

情報通信審議会 情報通信技術分科会
衛星通信システム委員会
衛星を巡る諸問題に関する調査検討作業班
報告書

平成 29 年 6 月 15 日

情報通信審議会 情報通信技術分科会 衛星通信システム委員会
衛星を巡る諸問題に関する調査検討作業班報告書 目次

はじめに	1
第Ⅰ部 5G、IoT の進展と衛星への期待	2
1. 5G の動向	2
2. IoT の動向	7
3. 衛星サイドの対応状況	9
4. 分析：5G/IoT 時代における衛星の果たすべき役割	16
5. まとめ（衛星 5G の実現に向けて）	18
第Ⅱ部 新たな衛星システムの発展と我が国に与える影響・課題	19
1. 新たな衛星システムの発展	19
2. 日本でのサービス開始が予定される衛星システムの仕様・実施時期、技術開発動向	25
3. 分析：技術革新等による通信衛星システムの変革	31
4. まとめ（新しい衛星通信市場の開拓に向けて）	34
別 添 衛星を巡る諸問題に関する調査検討作業班 構成員名簿	35

はじめに

衛星を巡る環境が近年変化しつつある。例えば複数の衛星が一体となって機能し、通信サービスや測位情報等を提供する「衛星コンステレーション」が国内外で数多く計画あるいは実施段階にあり、今後数年のうちに周回軌道に数多くの小型衛星が投入される見込みである。衛星回線の高速度大容量化も進んでいる。

また、衛星に関係する通信システムにも変革期が訪れており、全てのモノがインターネットに接続されるIoT（インターネット・オブ・シングス）の動きが進む傍ら、現行の移動通信システムは日本では2020年頃から次世代（第五世代：5G）に移行していくと見込まれている。こうした動向を踏まえ、海外では5G/IoTへの衛星の利活用についての検討が始まっており、日本にも検討への参画が求められている。

こうした状況を受け、今後は新技術を取り入れて新たな利活用分野を拓く衛星サービスの開始が多く見込まれるところ、短期間に多数の無線局免許申請がなされた場合等でも新事業の開始に支障を来すことのないよう、迅速に技術検討や制度整備を進めることが必要である。

当作業班は以上の認識を踏まえ、情報通信審議会 情報通信技術分科会 衛星通信システム委員会の下に設置され、国内外の衛星システムに係るサービス及び技術動向等を調査のうえ、今後想定される課題を洗い出し、必要な対処方策を検討してきた。この度その結果をとりまとめて衛星通信システム委員会に報告するものである。

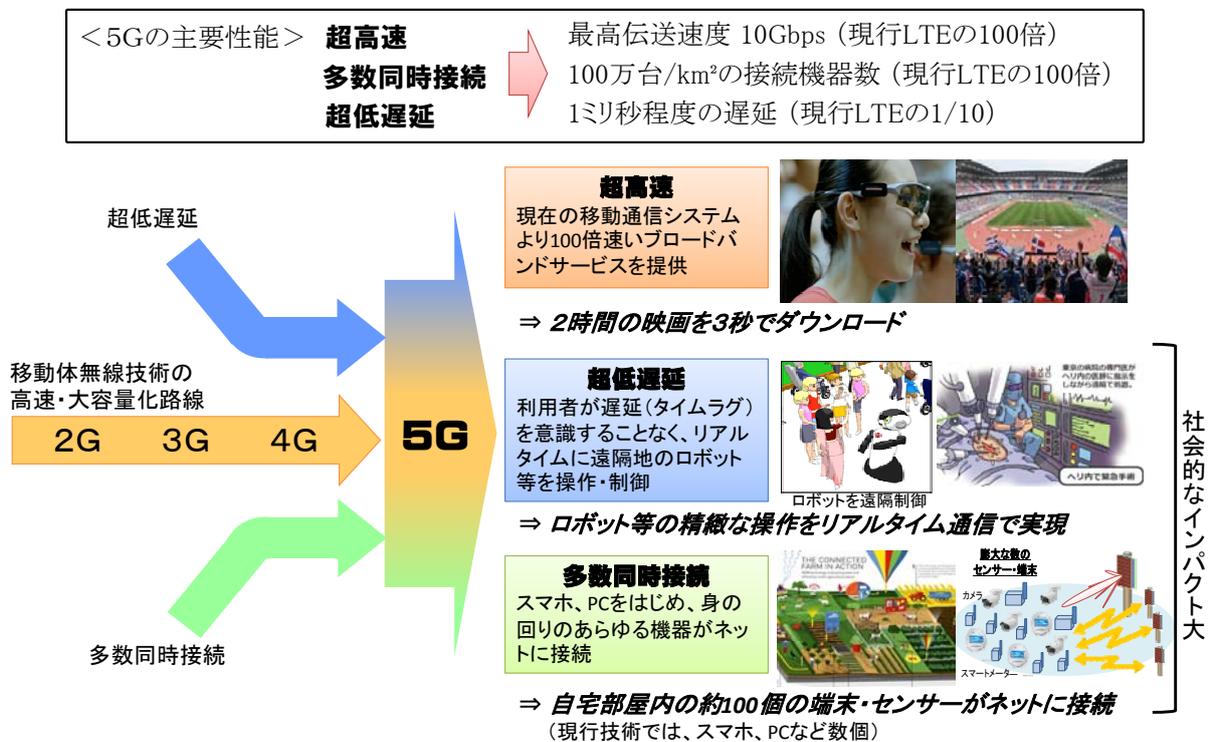
第 I 部 5G、IoT の進展と衛星への期待

1. 5G の動向

地上系の移動通信ネットワークは第五世代（5G）への進化の途にある。5G は必ずしも現行世代の延長線上にはなく、拡張 LTE、Wi-Fi に加え光通信等のネットワークが複合的・統合的に利活用されることが見込まれている。また免許帯域だけでなく免許不要帯域も含めた幅広い帯域への対応、高周波数帯への対応が検討されている。クラウド上でサービス提供を行っていたサーバをユーザの近くに配置するモバイルエッジコンピューティングの導入など、ネットワークセンターだけでなく端末に近い基地局側でも処理を分担することにより、ユーザの要求に応じてスループットや移動性及び遅延について柔軟に対応した多様なサービス提供を実現する。

5G の大きな注目点は、これまでの移動体無線技術が通信の高速大容量化を志向してきたのに対し、5G はこれも含めた 3 つの特徴で定義づけられることにある。すなわち、①現在の移動通信システムより 100 倍速いブロードバンドサービスを提供する「超高速」、②スマートフォンや PC をはじめ身のまわりの数多くの機器がネットワークに接続する「多数同時接続」、③利用者が遅延（タイムラグ）を意識することなくリアルタイムかつ安全に遠隔地のロボット等を操作・制御する「高信頼・超低遅延」、である（図 1）。これらを一つの無線インターフェースでサポートする方向で検討が進められている。

5Gで何が変わるか



(出典) 情報通信審議会 新世代モバイル通信システム委員会 第 1 回会合資料

図 1 5G で何が変わるか

5G の導入により、スマートフォンなどの従来型端末をベースとしたビジネスに加え、低遅延で信頼性の高い通信技術を活用した自動車や産業機器の分野における自動化その他の高度化や、多数同時接続技術を用いてスマートメータ及び各種センサから情報を収集するIoT 分野の新市場創出が期待されている。

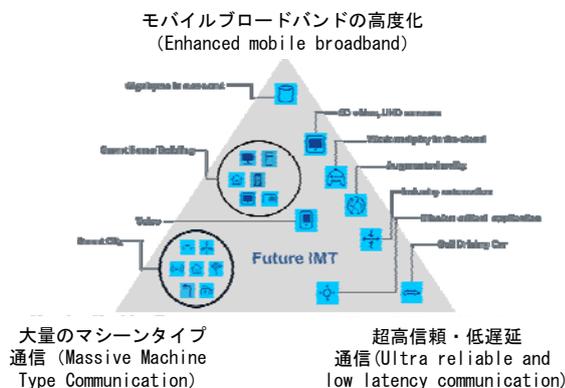
海外では 2020 年の 5G 実現に向けた標準化活動が本格化している。国際電気通信連合 (ITU) では、その無線通信部門である ITU-R において、2015 年に「IMT ビジョン勧告」 (ITU-R 勧告 M. 2083) を策定し、5G の利用シナリオや 5G の要求条件など 5G 開発の方向性が示された。この中では 5G に係る 8 つの要求条件として、最高伝送速度 20Gbps、同時接続機器数 100 万台/km²、遅延 1 ミリ秒といった前述の 3 つの特徴や周波数・エネルギー効率、移動性能等を示し、利用ケースに応じて 1 つ又は複数の条件を満たすことが求められている (図 2)。ITU-R の下部協議組織である SG5 WP5D の 2016 年 10 月の会合では、地上系 5G の評価モデルとして、①屋内におけるブロードバンド、②人口が稠密な都市部におけるブロードバンド、③地方部におけるブロードバンド、④都市部における広域での多数同時接続、⑤都市部における広域での低遅延・高信頼、の 5 つが合意された。2017 年 2 月の会合ではこの 5 ケースに係る 13 の技術要件項目及びその具体値、さらに他の無線システムとの共用検討パラメータを定めた報告案がとりまとめられた (図 3)。今後 2020 年までに 5G の無線インターフェースが勧告化される予定となっている。なお、ITU-R 勧告 M. 2083 では衛星利用については審議の必要性について触れているのみである。

ITUにおける5G実現に向けた検討①

- ✓ 2015年9月、2020年以降の将来の移動通信システムに関する枠組及び目的を示した「IMTビジョン勧告 (M.2083)」を策定。
- ✓ 同勧告において、5Gの利用シナリオや5Gの要求条件など、5G開発の方向性等を提示。

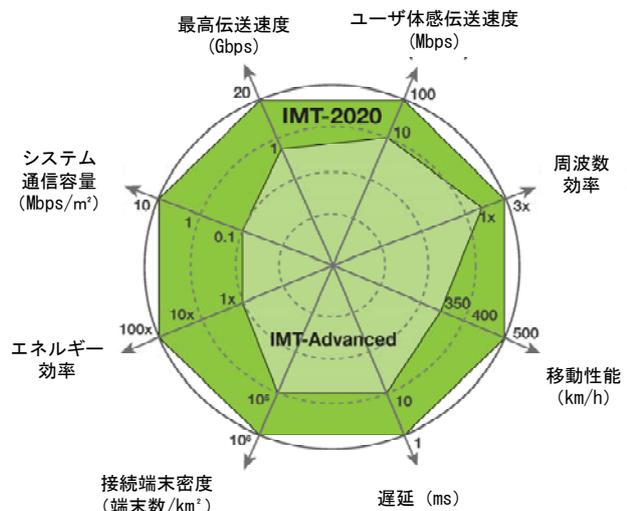
<5Gの利用シナリオ>

- ✓ モバイルブロードバンドの高度化 (Enhanced mobile broadband)
- ✓ 大量のマシンタイプ通信 (Massive Machine Type Communication)
- ✓ 超高信頼・低遅延通信 (Ultra reliable and low latency communication)



<5Gの主な要求条件>

- ✓ 最高伝送速度 20Gbps ※一定の条件下
- ✓ 100万台/km²の接続機器数
- ✓ 1ミリ秒程度の遅延



(出典) 情報通信審議会 新世代モバイル通信システム委員会 第1回会合資料

図 2 ITU における 5G 実現に向けた検討①

ITUにおける5G実現に向けた検討状況②

2016年10月のITU-R SG5 WP5D会合において、5Gの①技術性能要件、②評価基準・方法について議論。

● 技術性能要件

✓ 13の技術性能要件及びそれぞれに対する要求値について、一部を除いてほぼ合意。

<技術性能要件>

- ① 最高伝送速度、② 最高周波数効率、③ ユーザ体感伝送速度、
- ④ 5%ユーザ周波数利用効率、⑤ 平均周波数効率、⑥ エリア当たりの通信容量、
- ⑦ 遅延、⑧ 端末接続密度、⑨ エネルギー効率、⑩ 信頼性、⑪ 移動性能、⑫ 移動時中断時間、
- ⑬ 帯域幅

● 評価基準・方法

✓ 3つのブロードバンド試験モデル、1つの多数同時接続試験モデル、1つの低遅延・高信頼試験モデルの5つの試験モデルについてほぼ合意(これ以外の環境は不要との方向)

