



非地上系ネットワーク

小竹秀明, 阿部侑真 (情報通信研究機構)
h.kotake@nict.go.jp, yuma.abe@nict.go.jp

1. 非地上系ネットワーク (NTN) とは

近年、衛星通信の高速大容量化に向けたニーズが高まっている。その例として、低軌道 (LEO : Low Earth Orbit) 衛星である地球観測衛星が取得した地球観測データ活用ビジネスの活発化が挙げられる。これに伴い、衛星搭載用の光学センサーや合成開口レーダ (SAR : Synthetic Aperture Radar) 等で撮像した衛星画像が高解像度化してきており、地球観測データ量が顕著に増加し始めている⁽¹⁾。現在では、国内外を含めて、数 Gbit/s 以上の通信速度が求められており、高速衛星通信インフラの構築が急務となっている⁽²⁾。

一方で、地上系に関しては、第5世代移動通信システム (5G : 5th Generation Mobile Communication System) が普及してきており、5G を活用したビジネス展開が活発に行われている。現在では、次世代通信規格である Beyond 5G/6G に向けた研究開発が積極的に進められている。特に、Beyond 5G/6G では、従来の地上系ネットワーク (TN : Terrestrial Network) だけでなく、衛星や航空機等による非地上系ネットワーク (NTN : Non-Terrestrial Network) も含めた通信ネットワークエリアの拡大も目指している。

NTN は、多数の衛星や高高度プラットフォーム (HAPS : High-Altitude Platform Station) との間で空間的に接続された大規模なネットワーク基盤を指している。TN と比較した NTN のメリットとして、3点 が挙げられる。まず、従来の衛星通信と比較して、高速大容量な通信サービスを提供できるようになる。これは、多数の LEO 衛星で構築された衛星コンステレーションの普及により、LEO 衛星との通信が主流になり始めているためである。次に、従来の地上系移動体通信網だけでは対応困難であった船舶や山奥等の高速通信サービスの提供が可能になる。最後に、地震や津波等の自然災害が発生した緊急時においても、特定のエリアに向けた通信サービスの迅速な提供が可能になる。

また、TN と比較した NTN の差異として、3点 が挙げられる。まず、衛星や HAPS、地上局との間で接続された通信回線の伝搬遅延が TN と比較して長くなるだけでなく、それぞれ差異が生じる。例えば、HAPS に関しては、地上から近距離の高度で飛行するため伝搬遅延が短くなるが、衛星は 500 km 以上の高度 (静止 (GEO : Geostationary Earth Orbit) 衛星 : 約 36,000 km, LEO 衛星 : 2,000 km 以下) で軌道上を移動するため伝搬遅延が長くなる。次に、通信持続時間 (データ通信を確立してから完了するまでのデータ伝送が

可能な時間) が異なることが挙げられる。例えば、衛星は異なる高度で移動するため、通信持続時間に差異が生じる。GEO 衛星は地上から相対的に見て静止しているため常時通信を行えるが、LEO 衛星は地球を高速で移動するため通信持続時間が数分程度の場合もある。最後に、天候や距離等によって通信品質が変化することが挙げられる。降雨等の悪天候の場合や、衛星及び航空機の移動によって通信距離が長くなる場合は、TN と比較して通信品質 (スループット、ロス率等) が劣化する恐れがある。

以上により、衛星や航空機等で接続された NTN には様々な特徴が見られるが、TN との相互接続も視野に入れた検討が進められている。これに伴い、従来から展開されてきたスマートフォンや動画コンテンツ等の大容量通信サービスだけでなく、Web 会議等の低遅延通信サービスも NTN 内で伝送されるようになる。この NTN は Beyond 5G/6G の要素技術として注目されており、情報通信研究機構 (NICT : National Institute of Information and Communications Technology) が発行した Beyond 5G/6G ホワイトペーパーにもユースケースが描かれている⁽³⁾。なお、この NTN を構成する衛星間リンクや地上衛星間リンクにおいては、電波または光による接続が想定される。

