

衛星通信と 5G の連携

国立研究開発法人 情報通信研究機構ワイヤレスネットワーク研究センター宇宙通信システム研究室副室長

高 橋 卓

1. はじめに

第5世代移動体通信システム（5G）が国内で2020年にサービスを開始され、同時に5Gにおける衛星通信の役割についても注目されている。欧州では官民共同プロジェクトが活動を活発にしており、3GPP（Third Generation Partnership Project）などにおいて5Gの標準化でも衛星との接続が検討されている。一方、日本国内では、衛星通信と5Gを連携させたユースケース等の検討は2019年からはじまり、実証実験等実用化に向けた活動が開始された。国研情報通信研究機構（NICT）では長年衛星通信技術の研究開発を行ってきており、また、衛星通信と5G/Beyond5Gの連携に関するワークショップを開催し、その後検討会を開催するなど衛星通信と5G/Beyond5G連携に関して取り組んできている。

本稿ではNICTにおける衛星通信技術の研究開発の流れと近年の成果について紹介する。その後、5Gと衛星通信の連携に関する状況について述べる。

2. NICTにおける衛星通信技術の研究開発

NICTは前身の通信省電気試験所のころに無線通信の研究を開始し（1896年）、その後1964年の東京オリンピックの際には衛星シンコム3号を使用してアメリカに向け、映像伝送を行う¹⁾など、衛星通信技術の研究開発を担ってきた。

近年NICTでは、「海洋・宇宙ブロードバンド」実現に向けて研究開発を行っている（図-1）。

これは、衛星通信を介して、海洋、地上、上空そして衛星をネットワークで結ぶ3次元ネットワークの実現を目指すものである。また、大容量通信には光衛星通信が有効であるが、雲により信号が大きく減衰してしまうので、晴天の場所の地球局を相手に通信を行い（サイトダイ

バシティ）、地上に下したデータは地上網で目的地まで配信することでブロードバンドの通信網構築に貢献する構想である。

技術試験衛星「きく」シリーズや超高速インターネット衛星「きずな」（2008年打ち上げ）²⁾の中継器の開発や実験を通して、高速移動体衛星通信技術の確立を目指し、また、光衛星間通信実験衛星「きりり」（2005年打ち上げ）³⁾や小型光トランスポンダ（SOTA）⁴⁾の開発や実験で光衛星通信技術の確立を目指してきた。これらを統合することで海上・陸上・

航空を結ぶ3次元ネットワークを実現できると考え研究開発を行ってきた。

ここで、NICTが実施してきたいくつかの衛星通信実験について紹介する。

（1）テレオペレーション実験

日本は世界6位の海域を有する海洋国家である。また、日本近海には海底資源があり、調査が行われている。現状は調査した結果は寄港後、取得データを解析し、それから次の調査計画を立てている。取得したデータを船上から伝送し、陸上

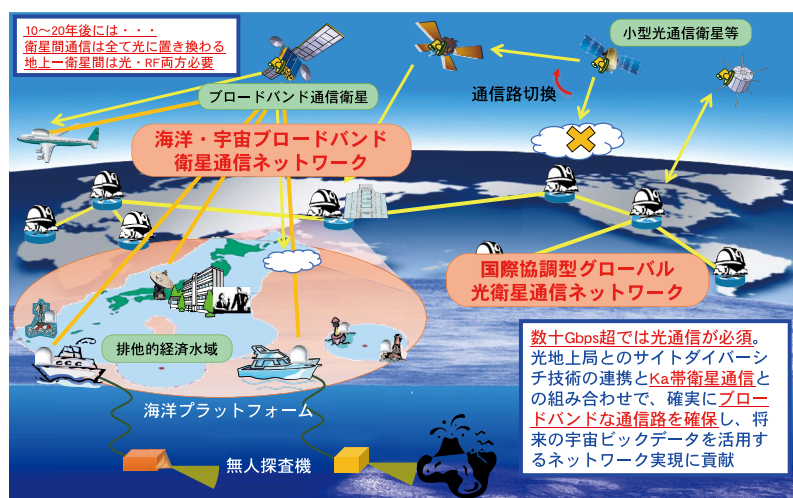


図-1 NICTの宇宙通信技術の研究開発



図-2 テレオペレーション実験

で解析・次の計画を立案することで効率的な調査が可能になる。NICT（国研）海洋研究開発機構（JAMSTEC）と共同で海上船舶との高速衛星通信実験を実施した⁵⁾（図－2）。