	モデル	環境	周波数
ブロードバンド	eMBB ①	屋内 (Indoor)	4GHz, 30GHz, 70GHz
	eMBB ②	超都市部 (Dense Urban)	4GHz, [30GHz]
	eMBB ③	地方 (Rural)	[700MHz, 4GHz]
多数同時接続	mMTC	都市部 (Urban Macro)	700MHz
低遅延・高信頼	URLLC	都市部 (Urban Macro)	4GHz

(出典) 情報通信審議会 新世代モバイル通信システム委員会 第1回会合資料

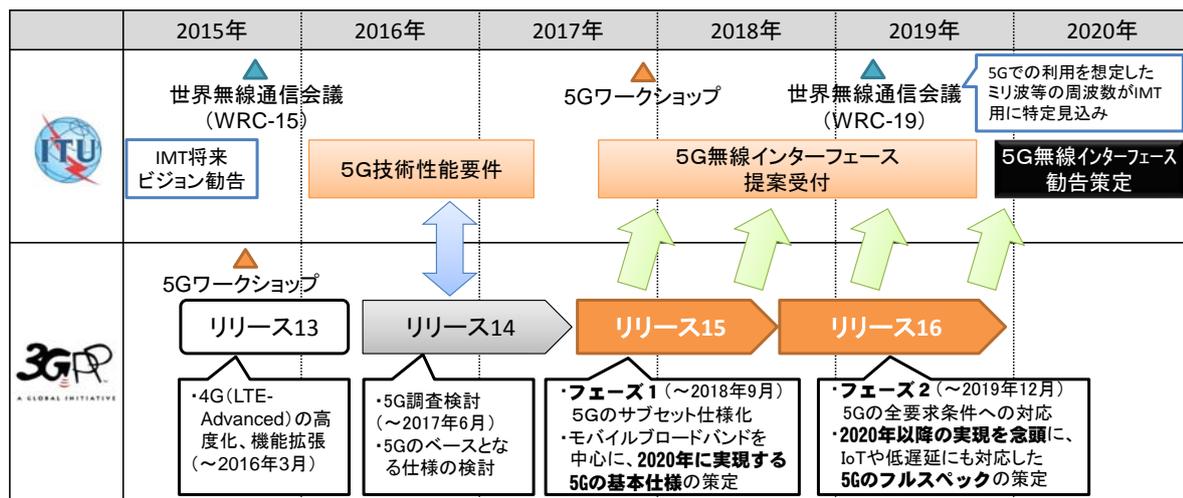
図3 ITUにおける5G実現に向けた検討状況②

また、移動通信システムの仕様を検討・標準化することを目的として日米欧中韓の標準化団体で構成される3GPPにおいても5Gの詳細仕様が検討されている。リリース14までに要求条件など5Gの基本調査を実施したうえで、2018年6月までにリリース15として同時多数接続を除く5Gの基本仕様を策定し、2019年中に策定されるリリース16では、2020年以降の実現を念頭に、IoTにも対応した5Gの全要求条件を定めることを予定している。なお、5Gの仕様策定はリリース17以降もさらに続いていく見込みである。

3GPPでは、リリース15でサポートされる無線インターフェースを全て5Gと定義している。その中には、新たに規定する5G NR (5G New Radio) 及びLTEのバージョンアップ仕様が含まれる。5G NRは前述のとおり2018年6月までに基本的な条件を固める予定だったが、各国の要望を受けて一部機能を半年前倒しで決定することとした。具体的には4Gから5Gへの円滑な移行に配慮することとし、5G導入当初はLTEのネットワーク(EPC: Enhanced Packet Core)の下で5G NRとLTEを組み合わせて運用するNSA (Non Stand Alone) モード及び低遅延をサポートする。NSAモードについては2017年中に基本的条件が決定される見込みである。これを踏まえてシグナリングフォーマット (ASN. 1) を2018年3月に定め、これをベースに実装が進められる。2019年中には実装端末が開発される見込みである。なお、リリース15では5G NRのみで運用するSA (Stand Alone) モードを含むeMBB (超広帯域ブロードバンド) 及び高信頼・低遅延の仕様を策定する予定だが、同時多数接続については含まれていない (図4)。

5Gの国際標準化動向

- 2020年の5G実現に向けて、ITU(国際電気通信連合)や3GPP※等において、標準化活動が本格化
 - ・ITU: 2015年9月、「IMTビジョン勧告(M. 2083)」を策定。2017～2019年、5G無線インターフェースの提案を受け。2020年5Gの無線インターフェース勧告化。
 - ・3GPP: リリース14から5Gの標準化作業が開始され、5Gの基礎的な調査を実施。続く、リリース15では5Gの基本仕様を策定。5Gの全要求条件に対応した仕様は、リリース16では完成する予定。
- ※3GPP(3rd Generation Partnership Project)とは、3G、4G等の仕様を検討・開発し、標準化することを目的とした標準化団体。日本、米国、欧州、中国、韓国の標準化団体によるパートナーシッププロジェクトであり、1998年設立。



(出典) 情報通信審議会 新世代モバイル通信システム委員会 第1回会合資料

図4 5Gの国際標準化動向

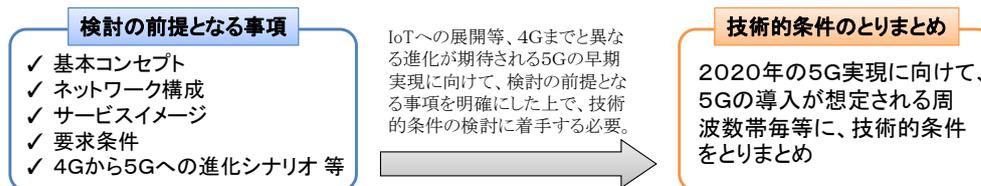
国内では情報通信審議会において、2020年の5G実現に向けた制度整備を行うため、新世代モバイル通信システムの技術的条件を取りまとめるための検討を2016年10月より開始した。5Gの基本コンセプト、ネットワーク構成、サービスイメージ、要求条件、4Gから5Gへの移行シナリオ等を明らかにしたうえで、5Gの導入が想定される周波数帯域毎に技術的条件を取りまとめることとしており、2017年5月に公表された5Gの基本コンセプトでは、5Gは超高速、多数同時接続、高信頼・低遅延の3つの要求条件に対応可能な優れた柔軟性を持つとしたうえで、①多種多様な周波数帯・無線アクセス技術から構成されるヘテロジニアスなネットワークとなること、②サービス形態としては、通信事業者等と様々なパートナー企業との異業種連携から個人・企業にサービスが提供されるB2B2Xモデルとなること、等が想定されている。今後は5Gの無線インターフェースに関する国際標準化動向を見極めつつ、周波数毎に割当時期を明記した周波数割当ロードマップの検討を進めることとしている(図5)。

情報通信審議会での検討状況

1 背景

- 2020年の実現を目標に、世界各国で研究開発や実証等の取り組みが活発に進められている第5世代移動通信システム(5G)は、「超高速」だけでなく、「多数同時接続」や「低遅延・高信頼」といった特徴を有する新世代のモバイル通信システム。
- 5Gの特徴を活かして、交通、スマートシティ、農林水産、医療などの分野での活用や新ビジネスの創出が期待されている。5Gを早期に実現することで、我が国企業の国際競争力強化や地域活性化等を図ることが必要。
- こうした状況を踏まえ、2020年の5G実現に向けた制度整備を行うため、新世代モバイル通信システム(2020年代の移動通信システム)の技術的条件をとりまとめるための検討を2016年10月より開始。

2 検討の方向性



3 検討スケジュール

	28年度	29年度	30年度	31年度	32年度
情報通信審議会	新世代モバイル通信システムの技術的条件検討				5G 実現
ITU 3GPP*	要求条件等の レポート作成	▲ 3GPP Rel 14 (5Gの調査検討)	無線インターフェースの提案募集 ▲ 3GPP Rel 15 (5Gの基本仕様)	▲ 3GPP Rel 16 (5Gの全体仕様)	

※3GPP(3rd Generation Partnership Project)とは、3G、4G等の仕様を検討・標準化することを目的に、1998年に設立された日米欧中韓の標準化団体からなるプロジェクト

(出典) 情報通信審議会 新世代モバイル通信システム委員会 第1回会合資料

図5 情報通信審議会での検討状況

2. IoTの動向

今後のネットワーク社会では、膨大な数の端末がネットワークに接続され、微小データから大容量動画まで多種多様なデータが伝送される。平成28年版情報通信白書によればこうしたデバイスの数は2020年には世界で300億個に達すると見込まれている。IoTサービスのカバレッジについても都市部を中心としつつ、人のいない僻地や海上、上空、宇宙にまで広がると考えられている。

総務省ではこれを踏まえ、海上のセンサ端末が電気通信事業者を介さずに衛星回線を用いて直接陸上へデータを配信することを可能とする内容の電波法改正案を、2017年2月に国会に提出した（同年4月成立、5月12日の公布後1年3月以内に施行される予定）。

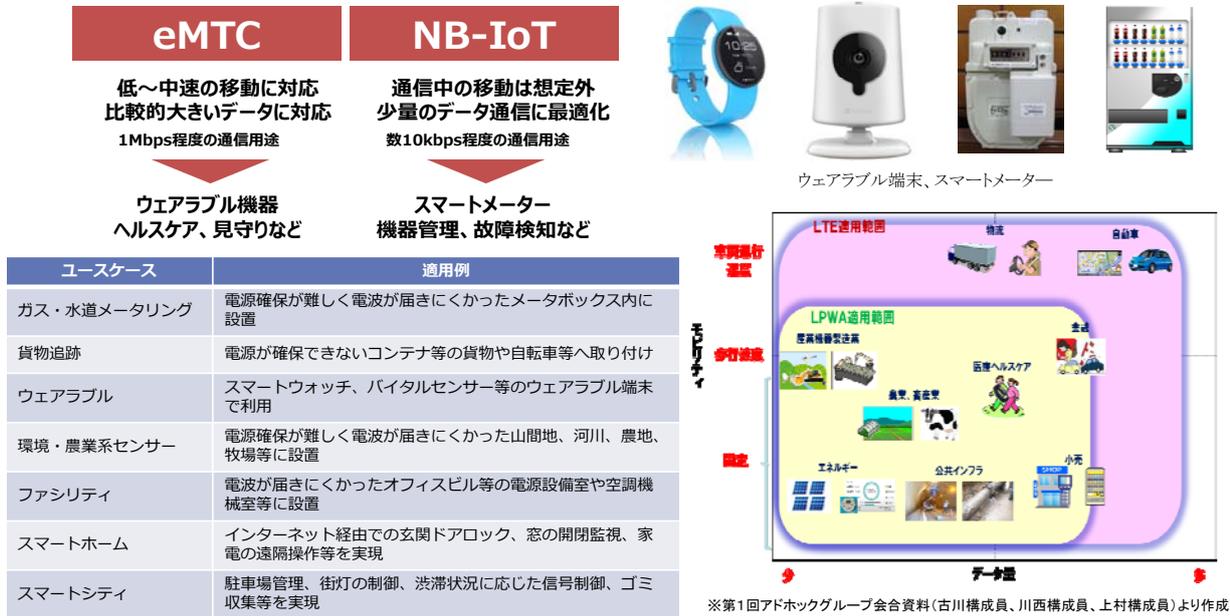
IoT時代においては、ごく微小なデータを数日おきにしか発信しない端末や、電力供給のない場所で動作し続ける端末の登場が想定される。そこで低消費電力（長寿命）で広いカバーエリアを持つ低コストの無線システム「LPWA（Low Power Wide Area）」として様々な規格が提案されている。

免許不要帯域を活用する非セルラー系の通信規格として、LoRaやSIGFOXの普及が始まっている。一方、セルラー接続型のLPWAとしては、3GPPで2016年6月に策定されたリリース13において、繰り返し送信や省電力モードの導入により低消費電力を実現したNB-IoT及びeMTCの標準化が完了しており、ベンダー等でサービス提供に向けた製品開発が進んでいる。これにより既存の携帯電話網を活用して面的なサービスエリアを確保し、膨大な数のセンサ、スマートメータ等のIoT端末を収容する。地上系システムでは、低速で移動する端末も想定し比較的伝送速度の速いeMTC（1Mbpsに対応）と、移動中の通信は想定せず通信速度も数十kbps程度だが建物内部などこれまで圏外だったエリアまでカバレッジを拡張したNB-IoTを応用分野に応じて活用することが想定されている（図6）。

