

衛星通信インターネット事例

中里 真一 ●スカパー JSAT 株式会社宇宙事業部門 事業推進部長

内山 浩 ●スカパー JSAT 株式会社宇宙事業部門 通信システム技術部長

災害医療サービスや遠隔監視用の通信インフラなど、様々な用途において衛星通信を用いたインターネットの利用が増加。今後は利点の多い低軌道衛星活用への期待が高まる。

■航空機／船舶向けインターネットサービス活用事例

有線回線の敷設が不可能な航空機や船舶では、インターネット利用のために静止衛星が利用されている。昨今、国内の航空会社が提供している「機内Wi-Fi」による航空機内インターネットサービスには、スカパー JSAT 株式会社（以下「スカパー JSAT 社」）が保有・運用する複数の静止衛星が利用されている。

世界的にも航空機向けの衛星インターネットサービスの需要は増加しており、仏 Euroconsult によれば、2017年時点で5000機以上の民間航空機に衛星インターネットサービスが導入されており、10年後にはその数は2万機を超えると予想されている。

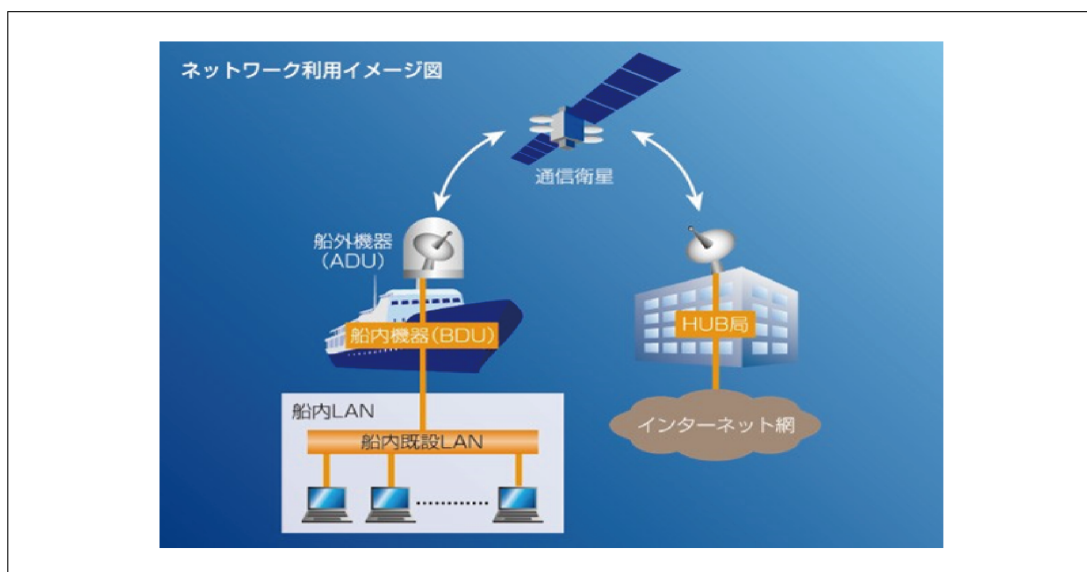
船舶向けのインターネット利用ニーズに対してスカパー JSAT 社では、船舶向けの衛星インターネットサービス「OceanBB plus」というサービスを提供している。これは商船では船陸間の業務利用、クルーズ船では乗客向けのインターネットサービス、船員向けの福利向上などに利用されている。利用可能なエリアは、スカパー JSAT 社の通信衛星がカバーするインド洋、アジア、オセアニア海域に加え、海外事業者との提携により、