海洋調査船「かいよう」上に衛星通信用地球局を設置し、Ka 帯を使用する衛星「きずな」を介して、大型車載地球局を設置した JAMSTEC 横須賀本部を接続した。海中無人探査機「おとひめ」は光ファイバーで「かいよう」と接続し、制御・監視が「かいよう」上で可能となっている。本実験では JAMSTEC 横須賀本部から衛星回線を経由して「おとひめ」のテレオペレーションを成功させた。

（2）航空機通信実験

災害時等に航空機に搭載したレーダーにより観測したデータを被害状況把握に役立てることが行われている。また、近年では航空機内からインターネットサービスを実施する航空機も増加している。このように航空機からのブロードバンド通信の需要は増大している。

NICT では「きずな」を使用した航空機衛星通信実験用に開口径 45cm アンテナの地球局を開発した³⁾。この地球局を使用した実験では航空機搭載レーダー取得画像を模擬した大容量データ伝送や伝送速度約 20Mbps を使用した通信実験を実施し、航空機ブロードバンド通信の実証を行った（図－3）⁶⁾。

この地球局のアンテナは機械駆動式で

あり、アンテナの背が高いため、小型航空機に搭載した場合、空気抵抗により燃費が悪化したり、飛行速度を十分に上げられないといった影響が出てくる。そこでアンテナの上下を切り取ったような横長なアンテナを開発し、通信実験も実施した⁷⁾。

さらに、小型飛行機へも搭載可能な平面アンテナの開発に着手している⁸⁾。

このアンテナは厚さ数cmと非常に薄く、航空機の条件等に合わせてスケラブルにアンテナサイズを選択することが可能となる構成となっている。

将来的には航空機の IoT やドローンの制御などに応用が期待されている。

（3）災害時衛星通信

衛星通信の活躍が期待されるユースケースとして、災害時通信がある。

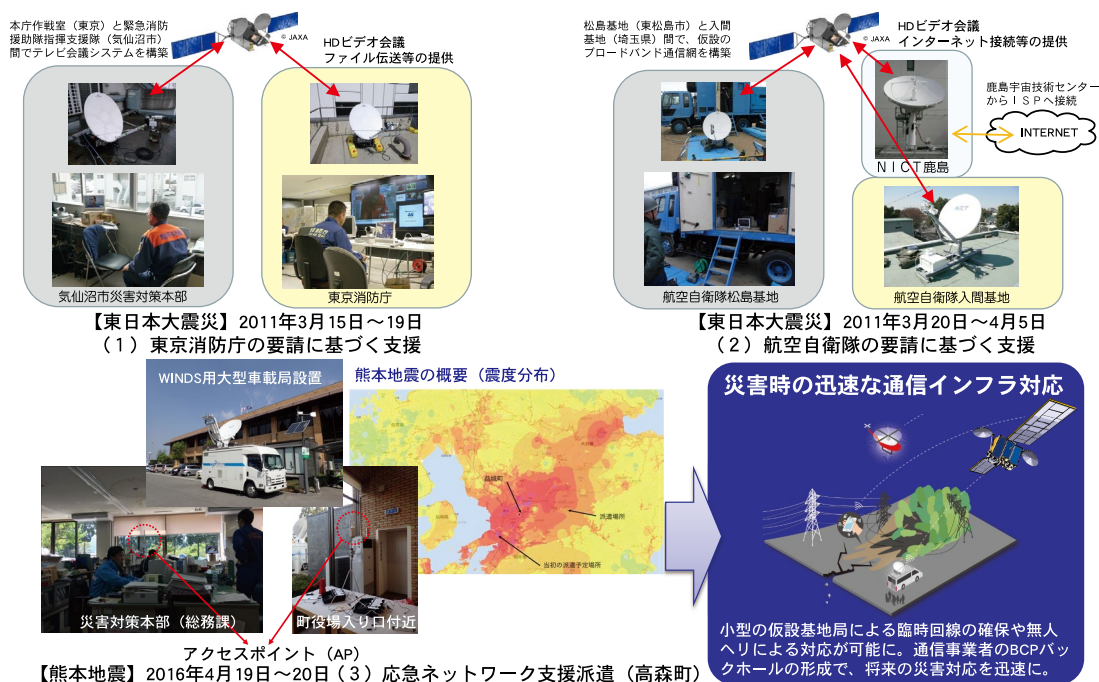
2011 年 3 月に発生した東日本大震災の際には地上網が甚大なダメージを受けた。NICT では東京消防庁からの要請を受け、「きずな」用可搬地球局を東京消防庁の派遣先である気仙沼・本吉広域防災センター屋上に設置し、派遣元との通信の支援を行った（図－4）。その後、可搬地球局を航空自衛隊松島基地へ移し、入間基地との間での通信支援を行った。TV 会議やデータのやり取りのほか、インターネット接続も可能とした。