こうした状況を踏まえ、国内では平成29年5月の情報通信審議会 情報通信技術分科会において、eMTC及びNB-IoTの通信方式等を盛り込んだLTE-Advanced及びBWA（広帯域移動無線アクセスシステム）の高度化に関する技術的条件がとりまとめられた。

eMTC/NB-IoTのサービスイメージ

- ✓ eMTC/NB-IoTは、ワイドエリア、低消費電力といった特徴を有する携帯電話をベースとしたIoT技術。電力、ガス、水道などのスマートメーター、各種センサー、機器の維持管理、物流といったM2M分野ほか、ウェアラブル、医療ヘルスケアといった分野での活用も期待。
- ✓ 比較的伝送速度の速いeMTCと数十kbps程度の通信速度のNB-IoTを応用分野に応じて活用。



(出典) 情報通信審議会 新世代モバイル通信システム委員会 第2回会合資料

図6 eMTC/NB-IoTのサービスイメージ

3. 衛星サイドの対応状況

5Gにおける衛星の果たすべき役割については、日本国内ではあまり議論が深まっていない状況にある。最近では2014年10月に電波産業会(ARIB)でまとめられたレポート「Mobile Communications Systems for 2020 and beyond」において、5Gを構成する無線アクセス技術の一つとして遠隔地向け及び自然災害時のために地上系と衛星システムとの連携が期待される、と触れられている程度である。

米国では、FCC(連邦通信委員会)が2014年10月に24GHz以上の周波数について5Gへの割り当て方針を提示した際に5Gでの衛星の役割が注目された。しかし米国衛星産業協会(SIA)は、5Gにおける衛星通信の役割について議論が必要としながらも、むしろ5Gによる衛星サービスへの影響の方により強い関心を示しており、衛星事業者の5Gへの理解は深まっていない模様である。なお、3GPPにおける議論には米国ではディッシュネットワークが参画する模様である。

EUでは、5Gのコンセプトや技術検討及び研究開発により域内産業の国際競争力を強化する官民共同研究プロジェクトとして5GPPPが活動している。5GPPPのサポート組織であり、EC(欧州委員会)の次世代通信技術に関する諮問機関として設置されたNetWorld2020において、傘下のSatCom WGが5Gにおける衛星の役割について2014年にレポートをまとめた。このレポート「The role of satellite in 5G」では、今後2020年に向けて地上系通信システムと衛星系通信システムの統合・相互互換性が高まり、衛星通信は5Gの機能の拡張に向けて、バックホールとしてだけでなくユーザへの直接アクセスの面でも寄与するとの見通しを示した。

レポートでは具体的なユースケースとして、①同報性を利用したマルチメディアコンテンツの配信、②遠隔地や海上、航空等も含めたあらゆる地域・端末への5Gサービスの連続的な(切れ目のない)提供、③過疎・遠隔地を含む広域に分散した低速度かつ多数のIoT端末からのデータ収集・制御、④ネットワーク制御信号のオフロード(通信内容をコントロールプレーン(制御信号)とユーザプレーン(ユーザ用データ)に分離してオフロードすることによる通信容量確保とエネルギー消費軽減)、⑤重要通信の確保(災害時や緊急時の公共安全用通信の確保)、を挙げている。

これに基づき衛星が5Gの展開において貢献できる重要分野を、①5Gネットワークのカバレッジ拡大、②低遅延や通信品質改善のためのネットワークエッジ(端末近辺の基地局にあるモバイルエッジサーバ等)までのマルチメディア配信、③衛星回線でバックホールやトラフィック制御を行うことによる地上系ネットワークのオフロード、④地上系と衛星系の統合によるネットワークの強靱化、⑤ソフトウェア技術によるネットワークの仮想化、⑥周波数の効率的利用、と整理している。なお、ここでのネットワークは小型端末による衛星との直接交信ではなく、端末情報を一旦基地局に集約して衛星回線で伝送する方式を想定している。

これらを踏まえた2020年までの技術ロードマップでは、2020年までに標準を策定して5Gネットワークへ衛星通信を統合する、そのためにETSI及び5GPPPが主導的な役割を果

たす、2020年度以降に試験運用を開始するとされている。2016年にSatCom WGの上部組織としてNetWorld2020が発表した5Gサービスの実現に向けた報告書「Strategic Research and Innovation Agenda」では、5G実現に向けた課題として次世代ネットワークへの衛星ネットワークの統合が明記されている。

欧州での検討の進展を受け、国際機関での議論も開始されている。ITU-Rにおいては、衛星業務を担当する研究委員会であるSG4の関連会合WP4B（2016年9月開催）において、「5G（IMT-2020）の衛星コンポーネント」としてブラジルから地上・衛星技術を統合した5Gの技術レポートの作成提案があり、作業文書M. [NGAT_SAT]としてITU-R報告化に向けた作業が始まっている。

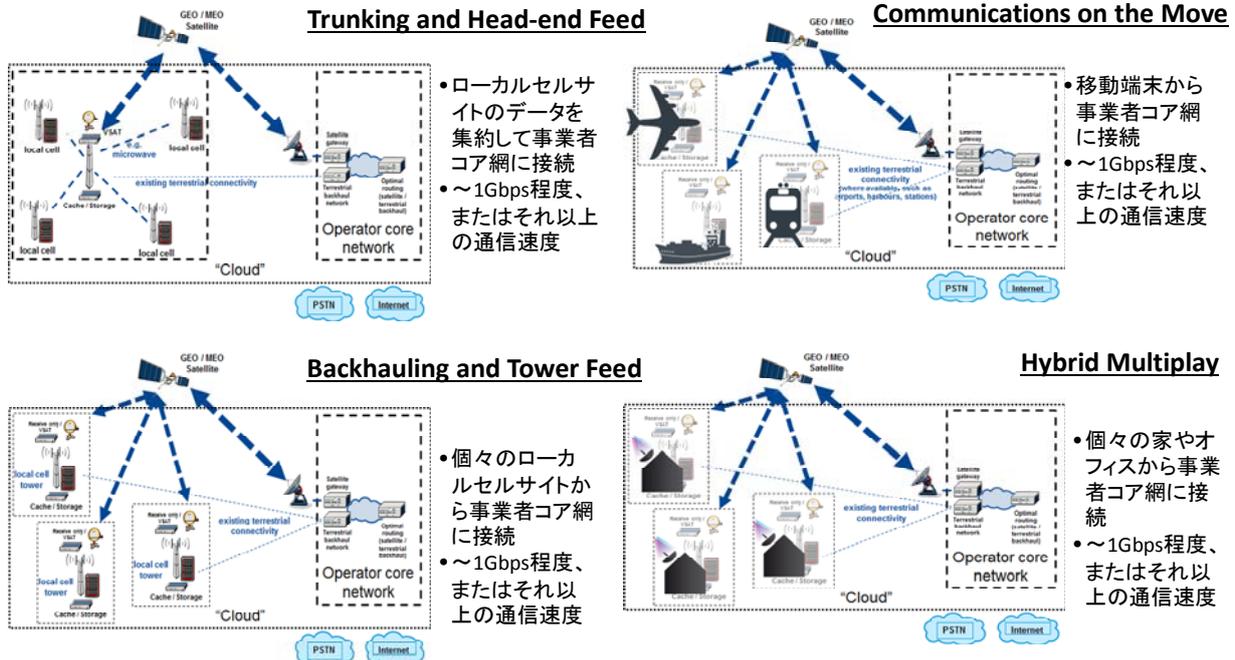
作業文書では、次世代アクセス技術（NGAT：5G）における衛星の利点として、端末近くの基地局サーバまで複数同時配信（マルチキャスト）することによる統計多重効果（伝送路の利用率向上）、都市部や地方又はビジネス向けや家庭向けを問わない広範囲に向けた一斉送受信の実現、地上系ネットワークより高い物理攻撃や自然災害への耐性を活かした重要通信の提供、を挙げている。また静止衛星は高速大容量、非静止衛星は全球での低遅延のサービスを活かして衛星ネットワークの次世代アクセス技術への統合による利益を享受するとしている。

具体的な衛星のユースケースとして、①基地局サーバとコアネットワーク間の中継、②地上系ネットワークのバックホール、③航空機や船舶等の移動通信端末との通信、④各家庭やオフィス向けの大容量マルチキャスト及びIoTデータの直接送受信、を挙げている。

作業文書の結論として、衛星は地上系ネットワークと統合され、5Gサービスを先進国だけでなく新興国も含めた全世界に一斉提供可能であり、これには静止衛星だけでなく非静止衛星も含まれるとした。その上で5Gにおける遅延も含めた衛星の仕様について標準化団体が検討すべきと提案している（図7）。

5G技術レポート作成に向けた作業文書

- 衛星のユースケースとして、以下の4ケースを提示。



出典) Annex 3 to Working Party 4B Chairman's Report, 3 October 2016

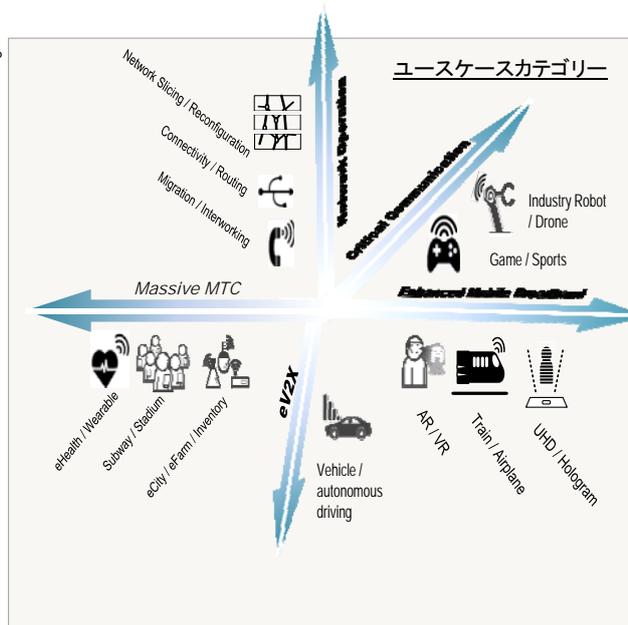
図7 5G技術レポート作成に向けた作業文書

またアジア・太平洋地域においては、地域内での各国の無線通信システムの調和や標準化を議論するAWG（アジア・太平洋電気通信共同体（APT）無線グループ）の2017年4月会合（AWG-21）の際、SES社（本社ルクセンブルク）から「衛星技術の5Gエコシステムへの統合」について提案がなされた。入力文書では衛星システムがマルチメディアトラフィック増加への対応、全世界的なカバレッジ、M2M通信や重要通信の分野で5Gの機能拡張に貢献できるとした。アジア・太平洋地域内で5Gアーキテクチャに衛星技術を統合するための主な要求条件を検討することは有益だとして、報告書をまとめるための検討を始めることを提案している。次回会合以降、早ければ2018年中の報告書とりまとめに向けて議論が行われる予定となっている。

3GPPでは、5Gの標準策定を本格的に検討する前のリリース14の段階で、サービス等を議論するグループTSG SAのSA WG1がレポートTR22.891を作成した。ここでは全74個のユースケースのうち衛星利用が望まれるケースとして、電波塔が設置できない地域（海上、山岳部等）や過疎地での利用、災害時や緊急時対応、バックアップ通信等を提示しており、全世界100%カバレッジを目標とした5Gのサービス要件実現に向けて期待されるとした。ここで想定されるサービス要件としては、地域カバレッジ100%、無線インターフェースの遅延275ミリ秒以内、陸上・衛星基盤ネットワーク間のシームレスな伝送等となっている（図8）。

TR 22.891 Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers

- 同文書は、5Gサービスシナリオのフィージビリティ・スタディ結果を整理。
- 5Gのユースケースを以下の5カテゴリーに分類。
 1. モバイルブロードバンドの向上
(Enhanced Mobile Broadband)
 2. 緊急通信
(Critical Communication)
 3. 大容量マシンタイプ通信
(Massive Machine Type Communication)
 4. ネットワークオペレーション
(Network Operation)
 5. 車載V2Xの向上
(Enhancement of Vehicle-to-Everything)
- 計74のユースケースについて、概要、想定されるサービス要件、想定される運用要件を提示。
 - 衛星を使用したユースケースは72番目のケースとして検討中。
 - 上記カテゴリーではモバイルブロードバンドの向上、および緊急通信と関連
- 最後に、全ユースケースをグルーピングし、グループごとの想定される要件を提案。



