププロジェクトである。SDO 間の「プロジェクト」であり、法人格は持たない。3GPP に参加している SDO は現在、7 組織である。日本の ARIB 及び TTC、米国の T1（現在は ATIS）、欧州の ETSI、韓国の TTA の 5 つの地域や国を代表する標準化機関が参加して発足し、1999 年 6 月に中国の CCSA が、2015 年 4 月にインドの TSDSI が加わった。



Copyright © 2018 ARIB all rights reserved

図 5-1：移動通信システムにおける標準化の流れ（ARIB より提供）

5.2. 地上系 5G の ITU 勧告策定手順と衛星系 5G の動向

地上系 5G では、ITU-R SG5 WP5D (IMT システム責任グループ) が、IMT ビジョン勧告 (ITU-R 勧告 M.2083) を策定し (2015 年 9 月)、その後、IMT-2020 無線インタフェース技術の最小要求条件に関する報告 (ITU-R 報告 M.2410) を策定した (2017 年 11 月)。3GPP を含む提案者は、ITU-R から提示された IMT-2020 の最小要求条件をもとに、IMT-2020 に関する技術仕様を検討し、WP5D へ提案した。WP5D は、提案者から提出された技術提案書と自己評価結果、及び外部評価団体による評価結果に基づき、IMT-2020 の要求条件を満たしているか評価を行い、了承すれば ITU-R 勧告案を作成する。WP5D で勧告案の承認後、SG5 で採択し、郵便投票後に正式に ITU-R 勧告を承認する。(2020 年完成予定)

5.3. 3GPP における衛星 5G 連携標準化の状況

3GPP における衛星 5G 連携に関する標準化の検討は、非地上系 (Non-Terrestrial Network : NTN) として 2017 年 3 月に開始され、図 5-2 に示す 3GPP の検討体制の内、TSG RAN 及び TSG SA で検討されている。検討の結果、これまでに表 5-1 に示す文書が出力された。図 5-3 に 3GPP における NTN 関連のリリースの計画を示す[14]。衛星 5G 連携の仕様化は、2021 年リリース予定の Release 17 で完了する計画である。

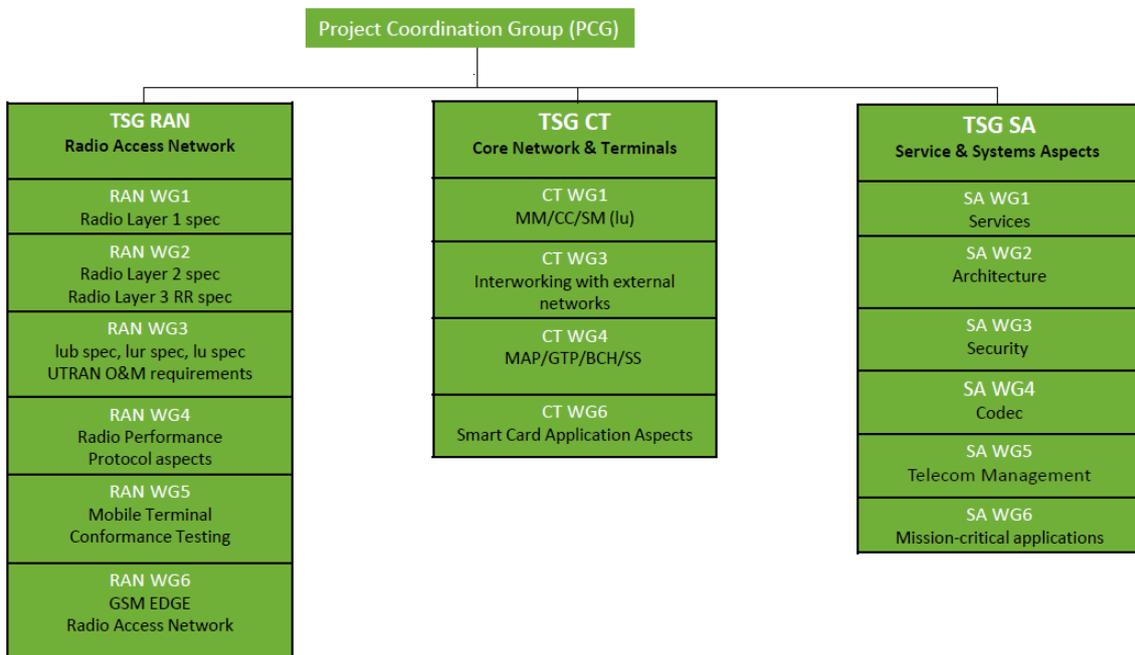


図 5-2 : 3GPP における検討体制[12]

表 5-1 : 3GPP における衛星 5G 連携に関する文書

項目	規格	内容
3GPP Activities in TSG RAN	TR 38.913	Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies
	TR 38.811	Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks
	TR 38.821	Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)
3GPP Activities in TSG SA	TS 22.261	Service requirements for the 5G system
	TR 22.822	Study on using Satellite Access in 5G
	TR 23.737	Study on architecture aspects for using satellite access in 5G
	TR 28.808	Study on management and orchestration aspects with integrated satellite components in a 5G network