さらに、2016 年 4 月に発生した熊本地震の際には車載地球局を高森町役場へ派遣し、「きずな」経由で NICT 鹿島宇宙技術センターと結び、インターネット環境を提供して、役場の方や避難所の方に使用していただいた。

このように地上通信網がダメージを受ける災害時には衛星通信が通信インフラ



図－3 航空機衛星通信例



図－4 災害時衛星通信例

として活用できることを示した。

(4) 光衛星通信

1994年に打ち上げられた技術試験衛星6号機「きく6号」から始まった光衛星通信の実証は50kg級小型衛星に搭載可能な小型光トランスポンダ(SOTA)の開発に継承されている。SOTAは小型衛星SOCRATES(2014年打ち上げ)に搭載され、世界初の衛星-地上間での量子暗号基礎実験を成功させるなど大きな成果を残した(図-5)^{9,10}。光衛星-地上間通信では、空気の揺らぎや背景光の影響など克服すべき課題もあるが、大容量通信が可能なことなどから注目されている。

(5) 技術試験衛星9号機(ETS-9)

現在、商用衛星通信で主にKu帯(14GHz/12GHz)の周波数帯を使用しているが、周波数が逼迫していることなどにより、近年はKa帯(30GHz/20GHz)を使用する衛星網が増加している。Ka帯を使用した衛星は日本では実験用静止通

信衛星「さくら」(1977年打ち上げ)から始まり、最近では「きずな」があり、技術試験衛星9号機(2023年打ち上げ予定)でも使用予定である。Ka帯は低い周波数と比較して、降雨減衰の影響を受けやすいが、周波数を広く使えるため、ブロードバンド通信に適している。また、ビームを狭くできることから、非常に多数のマルチビーム構成とし、周波数を繰り返し使用することで超高速衛星通信が可能となるハイスループット衛星(HTS)のサービスも進んできている。

現在世界の衛星通信の流れのひとつとして、1静止衛星で非常に大容量の通信が可能となるハイスループット衛星(HTS)がある。総務省等が「次世代高速衛星通信技術に関する調査検討会」を開催し、次世代通信衛星の基本構想を議論した。伝送容量(スループット)の拡大として固定マルチビーム(100ビーム級)で大容量(100Gbps級)を実現し、フレキシビリティ確保による通信・サービス品質の向上として、広帯域(数GHz幅)