太平洋、大西洋、地中海、カリブ海等の海域でのローミング接続を提供し、世界中を航行する船舶にグローバルなサービスエリアを提供している。

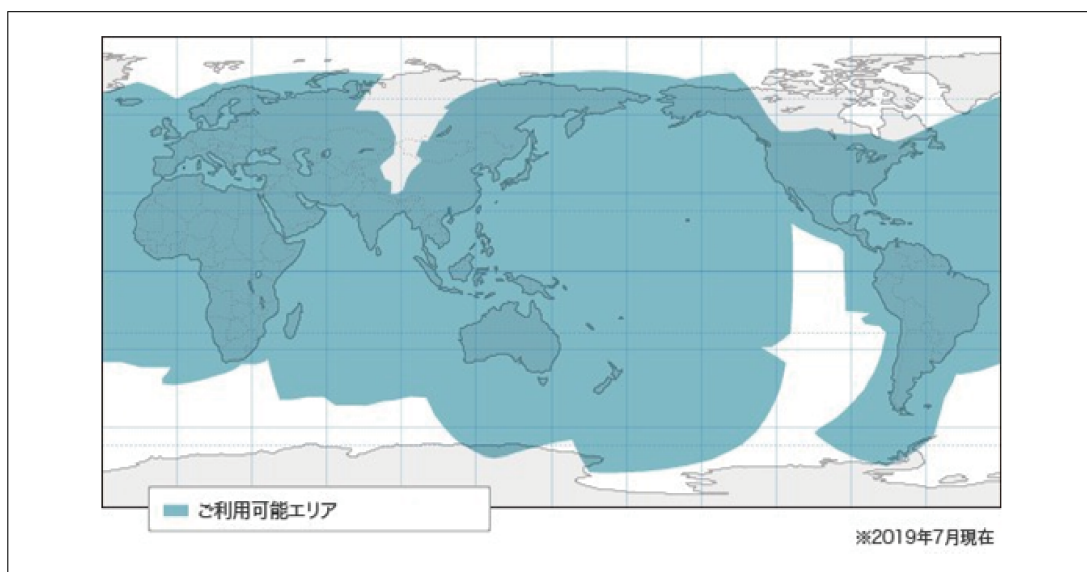
■災害医療サービスにおける利用例

地震や津波などの自然災害が発生すると、固定電話・携帯電話とつながりにくい状況になり、被害状況によっては地上線の断線と基地局の停電等のために復旧まで数日を要する事態となる。そこでスカパー JSAT 社では、衛星通信の特徴である「耐災害性」を活かし、災害時にも確実につながる通信環境を構築し、重要通信回線を確保するサービスを提供している。災害医療の分野では Emergency Medical Information System（広域災害救急医療情報システム）へのアクセスや、対策本部との音声連絡手段として利用されている。

2019年9月に内閣府主催「大規模地震時医療活動訓練」が実施された。ここでは衛星通信と、GPS トラッキング機能を持つ LPWA 端末（Low Power Wide Area）を組み合わせた災害救助活動支援ネットワークを構築し、安全で的確な救助活動のための新たな通信手段を実証した。



出典：スカパー JSAT



出典：スカパー JSAT

■ デジタルデバイド対策

地上通信インフラのない工事現場や工場、プラントなどと本社を結ぶ通信インフラとして、また動植物や不法投棄などの遠隔監視用の通信イン

フラとして衛星通信が利用されている。

このように衛星通信を用いたインターネットは様々な局面で利用されており、安心して便利な社会生活のために不可欠なものとなっている。昨今で



出典：スカパー JSAT

は従来の静止衛星に加えて低軌道衛星の活用が計画されつつある。

■低軌道衛星とは何か

衛星と聞いて真っ先に何を思い浮かべるだろうか？ 自宅や職場でBSやCSといった衛星放送を利用しているならば、パラボラアンテナの先にあるもの、といった感じかも知れない。現在行われている衛星放送や前項で紹介したような事例は、静止軌道衛星を利用している。「静止衛星」は、赤道の3万6000km上空でおよそ24時間をかけて地球の周りを公転する。そのため地球の自転と同期して、地上からは静止して見えるというのがその名前の由来である。

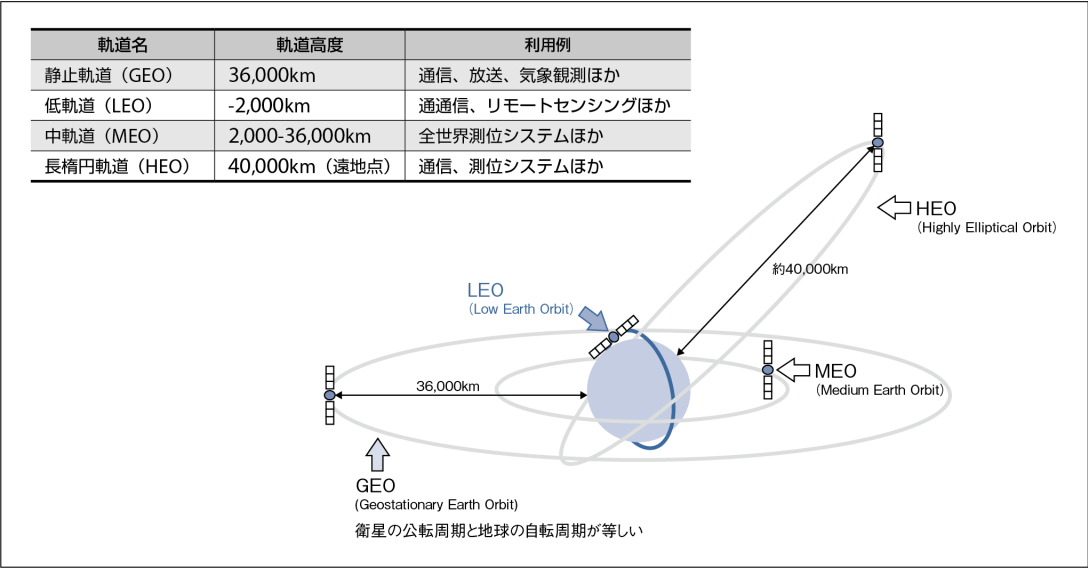
地球を周回する衛星は大きく低軌道、中軌道、静止軌道に分類され、ほかにも準天頂衛星みちびきで利用される傾斜同期軌道は長楕円軌道の一種で、それらの軌道を使った様々な人工衛星が存在する。