TSG RAN : Technical Specification Group Radio Access Network

TSG SA : Technical Specification Group Service and System Aspects

TR : Technical Report、 TS : Technical Specification

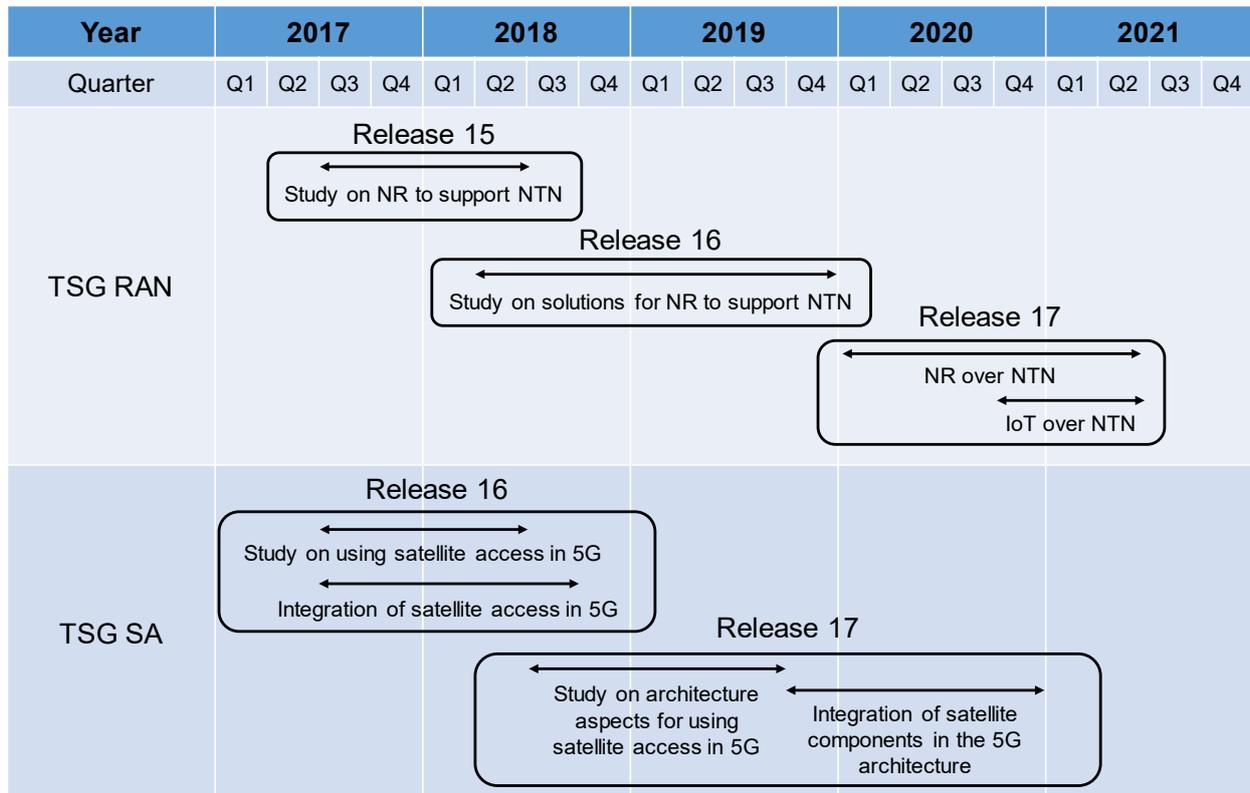


図 5-3 : 3GPP における衛星 5G 連携関連リリース計画 ([13]を基に作成)

3GPP における 5G NR の仕様に関する議論において、非地上系 (NTN) で考慮すべきとされている技術的な項目を表 5-2 に示す[14]。

表 5-2 : NTN で考慮の必要な 5G NR 仕様変更インパクト (技術検討エリア) [10]

NTNの特性	影響	影響を受ける仕様	技術の方向性
高度:高	伝送遅延:大	HARQ	フィードバックのあり方
		物理層での適応制御 (MCS, 電力等)	適応制御方法の変更
		上位層での待受時間	タイマー値の見直し
基地局の移動 (LEOの場合)	セルパターンの変動	ハンドオーバー、ページング	シーケンス見直し
	伝送遅延の変動	タイミングアドバンス	シーケンス、頻度見直し
	ドップラー変動	初期同期	パラメータ(サブキャリア間隔)の適切な選択
		DMRSの時間軸密度	パラメータ(密度)の適切な選択
セル:広域	セル内の伝送遅延差:大	ランダムアクセス タイミングアドバンス	ドップラー補償 遅延補償
伝搬損失:大	トランスポンダでの非線形歪	PAPR	PAPR抑圧技術

© 2016 Panasonic Corporation. Proprietary and Confidential

3GPP文書 TR 38.811より抜粋 (key impact area)

5.4. 標準化に関する検討

前節までに述べた標準化動向に基づき、本検討会では、今後国内において衛星通信と 5G を連携させた利用の拡大にあたって標準化を進める必要があると考えられる項目について検討を行った。カテゴリ毎に標準化を進める必要があると考えられる項目を表 5-3 に示す。大別して 3GPP での衛星 5G 連携の標準化に関連する項目とアプリケーションの分野で標準化すべき項目に分類された。

表 5-3：衛星 5G 連携に関する標準化項目案

カテゴリ	標準化項目案	分類
スマートシティ	・衛星 5G の定量的な定義（速度何 Mbps、遅延何 ms、接続数何台など）	衛星 5G 標準化
	・各アプリケーションの通信品質の規定や衛星品質の規定	衛星 5G 標準化
	・レイヤ毎の通信方式（DVB-S2X の衛星 5G 版）	衛星 5G 標準化
	・ユーザの状態を把握するためのプロトコル（ユーザ端末）、それを制御するためのプロトコル（基地局）	衛星 5G 標準化
	・シームレスな衛星⇄地上の切り替えやスライシング方式	衛星 5G 標準化
	・衛星 5G 用チップの共通化により、設備コスト・開発コスト削減	衛星 5G 標準化
	・遠隔医療のための法整備	アプリ標準化
モビリティ	・どのようなネットワークスライシングを構築するか（何を基準に分けるか。例：mMTC、eMBB 等でネットワーク提供者の利用形態で分ける。各ユースケースの有効性、メリットで分ける）	衛星 5G 標準化
	・上空に基地局が置かれる、移動体（飛行機など）にリピータを設置することによる干渉等の問題をどう整理するか（標準化というより法整備の観点）	アプリ標準化
非常災害時対応	・データ伝送におけるスケジューリング	衛星 5G 標準化
	・ローミング手順に関する標準化	衛星 5G 標準化
	・災害時に必要なデータの統一化及び API（Application Programming Interface）化	アプリ標準化
	・IoT センサ系の電力（EIRP、フレーム構成、間欠送受信など）	アプリ標準化
	・災害情報のきめ細かい情報（被災者の位置情報等の具体的項目、内容に対する詳細な要求規定）	アプリ標準化

また、各カテゴリの検討結果の概要を以下に示す。

- ・ スマートシティ

3GPP で検討が進んでいるが、国内でも衛星 5G の定義（遅延、速度、誤り率等）が必要ではないか。そのうえで通信方式の標準仕様（フレーム構成等）、シームレス接続のパラメータ規定、ユーザ単位で End-End の通信品質を確保するためにサービス品質の規定を行う。ユーザ端末の状態を把握し、その情報に基づいてネットワーク管理を行う必要もある。また、遠隔医療については、地上 5G の低遅延を衛星で維持できるかが課題であり、制度化や法改正が必要ではないかと考えられる。

- ・ モビリティ

運航管理やインターネット接続といった種類の異なるユースケース毎に標準化が必要である。また、周波数共用や電波干渉の観点で、移動体にリピータを設置する場合に法整備が必要である。

- ・ 非常災害時対応

災害対応において必要な標準化としては、災害時に必要なデータの統一化、データ伝送におけるスケジューリング、ローミングの標準化、IoT センサ系電力の規定、災害情報のきめ細かい情報の規定が挙げられた。また、mMTC で大量データを収集する点において衛星 5G 連携は有効である。

上述した衛星 5G 連携に関する標準化の項目は、現在 3GPP で Release17 において非地上系ネットワークシステムとして進められている内容に含まれているものもある。今後、3GPP の動向を注視するとともに国内利用で有効な内容を検討していく必要がある。また、上記の通信方式の標準化とは別に、5G 技術で衛星の周波数を利用するために必要な標準化についても議論が必要である。例えば Ku 帯や Ka 帯を用いた航空機通信で 5G 規格を使う場合には ITU-R SG5 に背景となる技術を入力して周波数を要求することになり、5G を別のアプリケーションで使う際には ITU-R SG4 に入力することになる。