2. NTN を構成する要素技術

2.1 電波/光を用いた通信技術

NTN において電波を活用していくには、高速大容量化と周波数利用効率の向上が必要不可欠になる⁽⁴⁾。従来の衛星通信では L バンド (1~2 GHz)/S バンド (2~4 GHz)/C バンド (4~8 GHz)/Ku バンド (12~18 GHz) の電波を中心に利用してきたが、高速大容量化に向けて Ka バンド (27~40 GHz) の電波も活用されてきている。現在は、更なる周波数帯域の確保に向けて、Q バンド (40~50 GHz)/V バンド (50~75 GHz) の活用も検討され始めている。Ka/Q/V バンドのような新たな周波数帯域が開拓されている一方で、国際的な周波数の申請も多数行われており、将来的な周波数資源の枯渇への対処が大きな課題になりつつある⁽⁴⁾。

そこで、電波に代わる技術として、光の活用が注目を集めている。光を用いた通信技術のメリットとしては、電波と比較して4点 が挙げられる⁽⁴⁾。まず、従来の電波では実現困難な数 Gbit/s 以上の高速通信を達成でき、高速大容量のデータ伝送を行えるようになる。次に、通信ターミナルの小形化・軽量化が可能である。例えば、数 Gbit/s 級の伝送速度の実現に向けて、電波では数 m 級のアンテナが必要になるが、光では 10 cm 級に抑えられる。続いて、光は電波法の

本会ハンドブック「知識の森」
https://www.ieice-hbkb.org/portal/doc_index.html

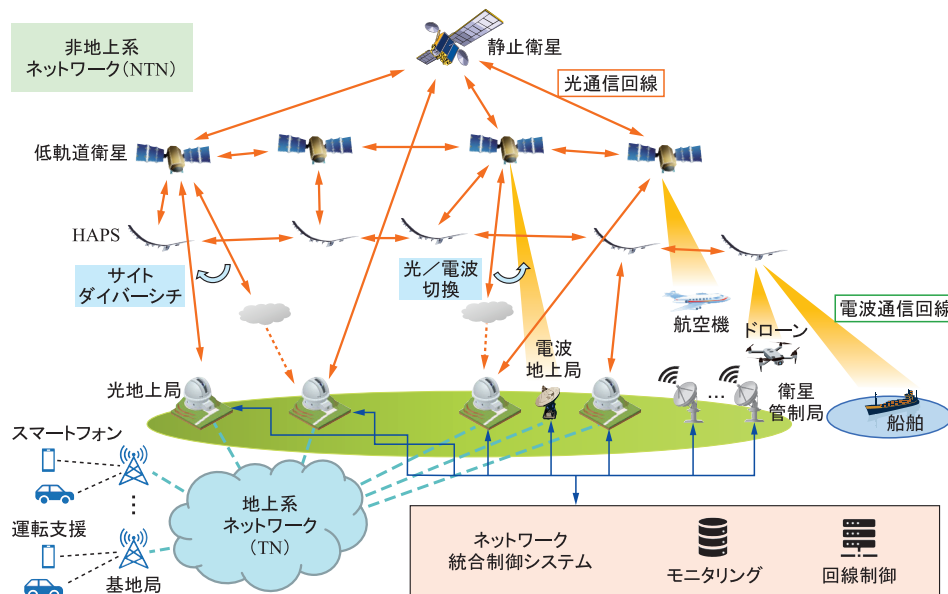


図1 NTNの将来像

規制を受けないため、国際的な周波数調整が不要である。最後に、光は電波と比べて指向性が高く範囲を限定できるため、物理的にセキュリティの高い通信を確立できる。しかし、地―衛星間リンクで光通信を行う際、天候や大気揺らぎの影響で通信品質が劣化し不安定になることが多い。そのため、天候による影響の回避や、大気揺らぎによる通信品質劣化の補償が大きな課題になる。以上により、電波/光を用いた通信技術は様々な特徴や課題を有している。そのため、電波/光の各々の特徴を生かしてNTNに適用することが望ましい。例えば、地上衛星間リンクでは、天候や大気揺らぎの影響に応じた電波/光の切替制御が考えられるため、NTNの運用面で検討していく必要がある⁽⁴⁾。