出典) TR 22.891 Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers

図 8 TR22. 891 Feasibility Study on New Service and Markets Technology Enablers

その後 2017 年 3 月のリリース 15 の検討開始に伴い、SA WG1 では 5G システムの標準的なサービス要件を示したレポート TR22. 261 を策定している。衛星システムについては 21 のサービス要件のうち「Multiple access technologies」の一つとされ、「5G システムは衛星アクセスを利用したサービスの提供が可能でなければならない」と述べているほか、具体的な基準値として遅延を（2つの端末間の片道通信で）280 ミリ秒以内と規定している（図 9）。

TR22.261 Service requirements for the 5G system

- 同文書は、第1版となる5Gシステムの標準的なサービス要件 (normative specification on “Service requirements for the 5G system”)を策定。
- 基本的なサービス要件を以下の項目で規定。

<ol style="list-style-type: none">1. Network slicing2. Diverse mobility management3. Multiple access technologies4. Resource efficiency5. Efficient user plane6. Efficient content delivery7. Priority, QoS, and policy control8. Dynamic policy control9. Connectivity model10. Network capability exposure11. Content aware network12. Self backhaul	<ol style="list-style-type: none">13. Flexible broadcast/ multicast service14. Subscription aspects15. Energy efficiency16. Markets requiring minimal service levels17. Extreme long range coverage in low density areas18. Multi-network connectivity and service delivery across operators19. 3GPP access network selection20. eV2X aspects21. 5G-RAN sharing
--	---
- 衛星通信については、上記の “Multiple access technology” のサービス要件の一つとして定められているが、「5Gシステムは衛星アクセスを利用したサービスの提供が可能でなければならない」と記載している他、具体的な基準値としては、遅延を280ms以内とすることのみを規定しているに留まる。
- なお、性能要件については、通信速度(data rate)、トラフィック密度(traffic density)、遅延率(latency)、信頼性 (reliability)、高性能ポジショニング精度について、利用シナリオ別に具体的な基準値を規定。

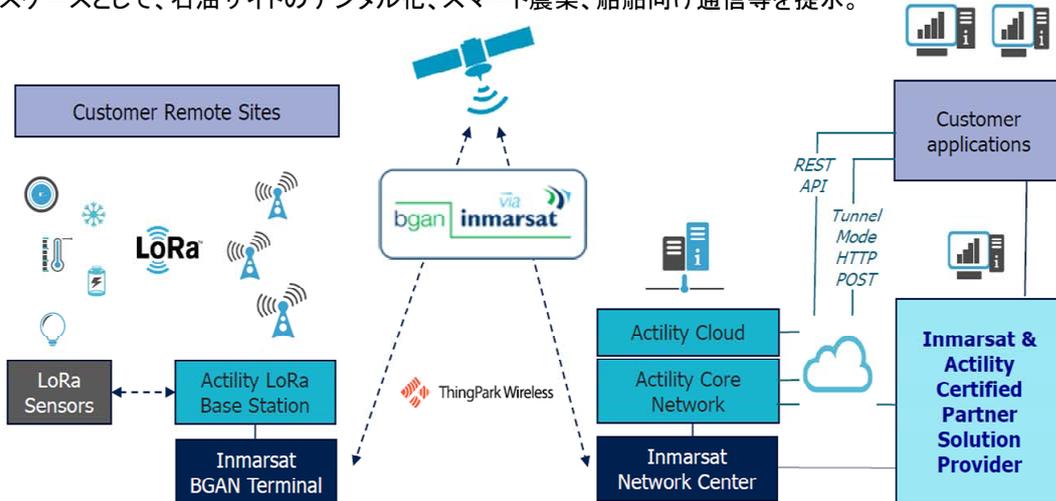
図9 TR22.261 Service requirements for the 5G system

2017年3月の3GPP会合においては、非地上系ネットワーク (Non-terrestrial networks) のうち衛星通信についても5G NRの検討項目としてサポートすることが合意された。サポート企業（寄書を提出した企業）は50社以上に上っている（日本企業は三菱電機のみ）。2017年第3四半期より検討を開始し、陸上移動通信向けに開発していた5G NRと衛星通信の共通化を図ることを目的としている。ただし、チャンネルモデルや普及シナリオ、システム要件やNRへの影響といった基本的な事項を整理して検討を進める必要があり、リリース16の開始までに対応できるかは不透明な状況にある。今後は具体的な寄書の提出を踏まえて検討が開始される。

なお、IoTに関しては、IoTやM2M等を実現するためのLPWA通信規格であるLoRaの標準化を推進する非営利団体LoRa Allianceに対し、2016年に衛星通信事業者としてInmarsat社とThuraya社が参加している。利用形態としては、センサ情報をLoRa基地局に集約した上で衛星端末からLoRaWANのコアネットワークまでを衛星回線で接続するものであり、主としてIoTのバックホールの位置づけである（図10）。

IoTにおける衛星利用（LoRaWANとの連携）

- LoRa Allianceは2015年に設立された非営利団体であり、IoT、M2M、スマートシティ及び産業アプリケーションを実現するLow Power Wide Area Networks (LPWAN)の規格の一つ「LoRaWAN」の標準化を推進。
- 衛星通信事業者としては、2016年2月にInmarsat、2016年11月にThurayaが参加。Inmarsatは、BGAN及びBGAN M2Mサービスについて、LoRaWANへの適用が認証。
- Inmarsatの提唱する衛星利用は下図の通り。センサ情報をLoRa基地局に集約した上で、BGAN端末から衛星経由でInmarsatネットワークに伝送し、LoRaWANのコアネットワークに接続。IoTバックホールの位置付け。主なユースケースとして、石油サイトのデジタル化、スマート農業、船舶向け通信等を提示。



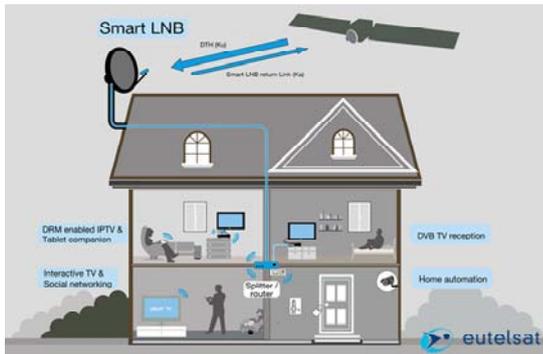
出典) Global IoT services with BGAN & Activity LPWA ThingPark Wireless, Inmarsat

図 10 IoTにおける衛星利用（LoRaWANとの連携）

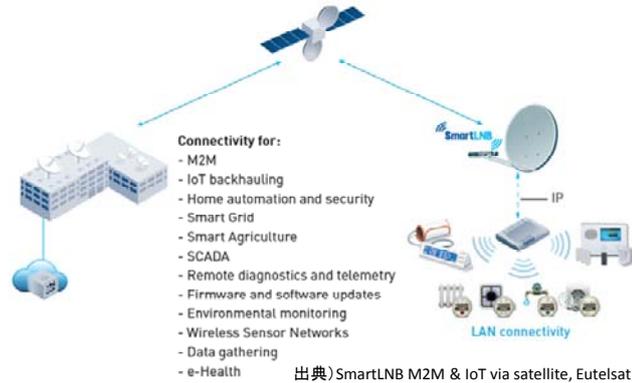
一方 Eutelsat 社は、衛星と端末の直接送受信を想定して、衛星放送の受信信号コンバータである LNB にリターンリンクの機能を追加して SmartLNB とし、衛星テレビ放送における双方向システムをベースとした低スループット・低消費電力の IoT/M2M ソリューションを提供している。SIGFOX や LoRa 等の LPWA ネットワークとの相互補完も想定しており、前者については SIGFOX 基地局のバックホールとして SIGFOX ネットワークへの SmartLNB の統合が 2015 年 9 月に発表された（図 11）。

IoTにおける衛星利用(SmartLNB)

- Eutelsatは、SmartLNBを用いた衛星テレビ放送(DTH)における双方向システムをベースに、低消費電力、低スループットのIoT/M2Mソリューションを提供。
- SmartLNBは、Ku帯のDTH受信アンテナとIDU及びODUで構成。LNB(低ノイズの受信信号コンバーター)にチューナーや復調器を埋め込み、リターンリンクを追加したもの。リターンリンク回線にはKu帯、Ka帯衛星を利用し、IP、UDP、TCP、DHCP等の各種の標準的なプロトコルに対応。通信速度は最大160kbps。SIGFOX、LoRa等のLPWAネットワークとの相互補完を想定。
- 2015年9月に、SIGFOXは自社ネットワークへのSmartLNBの統合を発表。具体的には、SIGFOX基地局のバックホールとして適用。低コスト、高い安定性、ユビキタス性、設置の迅速性等が評価。最初のターゲット市場は米国であり、Eutelsat 113 West Aを使用予定。
- ST MicroelectronicsとEutelsatは、SmartLNB向けの新たなSoC「STiD337」を開発。最大消費電力は3.5W以下、待機時消費電力は50mW。このチップを採用したSmartLNB端末は、2017年末までに市場展開予定。



出典)Eutelsatホームページ



出典)SmartLNB M2M & IoT via satellite, Eutelsat

図 11 IoTにおける衛星利用 (SmartLNB)

4. 分析：5G/IoT 時代における衛星の果たすべき役割

衛星通信は 5G/IoT 時代においても重要な役割を果たすと考えられる。特に IoT に関連して衛星にしかできない領域が今後増えてくるものと見込まれる。

主要なユースケースとしては次のようなものである。

① 僻地・島嶼部、海上、上空、宇宙でのブロードバンドサービスの提供

今後 5G ネットワークを全世界にあまねく普及させることを想定した場合、地上系のシステムでは物理的・コスト的にカバーすることが困難な遠隔地や海洋エリアについては衛星でカバーする必要がある。具体的には海洋域におけるアプリケーションとして、大型貨客船や海洋資源調査船向けのアップリンク側も含めたブロードバンド通信が注目されるほか、欧米で試験航行が開始された自律航行船の制御への活用も期待される。

同様に、航空機や宇宙空間等を移動する物体との通信についても、大容量を伝送する場合等は衛星回線を活用することが効率的と考えられる。具体的には航空機を対象としたアプリケーションとして搭乗客に対するブロードバンドサービス、宇宙分野については衛星リモートセンシングに係る高精細画像等の大容量データのダウンリンクとしての活用が見込まれる。

② 広域に分布した IoT 端末からのデータ収集

IoT 時代において端末からのデータを収集する際に、陸上、海上、上空、宇宙などに広域に分布した端末から効率的にデータを収集するために衛星の活用が想定される。

センサから収集されるデータは全てが常時収集・大容量であるとは限らず、数秒に 1 回や 1 日 1 回程度の頻度で簡単なデータを集めるだけで十分なものもあり、遅延時間が大きい衛星でも十分に役割を果たすことができる。具体的には航空機運用の効率化や安全性向上のためのモニタリング、無人航空機 (UAV) を用いたセンシング、船舶の運航データの収集、海洋環境調査や津波監視向けの海上センサからのデータ収集、及び小惑星の資源調査や深宇宙探査の際の交信といったケースで衛星の活用が期待される。ネットワークの形態としては、小電力センサの情報を基地局に一旦集約した上でコアネットワークまで衛星回線を利用するものと、小電力センサを含む全ての IoT 端末から基地局を介さずに直接衛星で収集するものの 2 通りが考えられ、特に後者については低軌道周回衛星が大きな役割を果たすと期待される。

③ 地上系ネットワークのバックホールその他の補完

5G では複数のネットワークが複合的・統合的に利用されることが想定され、その一員として地上系ネットワークを効率的に利用・制御するための衛星通信の利用が期待される。具体的には地上系の基地局とコアネットワークを中継するバックホール、ネットワーク効率化のための制御信号のオフロード等に衛星を活用することが想定される。

④ 災害時等における重要通信の確保

地震や台風、洪水等の自然災害発生時や大規模停電などの非常時に地上系ネットワークが一部麻痺等した場合において、役場や避難所及び病院等の公共通信の確保のほか、民間企業の BCP (事業継続計画) 対策に衛星回線の利用が想定される。