6. Beyond 5G で期待される通信ネットワークの概念

衛星通信を含む今後の通信ネットワークについて、本検討会で議論された衛星 5G 連携の有効性、必要な技術等を踏まえて検討した結果、Beyond 5G における通信ネットワークは宇宙から地上までが多層的に接続されるネットワークが前提となると考えられる。このシステム概念図を図 6-1 に示す。ただし、本報告書では、5G の次の 2040 年頃までに実現されるネットワークを Beyond 5G と定義する。今後、このようなネットワークの実現に向けた研究開発が必要である。

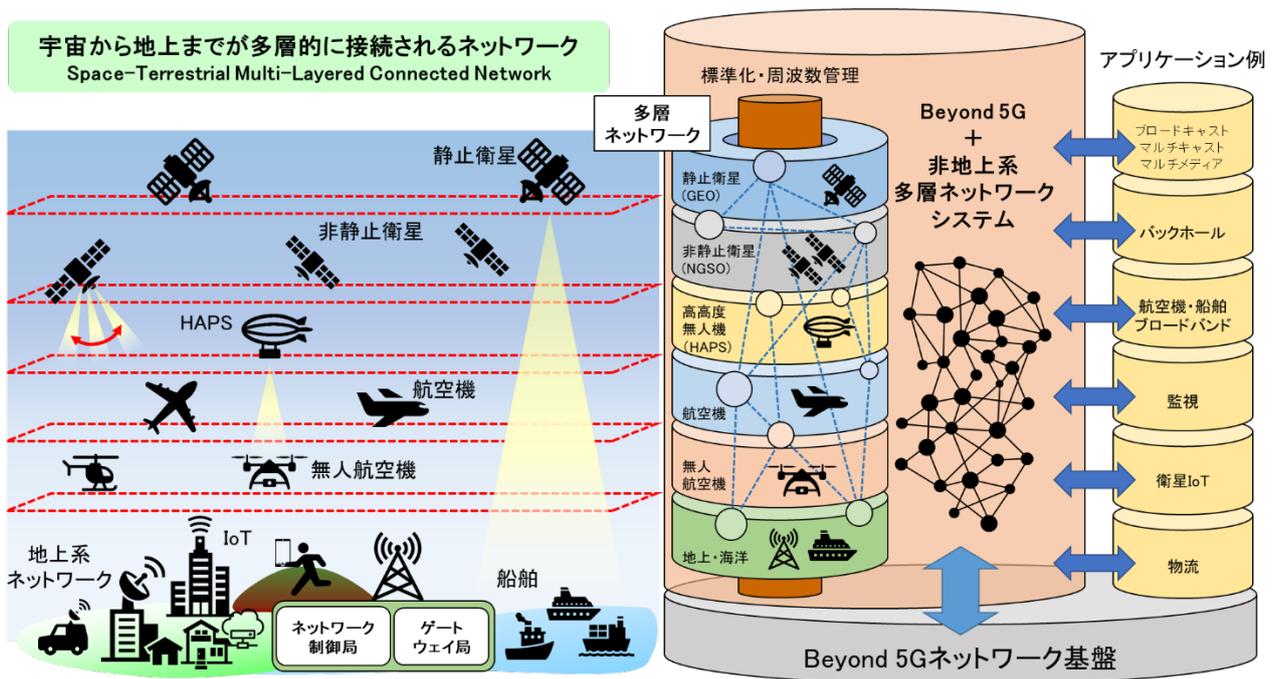


図 6-1 : Beyond 5G における通信ネットワークの概念

7. まとめ

本検討会は、5Gにおける衛星通信の役割が注目され、欧州のプロジェクトの活動や3GPPでの標準化が進展する状況を踏まえて、衛星通信と5Gを連携させることによる有効なユースケース、必要な技術課題と実現方法、評価とデモンストレーション、標準化等について、具体的に検討することを目的として開催された。以下にその主要な結果をまとめる。

- ・ 衛星5G連携は地上系5Gの技術を衛星通信とこれを含む非地上系ネットワークへ拡張することを目指すものであり、キー技術はSDN/NFV、ネットワークスライシング、ネットワーク管理、エッジコンピューティング等の5Gにおけるネットワーク技術である。衛星5G連携の活動は欧州でSaT5G、SATis5をはじめとする様々なプロジェクトが先行し、3GPPでの標準化も進展している。
- ・ 衛星5G連携を導入する必要性として3つのモチベーションが考えられる。第一に衛星通信の近年の進化がある。HTSや、LEO衛星群によるメガコンステレーション計画の登場により、高速大容量化が低コストで実現し、端末も大幅な小型・低消費電力化により、従来よりも大幅に地上系システムに近づいている。第二に5G技術の特徴づけるネットワーク技術を衛星系に展開することで、衛星5Gの連携が効率よく実現できる可能性が出てきた。第三に標準化について、従来衛星通信は地上系とは独立してアーキテクチャが構築されていたが5Gでは初めて3GPPで衛星を含む非地上系の標準化が進められている。これにより非地上系の標準化が進み“plug & play”化やASIC化が進展することが期待される。以上を背景に、衛星5Gの連携により従来にないユースケースの創造や従来のユースケースの革新的改善が期待できると考えられる。
- ・ 国内での有効なユースケースを検討するにあたり、背景として5G/Beyond 5Gの時代(2020~2040年)の国内の人口動態等の社会状況を踏まえた検討が重要である。ユースケースのカテゴリとしてスマートシティ、モビリティ、非常災害時対応に対して有効なシステムの概念検討、有効性、必要な技術等を確認した。
 - スマートシティ：ユースケースはルーラル地域など、地上ネットワークがないところにスポットを作ることを前提。エンドユーザ(サービス)はイベントでの利用、検診メータ、見守り、農林漁業、スマートグリッド、遠隔医療等。サービス提供者は官公庁や自治体、キャリア等。衛星5G利用の有効性については同時制御及びデータ収集により4Gより同時収容数が改善することが期待。高速通信よりもIoT的な多数データ収集に効果が期待。端末側のMECで必要なデータを選別することで伝送効率を上げることも期待。3GPPのプロトコルで地上-衛星をシームレス接続できるなら切換時間の短縮も期待できる。
 - モビリティ：エンドユーザは船・航空会社や旅客、物流業。サービス提供者はサービスプロバイダや船・航空会社、メーカー。衛星5G利用の有効性は運航管理、インターネット接続、機体モニタリングや環境モニタリング、コンテナ位置情報の管理等。これらはモノ・個体一つ一つがユーザ(端末)と考えられ、グローバルに移動するためサービスの持続性(Service Continuity)が必須となり、スライシング(同時多数接続、高速大容量)が必要。船舶・航空機の地球局としては無線リピータタイプと終端タイプが考えられる。これ以外にも、UAVによる見通し外通信で低