を対象に、周波数とビームカバー域を可動・可変化するもの、そして、給電系等の小型化・軽量化で多数のビームを搭載可能とするものであった。

これを受け、「次期技術試験衛星(通信放送分野)に関する検討会」が設置され、技術試験衛星9号機(ETS-9)では次世代高速衛星通信に必要なとされる要素技術を実証することとなった。通信ミッションとして開発する主要な3点を述べる。①固定ビームとしてマルチビーム配置や周波数繰り返し等を検証可能な中継器とし、各ビームに柔軟に周波数を割り当てることが可能となるデジタルチャネライザを開発すること、②可変ビームとして軌道上で任意にビーム形状・位置を変更可能なデジタルビームフォーミング(DBF)を開発すること、③将来の大容量化に対応するために、光ファイダリンクを開発・搭載し、運用可能性等を検証すること。ETS-9は2023年度打ち上げを目指して開発が進められている¹¹⁾。

ETS-9で想定されている実験のユースケースとして下記の4点が検討されている。

①災害

衛星通信の利用要求の高いアプリケーションであり、南海地震等での自治体利用が想定される。利用形態としては、災害時に柔軟な非常通信ネットワークを構築し、通信のバックホールとしての利用や緊急車両による直接衛星通信などが検討されている。

②海上移動体(船舶)

海洋資源調査の効率化、海洋での重機の遠隔操作、客船でのサービス向上あるいは自律船開発等で潜在的な需要が拡大している。国際電気連合(ITU)でのKa帯利用の標準化もESIM(Earth Station in Motion)として進展している。利用形態としては衛星を介した海上-陸上間あるいは海上-海上間の直接衛星通信が検討されている。

③航空移動体(航空機)

航空機の機内WiFiサービス等航空機通信事業が拡大し、上空での安定して大容量な通信への潜在需要が拡大している。ITUでのKa帯利用の標準化もESIMとして進展している。利用形態としては、航空機-陸上間の直衛星通信が検討されている。

④センサネットワーク

あらゆる機器がネットワークでつながり情報を交換するIoTでの使用も期待される。利用形態としては、地上系ネット

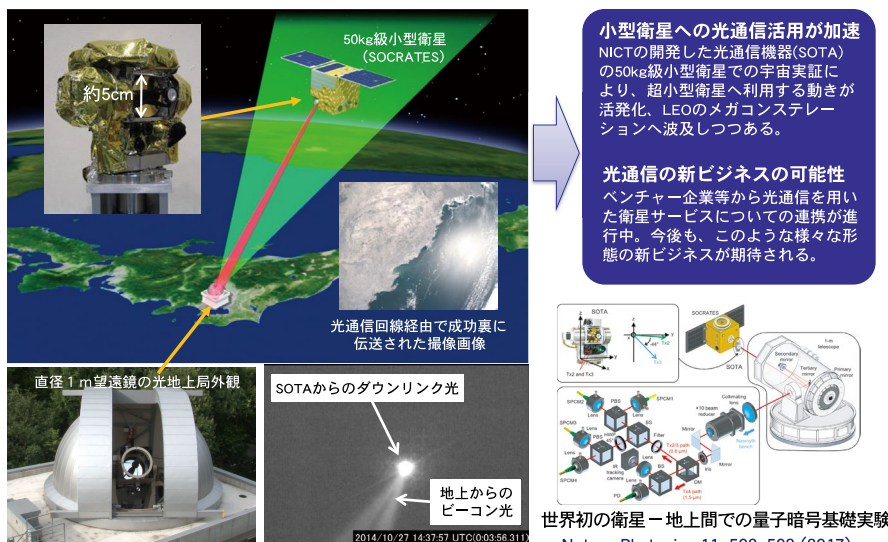


図-5 光衛星通信実験

次世代通信衛星の基本構想

大容量デジタル・フレキシブル・ベントパイプ

- ◆伝送容量(スループット)の拡大
固定マルチビーム(100ビーム級)で大容量(100Gbps級)を実現
- ◆フレキシビリティ確保による通信・サービス品質の向上
広帯域(数GHz幅)を対象に、周波数・覆域を可動・可変化する
- ◆給電系等の小型化・軽量化
多数のビーム搭載を可能とするため、給電系の小型・軽量・高密度実装等を実現