⑤ コンテンツのマルチキャスト配信

今後、ネットワークを流通する動画をはじめとする大容量データは更に増加すると見込まれており、ネットワークの効率利用の観点から、広域に向けた一斉同報通信が可能な衛星の特徴を活かし、ネットワークの末端のモバイルエッジサーバまでコンテンツをマルチキャスト配信するほか、混雑時間を避けて予め企業社屋のキャッシュサーバや各家庭のホームサーバにデータを直接配信するために衛星を活用することが想定される。

5. まとめ（衛星 5G の実現に向けて）

以上を踏まえ、5G/IoT 時代においても衛星がその役割を十全に発揮できるよう、今後、次の事項について検討する必要がある。

- 衛星ネットワークの 5G への統合も見据え、通信規格やデータフォーマット等に関して地上系ネットワークとの相互運用性確保について議論を進めること。
- 5G における衛星の技術要件を明確化するため、その前提となる衛星による 5G ユースケースの精緻化を図ること。
- 5G コミュニティにおいて衛星通信に関する議論が非常に少ないことを踏まえ、国内の 5GMF など 5G コミュニティに対し衛星サイドから積極的に働きかけ、5G コミュニティと衛星通信コミュニティが相互に情報交換を行い、ネットワーク全体のあり方について議論を深めること。
- 後述Ⅱ2.③のとおり、5G での衛星通信の利活用については技術的課題が多く、一方で 5G 関連の新たな技術の中には衛星通信に適用可能なものもあることから、2020 年からの 5G の実用化を見据え、5G 関連の衛星通信技術に係る研究開発を推進すること。
- 衛星 5G については国際機関でも検討が開始されており、我が国がこれに参加して主導的な役割を果たすための産官学の体制を構築すること。具体的には、ITU-R の SG4 WP4B など関連会合の開催前に我が国としての包括的な対応戦略を検討する会議を開催し、ITU-R、AWG、3GPP 等への専門家派遣・寄書提案を戦略的に行うこと。

第Ⅱ部 新たな衛星システムの発展と我が国に与える影響・課題

1. 新たな衛星システムの発展

① 概況

昨今の宇宙関連技術の発達と打ち上げコストの大幅な低廉化等を背景に、革新的な衛星システムの登場と同時に既存衛星システムの高度化が進んでいる。

静止衛星については、HTS（ハイスループットサテライト：高速大容量衛星）の開発とともに、これらを複数連携させる「衛星コンステレーション」が始まり、カバーエリアは従来の先進国だけでなくアフリカや南米に拡張され、ほぼ全世界を対象としたサービス提供（グローバルカバレッジ）が可能となりつつある。またこれまでのように陸上の固定端末向けサービスと船舶・航空機等の移動端末向けサービスを別の衛星システムが提供するのではなく、陸上・海上・航空を同時に、また固定サービスと移動サービスを一体として提供することが一般的になりつつある。衛星の設計容量としては最大で数百 Gbps から 1 Tbps、通信速度としては移動体向けに最大で数十 Mbps から数百 Mbps 程度、固定向けには最大で数百 Mbps から 1 Gbps 程度と見込まれている。

非静止衛星については、低軌道（LEO：高度約 2000km 以下）及び中軌道（MEO：高度約 2000km 超 約 36000km 未満）において数十機から数千機の衛星で構成される大規模なコンステレーションによる通信サービスが新たに複数計画されている。軌道面については赤道上加え、極軌道や傾斜軌道も計画されており、極域も含めた完全なグローバルカバレッジも可能である。高速サービスに加え、最小 20 ミリ秒程度の低遅延のサービス提供が期待される。これら新規衛星オペレータの参入に対抗して、既存の衛星オペレータも衛星を更新して高速大容量化・高品質化を進めている。

こうした動きを踏まえ、ITU-R では非静止衛星の国際調整ルールの強化が議論されている。2016 年 9 月の ITU-R SG4 関連会合では、WRC-15 の BR 局長報告にある「非静止衛星の使用開始」について議論が行われ、無線通信規則において非静止衛星の使用開始の定義がされていないことからペーパー衛星の増加につながることへの危惧が示されたほか、各国から当該検討に係る非静止衛星の対象業務を限定すべき等の提案がなされた結果、今後は WRC-19 に向けた検討課題として、当面固定衛星業務に絞って検討を進めるとしている（図 12）。

ITU-R SG4 関連会合（衛星業務）において、WRC-15 の BR 局長報告にある「非静止衛星の使用開始」について審議が行われた。

- 無線通信規則において、非静止衛星の使用開始の定義がされていないことから、ペーパー衛星の増加につながることを危惧。
 - 各国の提案
 - ・カナダ：検討の対象とする業務を限定。
 - ・米国：検討すべき事項（使用開始の時期、必要な衛星数及び軌道面、業務（固定衛星、移動衛星等）毎に業務開始の定義を変えるべきか等）の洗い出し。
 - ・フランス：非静止衛星の使用開始をマイルストーンに区切って定義。
- ⇒ 本会合：議論を分散させないように、まず固定衛星業務に絞って検討を行うことが合意され、各国意見を統合した作業文書を作成。

引き続き、WRC-19 に向けた検討課題とする。

図 12 非静止衛星の国際調整ルール強化

② Ka 帯等を用いた HTS（ハイスループットサテライト）の登場

地上系通信ネットワークの発展に伴い、船舶・航空機等の乗客の Wi-Fi 利用の拡大並びに途上国や新興国におけるデジタルディバイド解消に向けて、衛星通信の高速大容量サービスに対する需要が拡大しつつある。この動きは従来の固定通信と移動通信の垣根を超えて進行しており、例えば 2015 年 11 月に開催された国際電気通信連合世界無線通信会議（WRC-15）では、海上でのデジタルディバイド解消方策の一環として、固定衛星業務用衛星を利用した移動体向け衛星通信システムに新たな周波数が分配された。

こうした高速大容量の衛星通信システムについては、船舶や航空機に加え車両や鉄道等の陸上移動体での利用が想定されている。具体的には、①海上利用として、携帯電話等の電波が届かないエリアを航行する商船・漁船・客船等において、船舶から陸上への業務用データ（船舶情報、貨物情報等）及び気象・海象情報の伝送、乗客・船員向けのブロードバンド接続等が想定される。後者については乗員の娯楽や家族・友人とのコミュニケーション手段の提供という福利厚生面からの期待が大きい。また②航空機利用として、搭乗客が機内 Wi-Fi を介してインターネットに接続し、Web サイト・SNS の閲覧や映像・音楽の視聴等を行う機内インターネットサービスの提供が始まっている。このほか③開発中のフラットパネル型の衛星通信アンテナを利用し、走行中の自動車向けにデジタル地図情報等の大容量データの配信や車載ソフトウェアの無線によるアップデート（OTA (Over-The-Air) アップデート）を行うことが検討されている。この背景には、自動車は世界各国で同じモデルが販売されているため、通信方式が国ごとに異なっている地上系を利用するより衛星配信の方が現状では簡便という側面がある。

衛星の高速化ニーズを踏まえ、多数の集束ビームを用いることによって同一周波数を繰り返し使用し、スループットを大きく高める HTS（ハイスループットサテライト：高速大容量衛星）の開発が進んでおり、欧州を始め海外では既に複数の HTS が打ち上げられ、今後も次々に計画されている。日本国内では 2017 年 3 月の Ka 帯の移動体向け衛星ブロードバンドサービスに係る技術基準の策定及び同年夏頃の制度化を踏まえてサービス提供が予定されている。当面は Inmarsat 社の第五世代衛星であって Ka 帯を使用する静止衛星である Inmarsat-5（サービス名：Global Xpress (GX)）による高速サービスの提供が期待されている（図 13）。

インマルサットGXシステム

Inmarsat社では、Ka帯を使用した高速通信サービスであるGlobal Xpressを国外でサービスを開始している。

- 船舶向けには2016年3月より、「Fleet Xpress」としてサービスを開始。I-5衛星のKa帯リンクと、I-4衛星のL帯リンクとを組み合わせることで高い稼働率を確保。
- 航空機向けには、2017年5月より「GX Aviation」としてサービスを開始。

サービス名	航空機向け:GX Aviation / 船舶向けFleet Xpress
概要	船舶および航空機向けに、世界99.9%の稼働率を誇る高速衛星通信サービスを提供
通信速度	(上り)最大5Mbps (下り)最大50Mbps
利用衛星	I-5 F1/F2/F3 および予備機1機
地球局	(船舶向け) 60cmクラスアンテナ(国内メーカーでは、日本無線が製造) 100cmクラスアンテナ (航空機向け)188cm(l) x 112cm(w) x 36cm(h)(レドームサイズ)等
サービス地域	極地を除く全球

図 13 インマルサット GX システム

このほか日本国内でサービス提供する予定・可能性がある HTS としては、例えば国内オペレータのスカパーJSAT 社が関わる衛星 Horizons 3e 及び JCSAT-18 と、米国 ViaSat 社の ViaSat-3 衛星がある (図 14)。Horizons 3e 衛星はスカパーJSAT 社と Intelsat 社の共同所有衛星として、2018 年度下期の打上げを予定している。HTS システムを搭載しており、C 帯及び Ku 帯を利用して環太平洋地域をカバーし、航空機・船舶・自動車向け通信サービスプロバイダや携帯事業者 (バックホール回線提供) 等へのサービス提供を予定している。また Horizons 3e に続く HTS として、2019 年下期に JCSAT-18 衛星を打ち上げる予定であり、アジア・太平洋地域から極東ロシアまでをカバーし、Ku 帯及び Ka 帯を利用してモバイル、ブロードバンド、官公庁向けのサービスを提供することとしている。

一方 ViaSat 社は 1986 年から事業を展開している衛星オペレータであり、静止軌道に複数の Ka 帯を用いた HTS を計画・運用している。2015 年 11 月に発表された ViaSat-3 計画では、3 機の衛星コンステレーションによって極域を除く全球をカバーするとしている。端末通信速度として最大 1 Gbps を目指すほか、航空機向けに数百 Mbps のサービスも検討されている。2019 年から 2020 年に 2 機を打ち上げて米国、欧州、アフリカ及び中東をカバーし、3 機目がアジア・太平洋地域をカバーする予定である。

HTSの動向(日本国内でサービス提供が予定される主なもの)

事業者名	Inmarsat		Viasat	スカパーJSAT	
	Inmarsat-5	Inmarsat-6	Viasat-3	JCSAT-18	Horizons 3e
衛星名称	Inmarsat-5	Inmarsat-6	Viasat-3	JCSAT-18	Horizons 3e
衛星機数	4機(うち予備機1機)	3機以上	3機	1機	1機
カバレッジ	極域を除く全球	極域を除く全球	極域を除く全球	東アジア・東南アジア・極東ロシア及び北太平洋	アジア・オセアニア・北米西海岸及び太平洋
中継器容量	<Global> 6Gbps <High Capacity> 6Gbps	非公開	1 Tbps	非公開	非公開
ビーム	<Global> Ka: 89 <High Capacity> Ka: 6 走査ビーム	非公開	Ka: 1000以上	非公開	非公開
使用周波数	Ka帯	Ka帯/L帯	Ka帯	Ku帯/Ka帯	C帯/Ku帯
通信速度	航空機・船舶向け: D/L: 50Mbps U/L: 5Mbps	非公開	エンタープライズ向け: 1Gbps 航空機向け: 数100Mbps インターネット向け: 100Mbps	非公開	非公開
日本でのサービス展開予定	2017年	2021年以降 ※2020年から順次 打上げ予定	未定 ※2019-2020年に2機の打上 げを計画。アメリカ、欧州、ア フリカ、中東をカバー。 ※3機目はアジア・太平洋をカ バー予定。	2020年前半	2019前半

図 14 HTS の動向 (日本国内でサービス提供が予定される主なもの)

③ 小型衛星等による衛星コンステレーションの発達

通信衛星コンステレーションが近年次々と開発・計画されている背景には、衛星に関する技術革新及び衛星を取り巻く事業環境の変化が挙げられる。すなわち従来の衛星通信サービスは音声通話サービスが大半で、また顧客の多くが緊急時・災害時の利用を想定しており、洋上を航行する遠洋漁船等にはコスト面から普及が十分には進んでいなかった。衛星本体の製造や打上げに多額のコストを要したことから、静止軌道に大型衛星を打ち上げて陸域及び近海を1～数個のビームでカバーしてサービス提供するビジネスモデルが一般的であり、衛星を単体で運用していても特段問題は生じなかった。