遅延な HAPS を中継に利用することや、バックホールでの衛星利用、宇宙域のネットワークの利用も挙げられる。

- ▶ 非常災害時対応：ユースケースは大きく災害救助、監視の2つに分類される。エンドユーザは、災害救助は被災者や救援団体、監視は自治体等。サービス提供者は通信事業者。有効性は、被災者発見のマネージメントや、スマホでの安否確認 (D2D-ドローン-HAPS-衛星のネットワーク)、D2D で 4K 映像の大容量伝送、被災地の状況確認のため上空からの映像情報を災害対策本部に伝送する利用。実現方法として、早い立上げのできるネットワークが必要であり、例えばローカル 5G をへり、HAPS に接続することや、衛星 5G を活用したアドホックネットワークの活用が考えられる。監視におけるコンテンツは映像、通話、データ、IoT センシングデバイスからのデータ等、実現方法はアプリ毎のスライシングの設定。その際、衛星系と地上系の両方のネットワークを考慮した通信速度、遅延等の制御が必要である。
- ・ 国内におけるトライアルについては、特に無人システム、監視 (映像、データ)、移動体 eMBB、IoT、物流システム、ローカル 5G/バックホール、スマホ連携に関してトライアルの有効性が期待できる。
- ・ 標準化については 3GPP を中心に非地上系ネットワークの中で衛星 5G 連携の検討が行われており、Release17 で仕様化が完了する計画である。標準化が必要と考えられる項目は大別して 3GPP での衛星 5G 連携の標準化に関連する項目とアプリケーションの分野で標準化すべき項目に分類された。今後、3GPP の動向を注視するとともに、国内利用で有効な内容を検討していく必要がある。また、通信方式の標準化とは別に、5G 技術で衛星の周波数を利用するために必要な標準化についても議論が必要である。
- ・ 衛星通信を含む今後の通信ネットワークについて、本検討会で議論された衛星 5G の有効性、必要な技術等を踏まえて検討した。5G の次の 2040 年頃までに実現されるネットワークとして定義した Beyond 5G における通信ネットワークは、宇宙から地上までが多層的に接続されるネットワークが前提となると考えられる。今後は、このような通信ネットワークの実現に向けた研究開発が必要である。

謝辞

本検討会の開催にあたり、国内の衛星事業者、地上携帯事業者、衛星関連メーカ、大学、調査研究機関、標準化機関等、衛星 5G 連携に関わる幅広い機関に参画いただき、今後の取り組みにつながる有効な意見交換を行うことができた。それとともに、今後国内において衛星 5G 連携の取り組みを推進する上で有効なコミュニティ形成が促進された。ご協力いただいた構成員並びにオブザーバ各位に深謝申し上げます。

参考文献

- [1] 宇宙基本計画工程表（令和元年度改訂）（2019年12月13日）
- [2] 中尾 彰宏（東京大学）：「5Gと衛星通信の連携の重要性」、衛星通信と5G/Beyond5Gの連携に関する検討会 第2回会合資料（2019年9月26日）（別紙1）
- [3] Kumar Singarajah, Roll of Satellite Systems in the Future 5G Ecosystem, September 18-19, 2017
- [4] SaT5G project : <https://www.sat5g-project.eu/>
- [5] SATis5 Demonstrator for Satellite-Terrestrial Integration in the 5G Context :
<https://artes.esa.int/projects/satis5-0>
- [6] 5G ALLSTAR : <https://5g-allstar.eu/news/>
- [7] Space19+ : <https://artes.esa.int/news/artes-40---new-proposal-new-marketplace>
- [8] Marius Corici, SATis5 Solution: A Comprehensive Practical Validation of the Satellite Use Cases in 5G, 24th Ka and Broadband Communications Conference, October 2018
- [9] Konstantinos Liolis, Overview of SESs Innovation Activities on Satellite Integration into 5G, 24th Ka and Broadband Communications Conference, October 2018
- [10] 国土審議会政策部会長期展望委員会：「国土の長期展望」中間とりまとめ（平成23年2月21日）
- [11] 3GPP TR22.822 V16.0.0 (2018-06) Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on using Satellite Access in 5G; Stage 1 (Release 16)
- [12] Adrian Scrase, 3GPP Overview: The Standardization Ecosystem for Global Mobile Systems, 3GPP Summit CEATEC, October 17, 2018
- [13] 3GPP : <https://www.3gpp.org/>
- [14] 外山 隆行（パナソニック）：「3GPPにおけるNTN（Non-Terrestrial Network）標準化動向」、衛星通信と5G/Beyond5Gの連携に関する検討会 第4回会合資料（2019年11月28日）（別紙2）

付録 1：構成員・オブザーバー一覧

<内部構成員>

国立研究開発法人情報通信研究機構

<外部構成員>

スカパーJSAT 株式会社	宇宙事業部門 宇宙技術本部 通信システム技術部 衛星・通信技術担当主幹	北之園 展
日本電信電話株式会社	アクセスサービスシステム研究所主幹研究員	山下 史洋
日本電信電話株式会社	アクセスサービスシステム研究所主任研究員	糸川 喜代彦
日本電信電話株式会社	アクセスサービスシステム研究所研究員	五藤 大介
株式会社 NTT ドコモ	ネットワーク部衛星通信部門担当部長	井上 雅広
KDDI 株式会社	グローバル技術・運用本部シニアディレクター	河合 宣行
KDDI 株式会社	グローバル技術・運用本部 グローバルネットワークオペレー ションセンター衛星通信グループ マネージャー	福家 直樹
KDDI 株式会社	技術企画本部技術企画部システム戦略グループ グループリーダー	松ヶ谷 篤史
KDDI 株式会社	電波部 企画・制度グループ グループリーダー	田中 和也
ソフトバンク株式会社	技術本部 技術開発部 部長	葛巻 剛
ソフトバンク株式会社	技術本部 本部長	砂川 雅彦
ソフトバンク株式会社	技術本部 技術企画部 部長	押田 祥宏
パナソニック株式会社	イノベーション推進部門要素技術開発センター 開発 4 部部長	外山 隆行
三菱電機株式会社	電子システム事業本部宇宙システム事業部 事業部長付	堀江 延佳
三菱電機株式会社	情報技術総合研究所グループ マネージャー	内田 繁
三菱電機株式会社	鎌倉製作所担当	今井 慧
三菱電機株式会社	情報技術総合研究所 通信技術部 無線信号処理グループ専任	谷 重紀
日本電気株式会社	宇宙システム事業部 第三宇宙システムグループ エキスパート	橋本 大輔
日本電気株式会社	宇宙システム事業部 第三宇宙システムグループ シニアエキスパート	大島 浩