技術試験衛星9号機の姿

- ◆固定ビーム
マルチビーム配置・周波数繰り返し等を検証可能なビームの開発・ファイダリンクも搭載
- ◆可変ビーム
軌道上で任意にビーム形状・位置を変更するDBFの開発
- ◆光ファイダリンク
将来の大容量化に対応するため、光ファイダリンクを開発・搭載し、運用可能性等を検証

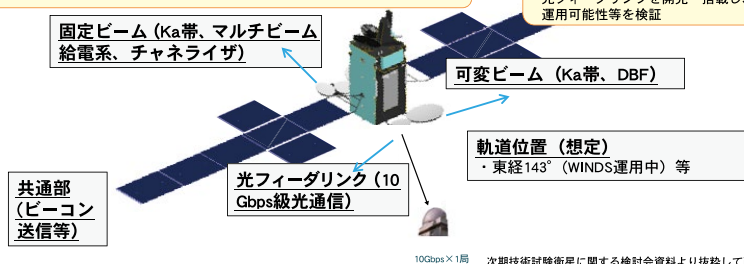
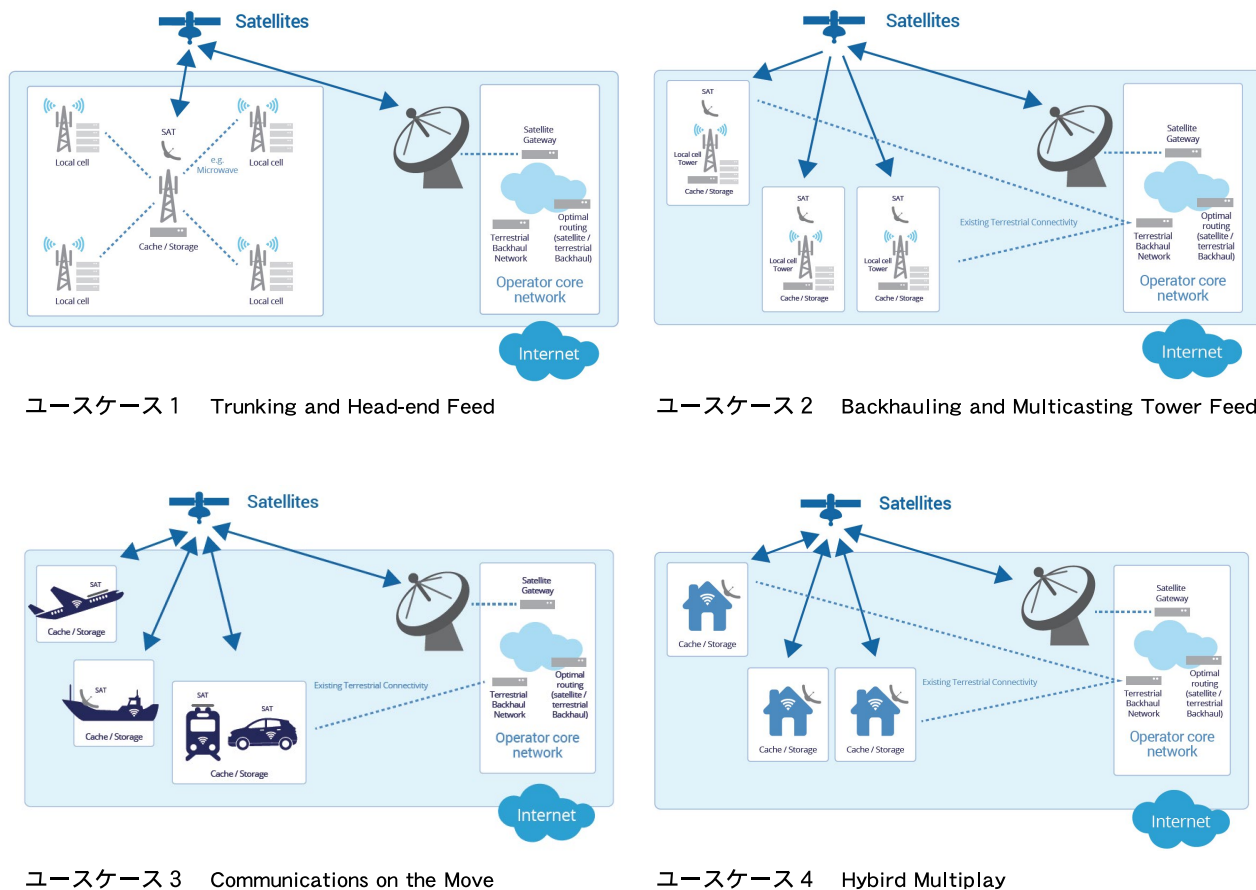