昨今、国際化の進展で通信の相手方は全世界へと拡大し、また洋上船舶については衛星AIS、航空機についてはグローバルフライトトラッキングといった衛星を用いた航行位置等追跡システムの実用化がWRC-15で合意された。搭載機器の小型軽量化による超小型衛星の開発や衛星打上げコストの低廉化、さらに中・低軌道周回衛星による通信遅延の短縮(最小20ミリ秒程度)により、音声に加え映像その他のデータを、緊急時に加え平時にもビジネス用途の高信頼・ミッションクリティカルな通信サービスとして提供することが可能となった。こうした状況を受けて多数の衛星を一体的に運用して全世界に多様なサービスを包括的に提供する衛星システムが新たなビジネス分野として注目されたものと考えられる。

静止衛星でコンステレーションを構成する場合、赤道上空の静止軌道に同じ緯度間隔で複数の衛星を配置・連携させ、従来の先進国だけでなくアフリカや南米も含む、極域以外

のほぼ全世界を対象としたサービスを提供することが一般的である。

非静止衛星（周回衛星）については、中軌道（MEO）又は低軌道（LEO）に投入される多数の衛星でコンステレーションを構成する計画が複数検討されている（図 15、図 16）。中軌道では、既存の衛星オペレータや航空宇宙メーカーによる衛星コンステレーションが、楕円軌道のものも含めて計画されている。低軌道では、既存の衛星事業者に加えて新興オペレータによる計画が進んでおり、高度 1000 km 前後を数十機から最大数千機の衛星コンステレーションによってサービス提供することを予定している。極域も含む完全なグローバルカバレッジを実現するため、複数の極軌道や傾斜軌道にそれぞれ数機から数百機の周回衛星を配置したコンステレーションや、中軌道の周回衛星と静止衛星とのコンステレーションが検討されている。利用周波数については従来の L 帯、S 帯、C 帯に加え、Ku 帯や Ka 帯の使用が検討されており、将来的に V 帯を用いる計画もある。端末通信速度としては最大で数十 Mbps から 1 Gbps 程度で、静止軌道より低い高度を周回する特徴を活用した低遅延（低軌道で 20~30msec、中軌道で 150msec）の高速・高信頼サービスを提供する予定である。

なお、後述の 2. でヒアリングした衛星システム以外に日本国内でサービス提供する可能性がある衛星コンステレーションとしては、スペース X 社のメガコンステレーション（大規模な衛星コンステレーション）と、ボーイング社のメガコンステレーションがある。スペース X 社は 2002 年に設立されたベンチャー企業であり、再利用可能なロケット FALCON9 によって衛星の打上げコストを劇的に引き下げ、衛星市場を活性化させている。同社は 2015 年に FALCON9 ロケットを利用して低コストで 4425 機以上の小型衛星を連携させるメガコンステレーション計画を発表した。現在の計画では 2017 年下期及び 2018 年上期に試験衛星を打ち上げた上で、本格的な打上げ開始は 2019 年の予定としている。利用周波数は Ku 帯、Ka 帯を想定しているが、2016 年 11 月にこれとは別に V 帯を用いる別の計画も公表している（追加される衛星数は 7518 機）。また、米国の大手航空宇宙メーカーであるボーイング社も複数の衛星コンステレーション計画を発表しており、最初に V 帯の周波数を用いて傾斜角 45 度の計 35 軌道、傾斜角 55 度の計 18 軌道及び傾斜角 88 度の計 21 軌道に総計 2956 機の衛星を打ち上げる計画を 2016 年 6 月に FCC に提出した。その後 Ka 帯を用いて傾斜角約 40 度に計 60 機の衛星を配置したコンステレーション計画も同年 11 月に提出している。後者については楕円軌道により北半球を中心に 3 つの独立したコンステレーションを構築することが特徴的である。

中軌道衛星コンステレーションの動向

※高度約2,000km～約36,000km

事業者名	O3b	ViaSat	Boeing (Ka帯)
衛星機数	O3bN ¹ : 24機、O3bI ² : 12機	24機	3コンステレーション、計60機
軌道高度	O3bN: 約8,400km O3bI: 約8062km	約8200km	27,355 -4,422km ※楕円軌道
製造者	Thales Alenia Space	N/A	Boeing
利用周波数帯	Ka帯	Ka帯 V帯	Ka帯
レイテンシ	150ms以下	150ms	N/A
スループット	1.6Gbps per beam/ 84Gbps per 8 satellite	N/A	N/A
通信速度	バックホール向け: 1Gbps 船舶向け: 350Mbps	N/A	D/L: 最低25Mbps U/L: 最低3Mbps
日本でのサービス展開予定	未定 ※O3bNによるサービスは日本国外において提供中	未定	未定

1. 赤道上の周回軌道を利用したMEO衛星コンステレーション
2. 軌道傾斜角76度の2つの軌道を利用したMEO衛星コンステレーション

図 15 中軌道静止衛星コンステレーションの動向

低軌道衛星コンステレーションの動向

※高度約2,000km以下

事業者名	OneWeb	SpaceX	LeoSat	Iridium (Iridium-Next)	Boeing (V帯)
衛星機数	882機	4425機以上	120-140機	66機	1396-2956機
軌道高度	約1200km	約 1110km ~ 約1325km	約1400km	約780km	軌道により異なるが、約1200kmまたは約1000km
製造者	Airbus Defence & Space	SpaceX	Thales Alenia Space	Thales Alenia Space	Boeing
利用周波数帯	Ku帯 Ka帯	Ku帯 Ka帯 ※この他に、V帯を利用する計画あり	Ka帯	L帯 Ka帯	V帯
レイテンシ	30ms以下	25-35ms	20ms以下	N/A	N/A
スループット	7.5 Gbps per satellite	17-23 Gbps per satellite	1.6 Gbps per link	N/A	N/A
通信速度	D/L: 50Mbps U/L: 25Mbps	1 Gbps per user	1.2 Gbps	D/L: 最大1.5Mbps U/L: 最大512kbps	D/L: 最低25Mbps U/L: 最低3Mbps
日本でのサービス展開予定	未定 ※当該衛星システムのサービス開始は2020年頃を計画	未定 ※衛星の本格打上げ開始は2019年を予定	未定 ※当該衛星システムのサービス開始は2020年頃を計画	未定 ※衛星は2018年にリプレイス配備完了予定	未定

図 16 低軌道衛星コンステレーションの動向

2. 日本でのサービス開始が予定される衛星システムの仕様・実施時期、技術開発動向

2017年3月から5月にかけて、当作業班において、日本でのサービス提供を視野に検討が行われている衛星システムについて非公開でヒアリングを実施した。概要については次のとおりである。

①既存衛星システムの高度化

○イリジウムネクスト

イリジウム社は本社を米国に置き、現在は6つの低軌道に66機の衛星を配置し、L帯での音声・データサービスを極域を含む全世界で提供している。2016年末の契約端末台数は世界85万2千台となっている。うち40%がIoT端末、40%弱が音声電話端末、20%が海上通信端末で、残りは航空通信用途となっている。国内では利用周波数はL帯域の1621.35MHz～1626.5MHzとなっているが、海外では利用周波数帯が拡張され、1618.25MHz～1626.5MHzで運用されている。

2017年1月からプロジェクト名イリジウムネクストとして3000億円をかけて既存システムの高度化に取り組んでおり、FALCON9ロケットを利用して2018年前半に全ての衛星を更新する予定である（75機打ち上げ、うち9機が軌道上予備、その他6機が地上予備）。高度化にあたり、現行サービスに加えて高品質の音声通話のほか低遅延のデータ収集サービス、及び通信速度最大1.4Mbpsのブロードバンドサービス等を提供するとしている。また、衛星には通信目的以外のペイロードも搭載可能であり、ADS-B（航空機の位置情報発信システム）を用いた衛星による航空機のグローバルな航路追跡サービスも提供予定である。一部サービス（通信速度350Kbpsのサータス350）については、航空・海上利用を対象として2017年第4四半期の開始を希望している。

次世代のイリジウムの無線通信端末については現行の無線設備規則に細則を定める必要がある。また既存システムについても航空機の管制通信へのイリジウム衛星導入が世界的な流れであり、利用周波数帯の国際共通化も含めて我が国も早急にこれに対応する必要がある。※2017年3月の作業班第2回会合での議論を踏まえ、総務省は現行システム下でのイリジウムの航空管制通信利用に向けた制度整備に着手した。2017年夏頃までに完了予定である。

○N-STARシステムの高度化

N-STARシステムは1996年より20年以上移動衛星通信サービスを提供しており、現在は2010年度開始の第2世代サービスを提供している。海上及び陸上での平時の通信手段としての利用に加え、2011年の東日本大震災以降、災害に強いという衛星通信システムの特徴を踏まえた非常時の重要な通信手段としても注目されている。日本全土及び日本近海を4ビームでカバーしており、2.6GHz帯をサービスリンクとして高品質の音声通話、データ通信、FAXサービス等を提供している。

ここで、今後の移動衛星通信システムの仕様に関しては、将来の広域・大規模災害を想定して現行システムを上回る容量へ拡大を図るべきとの提言（大規模災害時の非常用通信

手段の在り方に関する研究会報告書)があるほか、地上系移動通信システムの周波数枯渇が課題となっていること等を踏まえて、2016年7月の電波政策2020懇談会報告書では2.6GHz帯の次期移動衛星通信システムの検討の際には地上系モバイルシステムとの共用検討が望ましいと提言されている。

これらを踏まえ、N-STARの後継システムの要求条件としては、①現行サービス利用者が同様なサービスを引き続き利用可能であること、②音声通信を主軸とし、高速データ通信需要にも十分対応できる通信性能を確保すること、③大型アンテナによる小径マルチビームを用いたシステム高性能化を行い、端末を小型軽量化して可搬性を向上するとともに、周波数リソースを柔軟かつ効率的に運用できる仕組みを導入すること、④将来の大規模災害時に対応できるよう、システム通信容量を拡大すること、とされている。

2019年の後継衛星の打ち上げを予定しており、マルチビーム構成による平時における地上系システムとの周波数共用や、国際標準方式(ETSI GMR-2)による現行システムの5倍から6倍の最大伝送速度・通信容量を見込むほか、将来の災害時トラフィックへの対応のためサービスリンクの利用帯域幅の拡張を目指している。

利用周波数帯の拡大を伴うN-STARの高度化については隣接帯域への干渉検討といった技術的検討が必要であり、今後の情報通信審議会での検討の円滑化の観点から、今年度中を目途に地上系との共用について技術的検討を進めたいとあって、情報通信審議会での議論を来年度当初頃から開始する必要がある。

②新たな衛星システムの参入

○OneWeb

OneWeb社は2012年に設立された新興の衛星オペレータであり、高度1200kmの(極軌道に近い)傾斜軌道に最大882機の小型周回衛星を18面に展開し、高速インターネット接続サービス等の提供を計画している。サービスリンクにはKu帯、フィーダリンクにはKa帯を検討しており、衛星間の通信は行わず、ゲートウェイ地球局を日本も含め世界に40局以上設置することとしている。サービス内容としては一般家庭向けブロードバンドサービス、携帯電話のバックホール、航空機・船舶等の移動体向け通信、専用線サービス等を想定している。今後衛星の打ち上げを2018年より開始し、2020年に日本や欧米の一部地域でのサービス提供、2022年のグローバルカバレッジ完成を予定している(図17)。

なお、OneWeb社は自らの非静止衛星が静止衛星の電波に干渉することを防止するため、自社の衛星が赤道付近で静止衛星の覆域を通過する際には電波を停止し、低緯度向けには高緯度付近の衛星から放射軸を傾けて電波を発射することでカバレッジも確保する衛星制御技術(Progressive Pitch)を採用するとしている。