日本電気株式会社	宇宙システム事業部 第三宇宙システムグループ 主任	清水 一真
NEC スペース テクノロジー株式会社	営業本部 ビジネス推進グループ主任	海田 正大
日本無線株式会社	ソリューション事業部技術統括部新技術推進グループ グループ長	斉藤 等
日本無線株式会社	新規事業開発本部副本部長	梅田 成視
日本無線株式会社	事業統括部専任課長	飯野 聡
日本無線株式会社	無線インフラ技術部衛星システムグループ専任課長	有村 茂憲
日本無線株式会社	技術統括部 無線ネットワークシステムグループ 専任課長	福島 勇武
宇宙航空研究開発機構	研究開発部門 研究戦略部 計画マネージャ	佐藤 勝
宇宙航空研究開発機構	研究開発部門 第一研究ユニット主任 研究開発員	粟野 穰太
宇宙航空研究開発機構	第一宇宙技術部門 事業推進部主任	斎藤 秀樹
宇宙航空研究開発機構	第一宇宙技術部門技術試験衛星9号機プロジェクト チーム研究開発員	西城 邦俊
宇宙航空研究開発機構	第一宇宙技術部門事業推進部 計画マネージャ	石島 義之
東京大学	教授／東京大学総長補佐／東京大学大学院情報学環・学際情報学府副学環長	中尾 彰宏
早稲田大学	基幹理工学部情報通信学科教授	佐藤 拓朗
早稲田大学	基幹理工学部情報通信学科教授	嶋本 薫
早稲田大学	基幹理工学部情報通信学科講師	文 鄭
東北大学	大学院情報科学研究科教授	加藤 寧
東北大学	大学院情報科学研究科准教授	川本 雄一
株式会社三菱総合研究所	科学・安全事業本部フロンティア戦略グループ 主任研究員	大木 孝
株式会社三菱総合研究所	科学・安全事業本部フロンティア戦略グループ 主席担当部長	長山 博幸
株式会社構造計画研究所	通信システム部	関口 真理子
株式会社構造計画研究所	通信システム部技術担当	藤井 義巳
株式会社構造計画研究所	通信システム部	谷林 昭浩
楽天モバイル株式会社	ネットワーク本部技術戦略部 標準化推進課 工学博士 シニア・リサーチャー	馬 婧

<オブザーバ>

一般社団法人電波産業会	理事	西岡 誠治
一般社団法人電波産業会	研究開発本部宇宙通信グループ担当部長	越野 真行
総務省	国際戦略局宇宙通信政策課衛星開発推進官	西室 洋介
総務省	総合通信基盤局 電波部 基幹・衛星移動通信課 課長補佐	服部 理

付録 2：3GPP で検討されている衛星 5G 連携のユースケース

参照：3GPP TR22.822 V16.0.0 (2018-06)

Technical Specification Group Services and System Aspects;
Study on using Satellite Access in 5G; Stage 1 (Release 16)

(以下、3GPP TR22.822 に記載されている章立てを利用し、各ケースの Description と Service Flows を要約)

5.1 Roaming between terrestrial and satellite networks

5.1.1 Description

- ・船会社のコンテナの追跡のためコンテナにユーザ端末 (UE) を取り付け、位置情報、その他の情報をセンターサーバに報告させる。
- ・船会社は地上オペレータ Terr A と端末の契約を行っている。Terr A は海外ローミングにより世界中で利用可能としている。
- ・地上カバレッジがない場合、UE は衛星にアクセスできる。
- ・コンテナは洋上にあるとき、又は地上系がない陸上でも追跡が可能である。
- ・グローバルローミングの観点からオペレータ Terr A は Sat A とのローミング契約を実施。
- ・UE が直接衛星にアクセスできない場合、他のコンテナの UE を使って衛星保証する。また、その他船が Relay UE を用意することもできる。

5.1.2 Pre-conditions

- ・コンテナの UE は Terr A のサービスに加入している
- ・Terr A は地上オペレータの Terr B と衛星オペレータの Sat A とローミング協定を結んでいる。

5.1.3 Service Flow

- ・コンテナはロッテルダムで積み込まれ、追跡は Terr A のオペレータと契約。
- ・出航後 Terr A のカバレッジの外に出る。
- ・UE は Sat A を選択
- ・必要に応じて Relay UE で Sat A ネットワークにつなぐ。
- ・上海に入港
- ・Sat A のカバレッジに居ても UE のネットワーク選択方針により Terr B を選ぶ。
- ・コンテナが船から降ろされて鉄道に載せる。中国の最終目的地まで追跡は Terr B で行う。



Figure 5.1.1-1: Need for tracking and tracing of containers

5.2 Broadband and multicast with a satellite overlay

5.2.1 Description

- 3GPP は Release 14 において新たに改良した方式の TV サービスを提供するモバイルネットワークについて規定した。
- TV、コンテンツプロバイダーは標準化されたインタフェースでそのサービスを直接提供できる。多くのシステム強化の中でハイライトとして無線放送の拡大、無料放送サービスやデジタルビデオ信号のトランスペアレントモード配信が含まれる。
- Release 14 の進展は eMBMS (enhanced multimedia broadcast and multicast system over LTE) やユニキャストによりモバイルデバイスや固定 TV セットに改良した TV サービスの提供を可能にした。
- この進歩はメディア配信やコントロールに使われるモバイルネットワークオペレータとサービスプロバイダ間の標準化されたインタフェース、改良されたブロードキャストサポートのための無線の強化、無料受診オンリーサービス配信を可能とするシステム強化を含む。
- このアプローチは衛星にも拡張でき、単一レシーバー或は双方向モードの補完でビデオコンテンツのみならず衛星の広域カバレッジのメリットを考慮した色々な端末へのデジタルコンテンツ配信が可能である。

5.2.3 Service flow

- UE へのコンテンツ配信は衛星ネットワーク (SNO) を使った放送モードである。
- 衛星領域 S (SNO の域外) 内におらず、MNO 領域 M 内に居る端末はモバイルネットワークを通じてコンテンツ配信される。
- 端末は MNO もしくは SNO から受信したデータフローを合成する。

5.3 Internet of things with a satellite network

5.3.1 Description

- 5G 衛星ネットワークは一つもしくは多数の衛星のコンステレーションのベースとなる。衛星は UE が限られた RF 電力で接続されるよう低軌道に配置される。衛星コンステレーションはグローバルカバレッジ内の UE に連続的なサービスを提供する。
- IoT サービスプロバイダ 5G システムやいくつかの関連するモバイルネットワークによってコネクティビティを提供し、地理的なカバレッジ拡大を保証する。衛星コンポーネントは以下を提供するであろう。

- 5G 衛星アクセスネットワークは無線カバレッジを地上ネットワークへ延長させる。
- 5G 衛星ネットワークとしてはローミングにより他の 5G ネットワークに延長できる。