図-6 技術試験衛星9号機(ETS-9)



図ー7 衛星5G連携における衛星利用（ITU-R M. 2460-0より）

ワークでカバーできない場所に展開されたセンサからのデータ収集や船舶、航空機、無人航空機などの移動体の制御を目的に衛星バックホール利用や直性衛星通信が検討されている。

3. 5G/Beyond5G における衛星通信

第5世代移動体通信システム（5G）は2020年から国内でサービスが開始された。5Gの特徴として、超大容量（Enhanced mobile Broadband：eMBB）、超大量端末（Massive machine type communications：mMTC）そして超高信頼低遅延（Ultra-reliable and low latency communications：URLLC）があげられる。eMBBでは5Gのカバレッジ拡大に寄与し、航空域、海洋、過疎地域等の地上ネットワークの範囲外の地域へのブロードバンド通信を提供することである。mMTCでは5Gのカバレッジ拡大に寄与し、航空域、海洋、過疎地域等の地上ネットワークの範囲外の地域へのセンサーデータの収集や制御情報の伝送が可能となる。URLLCも5Gカバレッジの拡大に寄与しており、特にURC（高信頼通信）について非常災害時に地上ネットワークを補完する通信回線を提供すること

が可能となる。

衛星通信と5Gの連携に関してはITUや3GPP等で議論されており、ITUでは衛星通信の役割について4ユースケースとしてまとめられている¹²⁾（図ー7）。

- ・ユースケース1 トランキングおよびヘッドエンドフィード

衛星リンクによる高速・大容量通信による地上系の補完やローカル基地局への直接アクセスあるいは災害時、緊急時の通信確保などが相当する

- ・ユースケース2 バックホールおよびタワーフィード

ローカル基地局への高速あるいはマルチキャスト通信による地上系の補完や広域IoTにおける地上系のバックホールが相当する

- ・ユースケース3 移動体向け通信

広域を移動する移動体向けマルチキャストやブロードキャストによる高速、大容量通信やムービングプラットフォーム搭載センサやユーザデバイス向け通信（M2M/IoT）が相当する