2.2 ネットワーク制御技術

1. で述べたとおり、NTNは、通信距離による伝搬遅延の違い、天候や距離等による通信品質の違い、衛星や航空機等の移動による通信持続時間の違いが見られる。更に、様々な通信回線やプロトコル、回線パラメータが混在するだけでなく、複数の事業者が各々の異なるネットワークを運用することになると推測する。そのため、NTNの構築に向けて、統合的なネットワーク制御が必要になる⁽⁴⁾。

NTNのネットワーク制御技術として、衛星や航空機、地上局との間の接続を決定するトポロジー制御、多様な通信サービスのデータをどのルートで伝送するかを決定するルーティング制御、通信リンクに流れるデータ量をフレキシブルに変更するリソース制御、天候や大気揺らぎの影響に応じて地上局を切り換えるサイトダイバーシチ制御や電波/光切替制御が挙げられる⁽⁴⁾。

3. 将来のNTNの構築に向けて

将来のNTNは、図1に示すとおり、様々な軌道の衛星やHAPS、地上局との間の電波または光によるリンク接続で構成されており、大規模なネットワークを形成する。地上系

ネットワークとの相互接続により、NTNは船舶や航空機等にも通信サービスを提供するほか、スマートフォンや運転支援等の地上系通信サービスの伝送も可能にする。更に、ネットワーク統合制御システムが各種通信回線の状態やデータ量をモニタリングした上で、様々な通信回線を統合した大規模なネットワーク制御だけでなく、天候や大気揺らぎの影響に関わるサイトダイバーシチや電波/光切替等の運用を行う。このNTNにより、様々なエリアでの通信サービスの利用が可能となり、安心・安全な社会を築き上げることができる。

我が国では、将来のNTNの構築を目指して、Beyond 5G 研究開発促進事業である「Beyond 5G 次世代小型衛星コンステレーション向け電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発」⁽⁵⁾ や経済安全保障重要技術育成プログラムである「光通信等の衛星コンステレーション基盤技術の開発・実証」⁽⁶⁾ において、光通信を主軸とした衛星コンステレーションの開発・実証を推進している。

文 献

- (1) S. Yamakawa, et al., "LUCAS : The second-generation GEO satellite-based space data-relay system using optical link," Proc. IEEE ICSSOS, pp. 14-16, 2022.
- (2) M. Toyoshima, "Recent trends in space laser communications for small satellites and constellations," IEEE J. Lightw. Technol., vol. 39, no. 3, pp. 693-699, 2021.
- (3) NICT, "Beyond 5G/6G White Paper 3.0 版," 2023.
- (4) 三浦 周, 関口真理子, 大倉拓也, 小竹秀明, 白玉公一, 斉藤嘉彦, カラスコ-カサド アルベルト, 阿部侑真, 辻 宏之, "衛星通信/NTN と 5G/Beyond 5G の連携の動向と研究開発の取組み," 信学論 (C), vol. J106-C, no. 9, pp. 344-353, Sept. 2023.
- (5) T. Eishima, S. Inoue, A. Yonemoto, J. Sudo, T. Hosonuma, S. Nakasuka, A. Shirane, T. Tomura, K. Okada, and K. Kiyohara, "RF and optical hybrid LEO communication system for non-terrestrial network," Proc. IEEE ICSSOS, 2022.
- (6) Y. Kakiuchi, et al., "The introduction of Japanese development and demonstration of inter-satellite optical communication network system through K-program," Proc. IEEE ICSSOS, 2023.

(2024年6月24日受付)