5.3.2 Pre-condition

- ・VIP 専用車両は A 地点から B 地点に移動する。VIP の旅行は参加者に快適さを提供できるエリアが計画されていた。VIP 車の位置情報は連続的にセキュリティ管理者に報告されねばならない。しかし、このイベントの計画前に既存の 5G 地上ネットワークは完全にカバーできないことがわかっていた。
- ・LEO 衛星ネットワークは利用可能である。このイベントで地上がカバーできないエリアもカバーできる。

5.3.3 Service flow

- ・端末は VIP の車に設置
- ・セルラーネットワーク内にいる時、端末はこのネットワークを通じて位置報告を行う。
- ・衛星ネットワーク内にいて、且つ地上ネットワークの外にいる時は、端末は衛星ネットワークを通じて位置情報を報告する。

5.4 Temporary use of a satellite component

5.4.1 Description

- ・ネットワークオペレータは 5G システムの一部としての地上 RAT を展開する。
- ・エリアとしてはいくつかの国を包含するかもしれない。5G 地上ネットワークが展開されるインフラにはコアネットワーク CN 同様 RAN も含む。
- ・緊急事態発生時：巨大地震、洪水、戦争が発生した場合には、RAT の一部もしくは全体が破壊される。地上系のサービスは利用不可能。
- ・同時にこの緊急事態は初動救助を行い、安全の回復やロジスティックサポートを手配する公共機関同様に住民全体の危機的状況につながる。
- ・Alice は 5G のフィールドエンジニアである。彼女は危機発生の場所にいる。そこで彼女は 5G インフラの設置や保守を行っている。Alice は 5G 復旧のため本部からのサポートを要求していた。
- ・Bob は危機管理職員で捜索救助を担当している。彼は活動のコーディネートをを行うため分散して活動しているチームとの協力を必要としている。捜索エリアは D2D、あるいは 5G 地上カバレッジを超えていた。

5.4.3 Service flows

- ・Alice、Bob は通常の 5G 地上ネットワークアクセスが困難となった。
- ・衛星が使えるネットワークオペレータは衛星カバレッジで UE が衛星にアクセスできるよう、最小限のサービス（音声、メッセージ、メール）を可能とした。
- ・公共もしくは業務ユーザはネットワークスライスが与えられている。これにより可能なトラフィックのいくらかを利用することが保証されている。
- ・Bob が属するクリティカルミッションの部隊は彼らのミッションをサポートするよう別のスライスを

与えられている。

5.5 Optimal routing or steering over a satellite

5.5.1 Description

- ・ Alice は ALM*を使った機構部品の製造工場を所有。そこは 5G 地上 RAT のカバレッジの端の遠隔地で eMBB の性能についても時間帯で制限がある。

*ALM : Additive layer manufacturing process (3D プリンタ)

- ・ また、第 2 工場をさらに遠隔で 5G でカバーされないエリアに建設した。
- ・ 向上は省力化されており、工作機械はそれぞれ ALM の電子ファイルにアップロードされている。ALM ピースは複雑になり、量も増えてきた。
- ・ 第 1 工場、第 2 工場間での ALM ファイルの伝送遅延が増加し、飽和状態になる可能性あり。
- ・ Alice はさらに本社からリモート制御できる新型機械を導入する計画で、ビデオコントロールと反応性が必須。

5.5.3 Service flows

- ・ 衛星回線が使える際は、サービスは遅延による制約によって区別される。

Table 1: Possible 5G Satellite or 5G terrestrial connectivity according to latency requirements

Connection	Characteristics	Path	Path	Path
Satellite	Non Latency Constrained		Down	Down
Terrestrial	Latency Constrained	Down		
Satellite	Non Latency Constrained			Up
Terrestrial	Latency Constrained	Up	Up	
Factory		FF	FF	FF,SF

5.6 Satellite transborder service continuity

5.6.1 Description

- ・ A 国のオペレータ TA による 5G 地上ネットワークのカバレッジ、B 国のネットワークオペレータ TB による 5G 地上ネットワークのカバレッジがある。
- ・ 衛星 SA のカバレッジは TA と TB のカバレッジと一部オーバーラップする。衛星 SB のカバレッジは TA と TB のカバレッジと一部オーバーラップする。
- ・ TA と TB にアクセスできる UE は SA、SB にもアクセスできる。衛星コンポーネントは以下のコンフィギュレーションの内の一つを伴う衛星アクセスネットワークである。
 - 5G 衛星 RAT : 利用できる TA、TB の 5G アクセスネットワークの拡張が可能
 - 衛星アクセスネットワーク : TA、TB の 5G コアネットワークへの接続が可能
 - スタンドアローン 5G ネットワーク : 独立したアクセスネットワークとコア機能を持ち、TA、TB とローミング契約を持つ

5.6.3 Service flows

- Alice は旅行中、端末は、最初は 5G 地上の TA に接続されている。
- その後 TA は衛星を使える契約をしているので TA が使えない状況になった時に 衛星コンポーネント SA 経由 TA に接続した。この接続は鉄道車両にある Relay node UE で可能である。
- 列車が TA を離れてネットワーク B に入る。まだ、地上は使えなくて衛星カバレッジ SA が唯一使える。Alice の UE はまだ SA につながっている。
- 地上のカバレッジがまだ使えない。衛星カバレッジ SA、SB がネットワークオペレータ B に接続可能。UE はこのいずれかを経由して接続される。
- UE は SB と地上が使える。地上の接続が選択される。
- Alice が B 国の首都に到着。

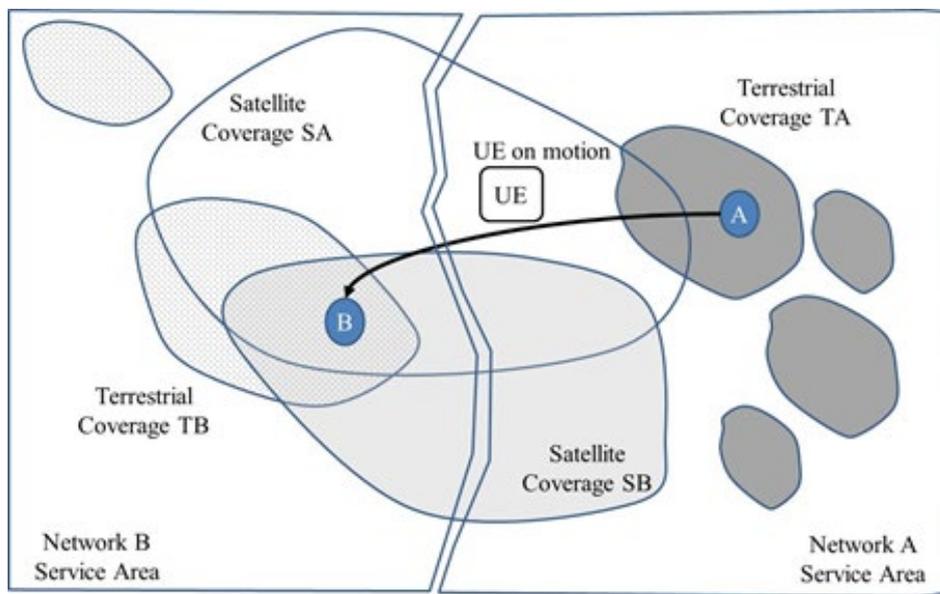


Figure 1: Multiple countries and multiple terrestrial networks that include satellite access