- ・ユースケース4 ハイブリッドマルチプレイ

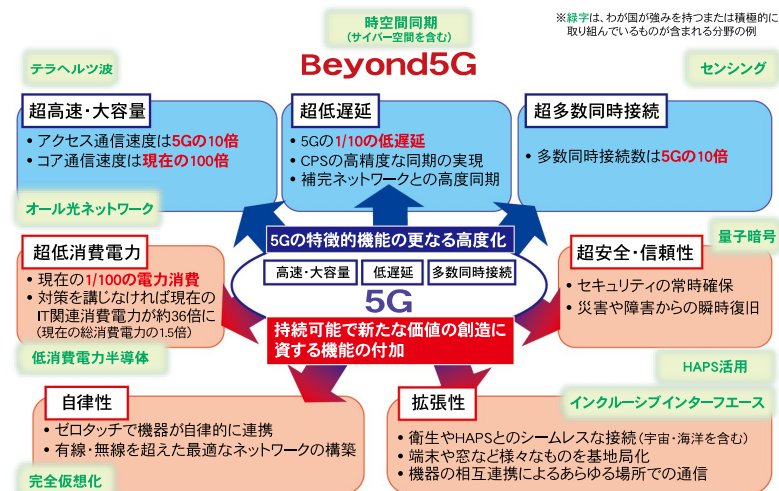
オフィス向けブロードバンドサービスやマルチキャストによる地上系の補完が相当する

（1）日本国内の動向

日本国内においても衛星5G連携の検討が行われており、2019年3月には欧州と日本関係機関によるワークショップを開催した¹³⁾。国内20機関、海外6機関が参加して、最新情報交換を行った。その後、継続検討を行うため、国内関係機関を構成員とする「衛星通信と5G/Beyond5Gの連携に関する検討会」を開催し、報告書を公開している¹⁴⁾。

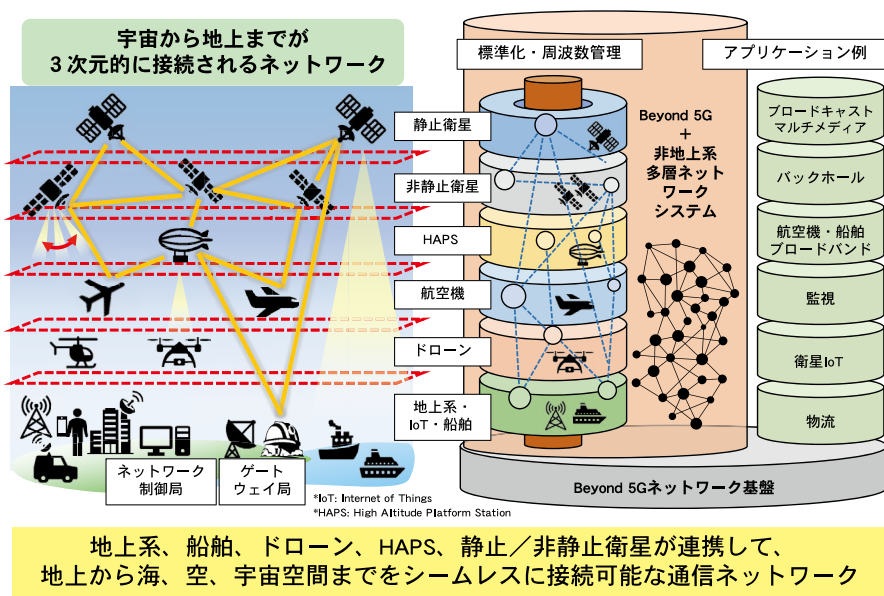
国内で有効なユースケースを検討するに当たり、5テーマを設定した。人口減少・超高齢化社会などを背景とした「2040年顕在化する日本の諸問題に向けた衛星5Gの利用」のほかIoT、スマートシティ、海上・航空領域・交通インフラ、非常災害時対応をテーマとして検討を行った。結果、「スマートシティ」、「モビリティ」そして「非常災害時対応」の3カテゴリに分類され、各ユースケースを導出した。また、有効性についても議論された。

5Gの先、2030年頃の導入が見込まれるBeyond5Gに関して総務省が「Beyond5G推進戦略懇談会」を開催し、議論が開始されている（図ー8）。Beyond5Gでは超高速・大容量においては5Gの10倍のアクセス通信速度、超低遅延においては5Gの10分の1の低遅延、超多数同時接



出展：Beyond5G推進戦略（概要）、令和2年6月30日、総務省

図－8 Beyond5Gに求められる機能等



図－9 Beyond5G時代の通信ネットワークのイメージ

続においては5Gの10倍の多数同時接続数などが求められる。このほかにも超低消費電力、自律性、拡張性、超安全・信頼性が求められる機能として提言されている。このうち、拡張性においては衛星やHAPS（高高度基盤ステーション）とのシームレスな接続（宇宙・海洋を含む）と言及されている。

衛星通信を含む通信ネットワークに関して、検討会で議論された衛星5G連携の有効性、必要な技術やBeyond5Gの提言等を踏まえ、Beyond5G時代を実現すべき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ことが前提となると考えられる（図－9）。今後、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。