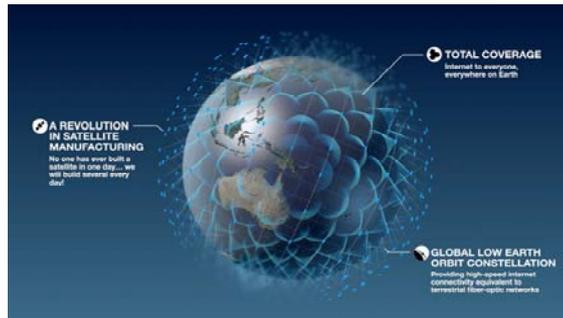
OneWeb社:サービス概要、衛星システム概要

- 2012年にWorldVu Satelliteという名で創業し、2015年に現在の社名に変更した米国企業。
- 提供予定サービスとしては、地方向け・鉄道向け・海上向け・航空機向けブロードバンド通信、公共保安および災害救難通信、緊急車両用衛星通信、セルラーバックホール通信等が計画されている。
- 当初予定としては、計648の衛星(18軌道にそれぞれ36衛星)で構成される低軌道衛星(LEO)コンステレーションが計画された。初の打ち上げは2018年に、サービス開始は2020年に予定されている。
- 現在ITUには、1つの衛星通信網が申請されており、国際調整段階にある。FCCには2016年4月に720衛星の利用を申請済み。

OneWeb LEO衛星コンステレーションの詳細

衛星機数	882機
軌道高度	約1200km
製造業者	Airbus Defence & Space
利用周波数帯	FCC申請済み: 10.7-12.7 GHz (サービスリンク D/L), 14.0-14.5 GHz (サービスリンク U/P), 17.8-18.6 GHz/ 18.8-19.3 GHz (フィーダリンク D/L), 27.5-29.1 GHz/ 29.5-30.0 GHz (フィーダリンク U/L) 注)以下の周波数帯は米国以外で利用予定 19.7 - 20.2 GHz (フィーダリンク D/L) 12.75 - 13.25 GHz (サービスリンク U/P)
レイテンシ	30ms以下
スループット	7.5 Gbps per satellite
通信速度	D/L: 50Mbps U/L: 25Mbps

OneWeb LEO衛星コンステレーションのイメージ



出典) Airbus社Web

図 17 OneWeb 社 : サービス概要、衛星システム概要

○LeoSat

LeoSat 社は SES 社等で衛星ビジネスに携わった経営陣により 2013 年に設立された衛星オペレータであり、高度 1400 km の極軌道の 6 軌道面に最大 108 機の小型衛星によるコンステレーションを計画している。衛星と地上間には Ka 帯を、衛星間は光レーザー通信を使用し、地上のゲートウェイを介さないポイント・ツー・ポイントのグローバルネットワークを構築することにより、高速(端末速度 1Gbps 程度)に加えて低遅延(19 ミリ秒)・高セキュリティをセールスポイントにした衛星通信サービスを提供する予定である。対象市場としてはメディア、船舶、採掘現場など幅広く想定される一方、取引相手としては世界の主要取引市場を結ぶ金融高速取引など、長距離・低遅延の専用線サービスを必要とする企業・政府等の B2B サービスに特化すると見込まれる。2019 年にデモ機を打ち上げて試験サービスを開始するとともに、2021 年には実用衛星打ち上げにより拠点間の中継サービスを開始し、2022 年に全世界でフルサービスを開始することとしている(図 18)。

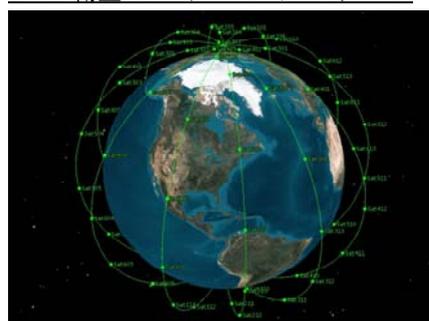
LeoSat社:サービス概要、衛星システム概要

- LeoSat社は2013年に創業され、本社を米国に置く。同社のCEOは、SESのCFOとO3bのCEOも務めた人物。
- LeoSat社は6軌道、120から140機の衛星からなる低軌道コンステレーションの構築を計画。
- 提供予定サービスとしては、主に石油・天然ガス産業、海運企業、金融企業、映像配信、バックホール通信、政府向けに、大容量の衛星通信サービスを提供することを想定。
- 具体的なGEOネットワークとの連携計画はないが、LEO/GEO間の衛星通信の可能性は検討されている。
- ITUへは、フランス政府を通じてMCSAT-2 LEO-2の名で申請しており、現在国際調整段階にある。
- 2021年に打上げを開始し、2022年には全世界でのサービス提供を予定。

LeoSat衛星コンステレーションの詳細

衛星機数	120~140機
軌道高度	約1400km
製造業者	Thales Alenia Space
利用周波数帯	FCC申請済み: 17.8-18.3 GHz(S&G D/L), 18.3-18.6 GHz(S&G D/L), 18.8-19.3 GHz(S&G, TT&C D/L), 19.3-19.7 GHz(S&G D/L), 19.7-20.2 GHz(S&G D/L), 27.5-28.35 GHz(S&G U/L), 28.35-28.6 GHz(S&G U/L), 28.6-29.1 GHz(S&G, TT&C U/L), 29.5-30.0 GHz(S&G U/L) ※その他、光衛星間通信あり
レイテンシ	≤20 ms
スループット	1.6 Gbps per link
通信速度	1.2 Gbps

LeoSat衛星コンステレーションのイメージ



出典) FCC申請書類 "Technical Annex"

図 18 LeoSat 社 : サービス概要、衛星システム概要

③ 技術開発動向

5G/IoT 時代において、衛星通信システムが 5G ネットワークとの関わりを強めていくためには、様々な技術的課題がある。例えば、分散されたセンサからの IoT データの収集にあたっては、センサの電力リソースが乏しいことから、衛星局の受信感度向上と広域カバレッジを両立させるアップリンク収容技術が必要である。また、海域や空域における小型移動端末と衛星間のブロードバンド通信技術、今後普及が想定される無人航空機との衛星通信に係る高周波数帯域での共用技術やアンテナの小型軽量化技術も課題である。このほか高精度リモセンデータの大容量伝送については深宇宙探査での遠距離通信の観点も含めて光通信技術が検討されている。さらに 5G 技術の衛星分野への活用として、モバイルフェムトセルの船舶・航空通信への応用や、マッシュ MIMO 技術の衛星搭載アンテナへの応用が期待されている。将来的には、精密なタイミング制御が不要であって広域をカバーする衛星通信でも緩やかな同期条件で多元接続を可能とする NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) や FBMC (Filter Bank Multicarrier) 等の衛星への導入も見込まれる。

こうした状況を踏まえ、一部の技術課題について国内では例えば以下の研究開発が進みつつある。

○技術試験衛星 9 号機

技術試験衛星 9 号機は、2021 年の打上げを目指し、高速大容量通信や通信のフレキシブル化を実現する通信ミッション技術及び光フィーダリンク技術と、それらの通信ペイロードを搭載・運用できる衛星バスを実現する技術の研究開発を推進している。具体的には、

限りある衛星の通信リソースの効率利用の観点から、トラフィックの変化に合わせて柔軟に利用周波数帯域幅を変化させるデジタルチャネライザ技術の開発、高精度かつ高密度に衛星からのビームを集約・安定させて1ユーザあたり100Mbps程度のブロードバンドサービスの提供を可能とするマルチビーム技術、衛星ビームの照射地域を柔軟に変更可能とするデジタルビームフォーミング技術、更に将来のKa帯の逼迫に備えた衛星・地上間での10Gbpsクラスの光ファイダリンクを実現するための光通信技術等の研究開発を実施している（図19）。

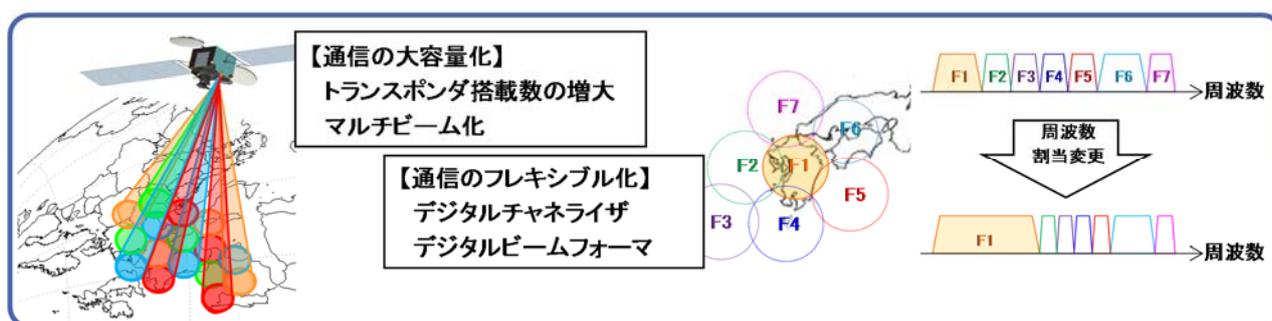


図19 通信容量の大容量化とフレキシブル化

衛星バスに関しては、ブロードバンド環境の世界的な普及拡大を背景とした通信容量の大容量化と通信のフレキシブル化に伴って供給電力は増大の傾向にある。その結果、衛星バスが大型化・重量化することによりコストが増大することが想定されるため、衛星バスには打上げから運用に至るライフサイクルコストの低減に寄与する技術が求められている。このため、2020年代において国際競争力を有する衛星システムの実現に必要な下記の衛星バス技術開発を技術試験衛星9号機において実施している。

- トランスポンダ 120 本級（予備を含む）の搭載を可能とする全電化衛星^(※)システム
- 発生電力 25kW
- 打上質量 5 トン級
- 10kW の排熱能力

(※) 全電化衛星：従来は静止軌道への軌道遷移及び静止軌道上での軌道制御に化学推進を用いていたが、これらに電気推進を用いる衛星。推進質量を大幅に低減できるため、ペイロード搭載質量の向上が可能となる。

打上げ質量を5トン級とすることで、H3、Falcon9、Ariane6といった世界の低コストなロケットに対応可能であり、ライフサイクルコストの増加を抑えつつ、ペイロード搭載能力を強化したシステムを実現する（図20）。更に衛星運用に係るコストを削減するため、静止GPS受信機により自律的な軌道制御による運用の自動化を図る技術開発を実施している。

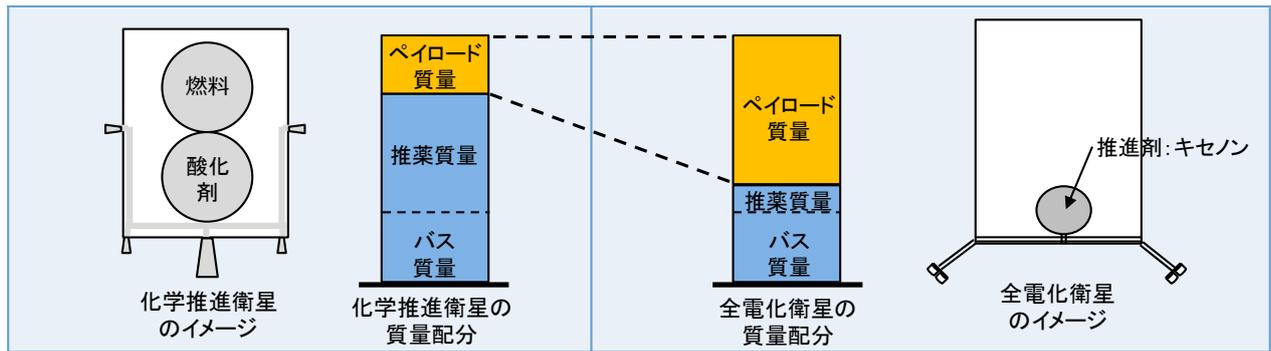
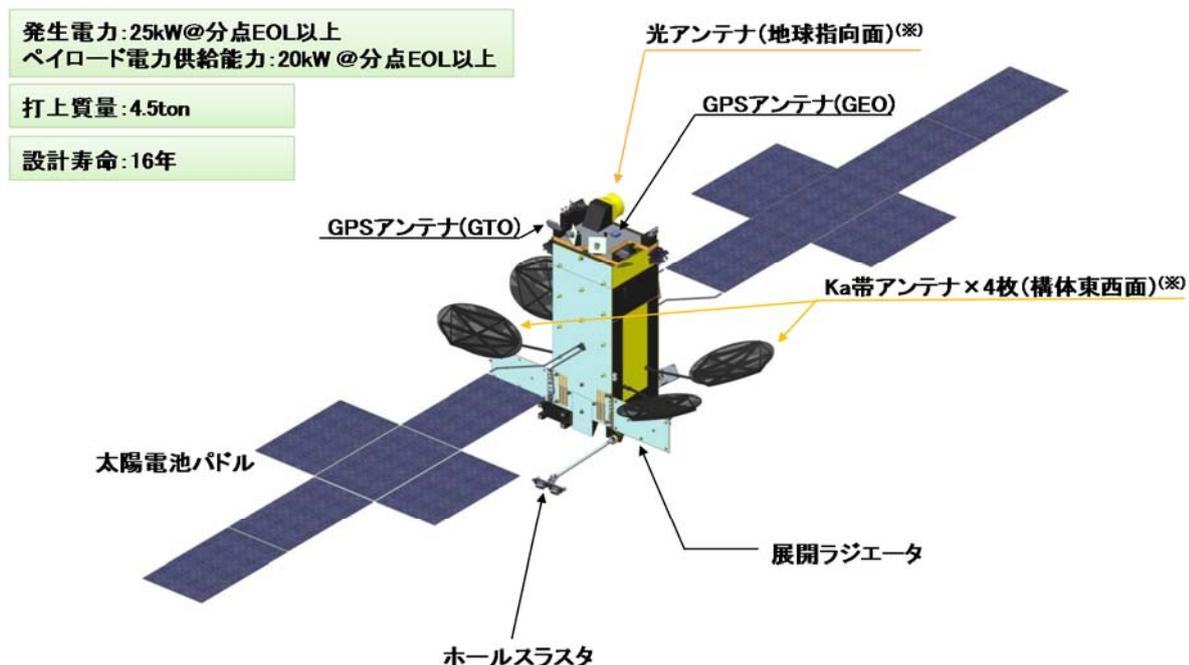