5.7 Global satellite overlay

5.7.1 Description

- TR 22.891 に示されるように伝搬遅延は物理的に制約がある。空気中は光速、ファイバーでは光速の 2/3。この制約の中で片道 1msec の遅延を 300km の空間伝搬もしくは 200km のファイバー伝送に配分する。
- 2 点間の距離が増加すると（数千キロ）空間とファイバーの遅延差がアプリケーションによってはクリティカルとなる。そのためファイバーのネットワークの代わりを考えることは価値がある。
- 低軌道衛星のコンステレーションにおいては、各衛星は衛星間通信により隣接衛星に接続できる gNB を搭載し、UE へのアクセスを提供する。そのようなコンステレーションシステムは長距離接続を必要

とするユーザのためにオーバーレイメッシュネットワークを提供する。そこでは、遅延が改良され、end-to-end セキュリティが確保されている必要がある。

- ・衛星コンステレーションはシングルオーバーレイ 5G システムの要素を、もしくはコンステレーションでカバーされる国に多くの 5G システムを提供するものと考えられる。
- ・世界中に展開するサイトを有するグローバル組織はサイト間の長距離接続を必要とする。ここでは例えば High Frequency Trading (HFT)、バンキング、コーポレート通信をサポートするクリティカルな用途のために低遅延、高信頼性、セキュリティを含むクリティカルな要求を伴う。この組織はオペレーションが鉱業、オイル・ガス、トレーディング等に関係しているため QoS や帯域幅や遅延と同様にセキュリティについても強い要求を持っている。

5.7.3 Service flows

- ・オペレータは顧客の end-to-end の性能保証をするため地上か衛星かの多くのルートにアクセスできるようにしている。
- ・それぞれのルートの性能モニタリング（遅延、ネットワーク負荷）に基づいて衛星ネットワークオーバーレイが UE と UE の接続のため選択される（例えばパリ証券取引所 SE と東京 SE、パリ SE とシカゴ SE）。その他のより短距離のケース（パリ SE-ロンドン SE）では地上ルートが好ましい。

5.8 Indirect connection through a 5G satellite access network

5.8.1 Description

- ・TR22.822 に記載の“Service Continuity”というユースケースを考慮すると、多くのリモートユーザは 5G の使えないエリアにいる、あるいは移動体や経済的事情により 5G が使えないかもしれない。5G 衛星ネットワークはこれらの要求に答えることが出来るであろう。
- ・リモート端末が衛星にアクセスできない場合、衛星アクセスの可能な端末（Relay UE）に接続する。Relay UE はリモート端末と 5G コアネットワークを 5G 衛星アクセスを通じて間接的に接続する。

5.8.3 Service flows

- ・Alix は端末を購入し 5G サブスクライバーとなった。契約では航空機、船舶などでも使える。Alix はパリから東京へのフライトでスマートフォンによりブラウザが使えるかチェックした。
- ・Pauline は公務員で端末を与えられていた。冬季に森の中で迷った人や助けが必要な人の支援活動を依頼されることがある。呼ばれた時、彼女は衛星端末を搭載した雪上車に乗る。彼女のスマートフォンは衛星に直接つながり、Relay UE として動作する。Alix や Paulin の端末では衛星は使えない。

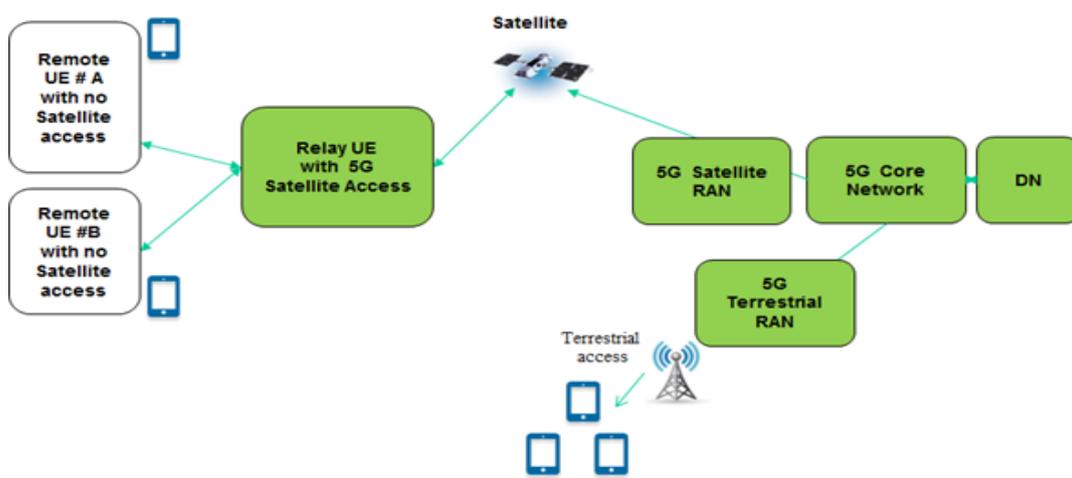


Figure 5.8.1-1: Interconnection of UE to a 5G network through a bent pipe satellite enabled and relay enabled UE

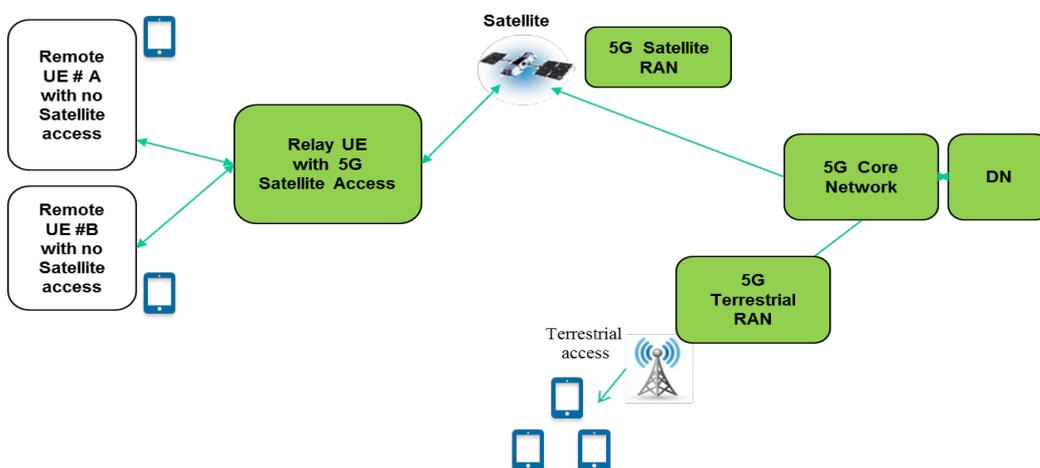


Figure 5.8.1-2: Interconnection of UE to a 5G network through a 5G satellite enabled and relay enabled UE