2020年7月に「スペースICT推進フォーラム」が設立された¹⁵⁾。これは、

宇宙ビジネスを支える情報通信技術（ICT）の高度化、利用促進を図る観点から、衛星通信に関連する企業・機関やユーザ等が広く参加するコミュニティを形成し、宇宙の通信技術の多面的発展や先端的な地上の通信技術との協調等を目指し、総合的に議論する場として設立されたものである。フォーラムでは5G/Beyond5G連携技術分科会を設置し、衛星5G連携技術の発展を目指している。

4. おわりに

NICTにおける宇宙通信技術の研究開発の一部を紹介し、多様な利用シーンへの応用実験（海上ブロードバンド通信、航空衛星通信、災害等）を紹介した。これらは衛星5G/Beyond5G連携技術のユースケースに想定されているものであり、実証実験実施の際には有用な知見となる。

近年、衛星通信ではハイスループット衛星（HTS）が出現し、大容量化が進展している。電波と光のハイブリッドおよび周波数的・地理的なフレキシビリティ技術のETS-9での実証を目指している。

5G/Beyond5Gにおいて衛星通信を含むNTN（Non-Terrestrial Network）は5G/Beyond5Gのコンポーネントとして地上通信と連携し、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される。将来の通信ネットワークは宇宙から地上まで多層的に接続されることが前提と考えられる。

日本国内では「スペースICT推進フォーラム」が設立され、関連企業・機関等によるコミュニティが形成され、宇宙の通信技術の多面的発展や先端的な地上通信技術との協調等を目指し、総合的な議論が期待されている。

ETS-9を使用して衛星5G/Beyond5G連携技術の開発・検証を目指して議論が進められることを期待している。

【参考文献】

- 1) 村主行康、外、「東京オリンピックのテレビ映像を世界のお茶の間へー世界初の衛星テレビ中継を回顧してー」通信サイエンスマガジン、No. 11、pp. 60-65、2009
- 2) 超高速インターネット衛星（WINDS）特集、情通研季報、Vol. 53、No. 4、2007
- 3) 光衛星間通信実験衛星（OICETS）特集ー開発と軌道上実証ー、情通研季報、Vol. 58、Nos. 1/2、2012
- 4) 宗正康、外、「超小型光通信装置（SOTA）軌道上通信実験（I）」、第59回宇科連、3F01、2015
- 5) Takashi Takahashi、外、「THE TELE-OPERATION EXPERIMENT OF THE HYBRID REMOTELY OPERATED VEHICLE USING SATELLITE LINK」、OMAE2015、OMAE2015-41645、June、2015
- 6) Norihiko Katayama、外、「Development of Aeronautical Earth Station for WINDS」、30th ISTS、2015-j-10、2015
- 7) 辻宏之、外、「有人航空機を利用した無人航空機搭載用Ka帯可変指向性アンテナの評価実験」、信学技報、Vol. 115、No. 448、SAT2015-67、2016
- 8) <https://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2020/0206.html>
- 9) <https://www.nict.go.jp/press/2017/07/11-1.html>
- 10) Hideki Takenaka、外、「Satellite-to-ground quantum-limited communication using a 50-kg-class microsatellite」、Nature Photonics 11、pp. 502-508、2017
- 11) 三浦周、外、「技術試験衛星9号機による次世代ハイスループット衛星の通信技術確立に向けた取組」、信学会誌、Vol. 102、No. 12、pp. 1080-1084、2019
- 12) ITU-R M. 2460-0
- 13) 三浦周、外、「衛星通信と5Gの連携に関する動向ー新時代の統合ネットワークに向けてー」、電波技術協会会報FORN、No. 331、pp. 2-5、2019
- 14) 三浦周、外、「衛星通信と5G/Beyond5Gの連携の動向と取組」、信学会誌、Vol. 103、No. 8、pp. 806-814、2020
- 15) <https://spif.nict.go.jp/>