図 20 全電化衛星によるペイロード搭載質量向上



注: (※) 通信ペイロード機器(「次期技術試験衛星に関する検討会報告書」(平成28年版)より)

図 21 技術試験衛星 9 号機概観図

○超小型衛星と IoT 端末との直接通信 (store and forward ミッション)

衛星による IoT サービス提供を推進する観点から、海や陸上の小型送信機から衛星に向けてセンサ情報を送信し、超小型衛星によるデータ収集を行うシステムの研究開発が行われている。これは水位・水質情報、生物の行動追跡情報、ガスメータ等からの情報モニタリングなど即時性や緊急性が求められない、低ビットレートの M2M 通信に適しており、民生品の活用によって低消費電力かつ低コストで伝送することを目指している。

地上端末からは LPWA の通信規格である LoRa を用いて 920MHz の免許不要の特定小電力無線局で送受信を行うものであり、電波暗室での試験では理論上約 2100 km までの通信が可能との結果を得ており、低軌道衛星との通信も可能と見込まれる (通信速度 293bps。地上でのフィールド実験では同ビットレートにおいて 100 km の通信が可能であることを確認済)。2017 年度中に TRICOM-1R 衛星として打ち上げ予定である。

3. 分析：技術革新等による通信衛星システムの変革

今後の衛星システムは、地上システムの補完としての役割を果たすだけでなく、陸上と海上又は固定と移動といった区分を意識しない、緊急時に備えた強靱性を持つとともに、平時から低遅延で高信頼のサービスを、国境を越え広域にわたり高速大容量で提供できる包括的・総合的な通信システムへと進化すると見込まれる。特に留意すべき事項は次のとおりである。

(1) 静止衛星と非静止（周回）衛星とのシステム／オペレータの合従連衡

欧州の衛星オペレータを中心に、広範囲に高速大容量サービスを提供する静止衛星と、地球全域に低遅延のサービスを提供可能な非静止衛星とが、それぞれの特徴を活かして連携する動きが進んでいる。

先駆けとなったのは、世界最大の静止衛星オペレータである SES 社（ルクセンブルク）が、小会社となった O3b 社と共同で提供を開始した、通信速度 1Gbps、アベイラビリティ（稼働率）99.5%の通信サービス「ENTERPRISE+」である。O3b 社は元々赤道上空の中軌道に 12 機の衛星を打ち上げ、低緯度の発展途上国で低価格のインターネット接続サービスを提供するためのバックホールサービスを実施する衛星オペレータで、2016 年 8 月に SES 社に買収された。SES 社の静止衛星と O3b 社の非静止衛星の両方のネットワークを活用し、企業や公的機関向けにブロードバンド通信、バックホールサービス、移動通信、特定地点間の固定中継、非常時の重要通信、航空海上通信といったサービスを包括的に提供している。

このほか、以下の衛星事業者についても連携して同様のサービスを提供する構想があり、これらに対抗する観点から今後は衛星オペレータ同士の合従連衡が世界的に進むものと見込まれる。

① OneWeb と Intelsat の連携構想

OneWeb 社は新興の衛星オペレータであり、Ku 帯をサービスリンクとして 18 の軌道に最大 882 機の低軌道周回衛星による高速インターネット接続サービス等の提供を計画している。OneWeb 社は今後、既存の静止衛星オペレータである Intelsat 社と協業し、共に Ku 帯を用いる Intelsat 衛星ネットワークとの連携により、極域を含む全世界でサービス提供することを目指している。OneWeb 社による日本のサービス開始は 2020 年を予定している。

② LeoSat とスカパーJSAT

LeoSat 社は 2013 年に創業し、6 つの軌道に最大 108 機の低軌道周回衛星によるコンステレーションの構築を計画している。Ka 帯を用いて端末速度最大 1.2Gbps という高速大容量の衛星通信サービスを提供する予定である。2017 年 5 月に日本の衛星オペレータであるスカパーJSAT 社が LeoSat 社と戦略的パートナーシップの締結及び出資について合意した。両社は今後、低遅延・高セキュリティ通信サービスの事業立ち上げを共同で行うこととしている。

③ ViaSat の ME0-to-GSO システム

ViaSat 社は 1986 年から事業を展開している衛星オペレータであり、静止軌道に Ka 帯を用いた複数の HTS を計画・運用している。2016 年 11 月に 3 つの傾斜軌道（傾斜角 87 度）に総計 24 機の周回衛星で構成されるコンステレーション計画を FCC に提出した。Ka 帯に加え V 帯という非常に高い周波数帯域を用いて全世界での低遅延サービス展開を計画している。Ka 帯を用いる HTS である静止衛星 ViaSat-3 との連携構想があり、非静止衛星を静止衛星の中継器として機能させることが計画されている。

(2) 小型・低消費電力端末を活かした衛星 IoT など新たな衛星通信サービスの登場

衛星通信技術の発達により、これまで想定されなかった新しいサービスの提供が可能となりつつある。例えば衛星を用いた IoT サービスとして、欧州では LPWA (LoRa 又は SIGFOX) を利用して広域に分散した端末から基地局に情報を集約し、コアネットワークまでを衛星回線で接続する形態の、バックホールとしての活用が想定されている。ただ衛星による LPWA のバックホールサービスの市場規模は 2025 年時点でも世界全体で 500 万ドル程度に留まると予想されている（※米調査会社 NSR 社調べ）。これはバックホール用の基地局の整備・システム構築費用がかさみ通信コストが高止まりするためと考えられ、IoT サービスをあまり普及させるにはなお十分ではない。

そのため今後、通信コストを削減して新たな IoT 市場を開拓する観点から、基地局を介さずにセンサから衛星まで直接通信することへのニーズが高まると想定される。免許不要の低電力端末による衛星との直接通信については、地上の他の端末（スマートメータや HEMS 等）との関係も含め、なお検証が必要であるが、現在国内外で実験衛星による実証が計画されており、その結果を踏まえて今後、LPWA の衛星通信への直接利用についても、国際的な議論になる可能性がある。

また、低軌道周回衛星による低遅延・セキュアなグローバルネットワークサービスにも大きな成長可能性がある。低軌道衛星は、拠点間をポイント・ツー・ポイントで直接結ぶことが可能であり、その伝播速度（光の伝播速度：秒速約 30 万 km）は光ファイバ（石英ガラス中を屈折して進むため秒速約 20 万 km）を上回ることから、計算上は数千 km 以上離れた地点間では低軌道周回衛星経由の方が早く通信が可能となる。このため世界中の市場をターゲットに市場間の価格差を利用した裁定取引を行う高速金融取引事業者をはじめ、一刻も早く情報を安全・確実に伝達することを求める政府組織や企業等が当該サービスを利用すると見込まれる。

このほか、船舶・航空機・自動車など移動体向けに今後更なる高速大容量サービスが提供されると見込まれるほか、衛星通信機器の小型・低消費電力化が進むことにより、民生品を用いた創意工夫による全く新しいサービスが登場する可能性がある。

(3) 国内における制度整備の状況

今後日本で事業展開が予定されている Ku 帯、Ka 帯、V 帯等の非静止衛星システムによるサービス、及び L 帯のブロードバンドサービスに関しては端末の技術基準や隣接/同一周波数を使用する既存免許人等との共用検討がなされていない。また衛星による自動車等陸

上移動体向けの高速大容量通信について技術基準が策定されていないなど、制度面では衛星通信に係る技術革新に対応しきれていない。

さらに、静止衛星の HTS などが使用する Ka 帯や C 帯についてはその一部が 5G の候補周波数帯となっており、関係者間での調整が課題となっている。

4. まとめ（新しい衛星通信市場の開拓に向けて）

以上を踏まえ、技術革新による新たな衛星システム等の事業活動を活性化して新たな衛星通信市場を拓くため、今後、次の事項について検討する必要がある。

○衛星通信に係る国内の制度未整備箇所については検討に着手すること。具体的には、

- ・既存システムの高度化を図る衛星システムについては、現行システムの利用者保護及び新システムへの円滑な移行の観点から早急に対応すること。なお、これらシステムについては今後の衛星 5G の動向にも可能な限り対応できるよう、技術基準策定にあたっては通信方式等の詳細は定めずに、隣接帯域等との共用検討に重点を置くことが適当。
- ・新たに検討されている衛星コンステレーションについては、利用周波数が多様なうえ、干渉検討や共用検討に係る技術的課題が多いことを踏まえて前広に対応すること。また類似のシステムが複数計画されており個別に調整するとサービス開始時期にも影響する可能性があることから、状況に応じて類似のシステムをまとめて検討することが適当。
- ・衛星通信システムと 5G との周波数の共用については、5G の技術的条件を調査・検討するために情報通信審議会の下に設置された新世代モバイル通信システム委員会で検討が進んでおり、今後の同委員会での検討結果を踏まえて周波数帯域毎に既存・新規衛星システムの関係者も交えた共用検討等を行うこと。

○このほか、新たな宇宙ビジネス開拓を志向する企業等が民生品等を活用するなど低コストで衛星分野に参入できるような環境を整備すること。具体的には、

- ・衛星による自動車向け高速大容量データ配信サービスの実用化。
- ・衛星コンステレーションを構成する多数の小型衛星局を特定無線局の対象とするなど無線局免許手続の簡素化。
- ・ITU-R での議論も踏まえた、衛星システム間の周波数共用に係る調整手続の制度化の検討（調整の迅速化・共用基準の明確化等）。
- ・2017 年度中に打上げ予定の TRICOM-1R 衛星での実証実験等を踏まえ、意欲ある大学や中小企業が民生品を用いた安価な衛星により事業を行うことを可能とするための、衛星回線用に特定小電力無線局制度を活用することの検討など無線局免許手続の簡略化。

別添 衛星を巡る諸問題に関する調査検討作業班 構成員名簿

氏名	主要現職
主任 松井 房樹	一般社団法人 電波産業会 専務理事・事務局長
構成員 有木 節二	一般社団法人 電気通信事業者協会 専務理事
" 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 主任研究員
" 大島 浩	日本電気株式会社 宇宙システム事業部 シニアエキスパート
" 門脇 直人	国立研究開発法人 情報通信研究機構 理事
" 河合 宣行	KDDI株式会社 技術統括本部 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 センター長
" 越野 真行	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 衛星通信担当部長
" 城田 雅一	クアルコムジャパン株式会社 標準化担当部長
" 玉中 宏明	ナビコムアビエーション株式会社 代表取締役社長
" 土谷 牧夫	三菱電機株式会社 通信機製作所 通信情報システム部 衛星通信プロジェクト部長
" 永井 徳人	光和総合法律事務所 弁護士
" 丹羽多聞 アンドリウ	株式会社BS-TBS メディア事業局長
" 鳩岡 恭志	国立研究開発法人 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 サブマネージャ
" 森田 靖彦	スカパーJSAT株式会社 技術運用部門 衛星技術本部 衛星通信技術部長