5.9 5G fixed backhaul between NR and the 5G core

5.9.1 Description

- Alice と Barbara は 5km ほど離れた 2 つの小さな村に住んでいる。周囲の人口は少なく、農地と使われていない採石場である。
- 2 つの村には最近の通信サービスはない。DSL 接続は隣の Cville との距離の問題で十分でない。Cville ではモバイルオペレータがサービスを提供しているが、2 つの町はカバーできていない。
- モバイルオペレータはシェアード・セルタワーを 2 つの村の間に設置することとした。それらは 300 世帯で夏の宿泊客のためそれ以上となる。
- Alice と Barbara は Cville の学校を出る時はモバイルフォンが使えるが、家に着くころには使えなくなる。

5.9.3 Service flows

- ・新たなタワーの 2 つのセルはモバイルオペレータの通常サービスを提供する。ここで衛星ネットワーク S を用いてセルタワーとモバイルオペレータのコアネットワーク間の接続を行う。
- ・5G コアと NR 間のインタフェースは衛星リンクを通して行う。
- ・ネットワーク機能の非局在化はトータルのサービス品質を改善する。例えば AMF/SM*の非局在化はバックホールエリアでローカルコミュニケーションの改良強化を図る。

*AMF: Access and mobility Management Function

*SMF: Session Management Function

5.10 5G Moving Platform Backhaul

5.10.1 Description

- ・鉄道会社 TO が 1000km を走行する高速サービスを開始。TO は特別なエンターテインメントサービスをすべての旅客に、また有料でインターネットサービスを提供することを要望している。
- ・また、その他非緊急の TO 内通信にも適用する。

5.10.3 Service flow

- ・地上のモバイルオペレータはユニキャスト／マルチキャスト／ブロードキャストでエンターテインメントコンテンツを既存のベースステーションもしくは車上のベースステーション経由で伝送する。
- ・鉄道が国の中央を通過する時、衛星しか使えない期間が長い。
- ・頻繁に使われるコンテンツは TO のローカルインフラにストアし、必要に応じてアップデートできる。
- ・インターネットサービスが使える UE は両方のアクセスネットワークを単独でも融合しても使える。TO のインターナルサービスも必要に応じてネットワークが使える。

5.11 5G to premises

5.11.1 Description

- ・Neudorf は 1970 年代に作られたアルプスのふもとの村で居住者は約 80 人。休暇村としてスキー設備の近くに作られた。温暖化の影響でリフト会社は倒産したが、都会から離れたライフスタイルが好まれて人気がある。建設当時、通信は電話だけで他にはなかった。今日古い交換機は良好な DSL は提供できない。また、セルラーのカバレッジは丘のせいで一般的には不十分。住人は近代的な通信を要望する人もいれば、関心のない人もいる。ケーブル会社もなく、長年放送衛星を使っている。

5.11.2 Pre-condition

- ・衛星オペレータ S がサービスを運用。
- ・地上系オペレータ T は S と提携してこのエリアにより良い通信環境を提供することにした。ここではホーム／オフィス用ゲートウェイユニットを用いて衛星 S と地上 T を融合させて Wi-Fi が使えるようにする。

5.11.3 Service flows

- ・地上系のオペレータ T は衛星を使ってブロードキャスト、マルチキャストを行う。ゲートウェイでのキャッシングを行い、T はコンテンツを頻繁に配信することが出来る柔軟な手段を有する。
- ・一般にユニキャストはセルラーを用いる。もし低遅延が必要なければ衛星を使う。
- ・T は、地理的に有利な位置にあるゲートウェイが、その近くにいるが土地の都合上不利な位置にいる加入者にカバレッジを提供する方法についても調査している。

5.12 Satellite connection of remote service center to off-shore wind farm

5.12.1 Description

- ・風力発電プラントのネットワークに 5G 衛星コネクションを利用する
- ・リモートサービスセンターは 5G 衛星端末を使う
- ・リモートサービスセンターは Connection B によるリモートサービス通信ができる PLMN (Public land mobile network) に接続している。

5.12.3 Service flows

- ・5G 衛星コネクションは沖合の風力発電と遠隔のサービスセンター間の通信に使われる。
- ・リモートモニタリング、時間制約のない制御：中容量、低遅延 (LEO)
- ・リモートサービスセンターでのデータ解析のための連続データのアップロード：大容量アップリンクデータ
- ・オンデマンドでのタービンのメンテナンスにおける映像監視：HD ビデオ、低遅延
- ・遠方解析のためのセンサデータのダウンロード：大容量アップリンクデータ
- ・リモートセンターからオンサイトのサービス担当者へのサポート情報伝送：大容量ダウンリンクデータ

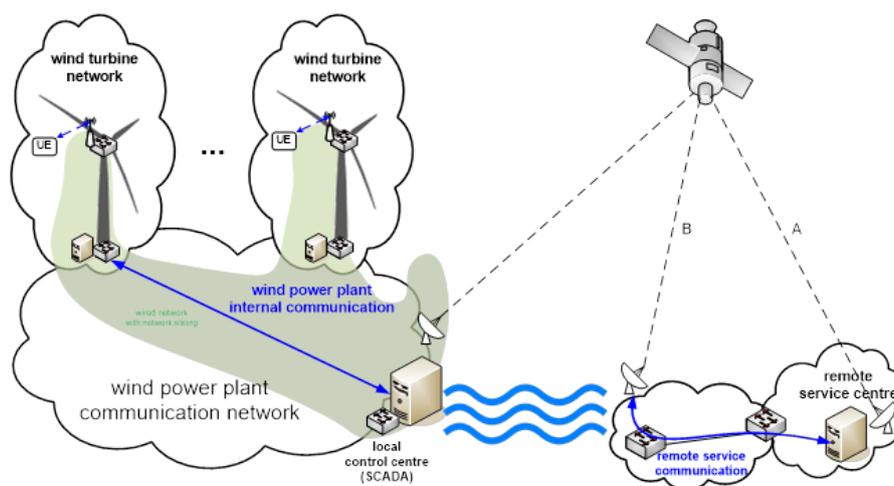


Figure 5.12.1-1: Example of off-shore wind power plant communication network connected to inland remote service centre via 5G satellite connection