低軌道衛星はその軌道高度が2000km未満のものをいい、2019年4月時点で約1400もの低軌道衛星が運用されている。そのうち、地球・宇宙観測用途のものが約700機、通信用途のものが約300機である。今後は後に述べる低軌道衛星通信事業者による衛星打ち上げにより、通信用途の衛星が増大することが見込まれる。

静止軌道衛星通信に比較した時の低軌道衛星通信の特徴は、伝搬遅延が小さいこと、1機の衛星でサービス提供を行うエリアが小さいこと、無線電力が小さくて済むことなど、いずれも衛星の軌道が地表面から近いことに起因する。注意すべき点としては、地表から見て衛星が高速に移動することに起因して、衛星の方向が常に変化すること、伝搬遅延量の変化が大きいこと、ドップラー効果による周波数の変化（ドップラーシフト）が大きいことなどが挙げられる。

静止衛星通信では3機の衛星で地球の全球をカバーできるとされるが、極域は実質的に利用でき

資料 3-5-9 地球を周回する衛星



出典：スカパー JSAT 作成

資料 3-5-10 静止軌道衛星と低軌道衛星の比較

	静止軌道衛星 (赤道上空 36,000km)	低軌道衛星通信 (高度 1,200km、利用仰角 20 度以上で試算)
軌道周期	約 24 時間	約 1 時間 50 分
往復の伝搬遅延	地域により 0.24~0.28 秒 (地域差)	0.008 ~ 0.016 秒 (1 回の通過での変化)
ドップラーシフトの影響	ほとんどなし	± 0.002%
衛星 1 機でのカバーエリア	最大で 地球の約 3 分の 1	最大で 半径 2,000 km の円

出典：スカパー JSAT 作成

ない。一方、低軌道衛星通信では数十から数千の衛星でコンスタレーションを形成することで極域を含む地球全体でサービスが可能となる。

このような特徴から、低軌道衛星通信に用いる地上設備では全方位をカバーするアンテナや、遅延量や周波数の偏移に対応する無線機器が必要になる。アンテナに関しては、高利得のものを利用するには全方位に対して機械的に自動追尾機能を有するアンテナや、電子的に指向方向を調整するアンテナなども必要となるが、低利得で性能として十分な場合には無指向性のアンテナも利用され

ている。また複数の衛星を切り替えて利用する仕組みや、場合によっては複数のアンテナでサービス断時間を極小とする仕組みも必要となる。昨今のソフトウェア無線技術の発展により、遅延変動や周波数偏移への追従処理を電子回路ではなくソフトウェアで行うことも実用化されている。

低軌道衛星を用いた通信ネットワークではコンスタレーション（多数の衛星を機能的に配置すること）を組むケースが多く、そのため静止軌道衛星よりも衛星本体は概して小型である。打ち上げに際して相当数の衛星を一度に打ち上げるため、



出典：Source: SpaceX 社の Flickr 公式アカウントから引用

小型化が必要であり、かつ同時にロケット内の搭載性能についても考慮されたデザインとなっており、大量生産のための製造の自動化も加速している。

大規模なコンスタレーションを組む場合、大きなポイントとなるのが衛星間通信機能（Inter Satellite Link: ISL）の有無である。ISLを実装した場合は、衛星はあたかもルーターのようにデータをルーティングして、データの送信元から受取先まで衛星をリレー（あるいはホップ）して届ける。ISLがない場合には1機のカバーエリア内のみで通信が行われ、かつそのエリアは常に移動する。ISLを持たないサービスの場合、インターネットと接続するためのゲートウェイ局が常にエリア内に存在するように設置し、それぞれを地上回線で結ぶ必要がある。

いろいろと特徴のある低軌道衛星通信であるが、最近では複数の企業が大規模なコンスタレーションの構築を行っており、数年後、十数年後に

は一般にも広く普及していることが予想される。

■低軌道衛星への参入プレイヤー紹介

英Northern Sky Researchによれば、低軌道や中軌道を含む非静止衛星通信市場の売上は、2018年から2028年の積算で430億ドルに達すると予想されている。この成長市場を巡り、ここ数年間に登場した非静止衛星通信コンスタレーションの事業者として代表的な5社を以下に取り上げる。

●O3b networks

O3b networksは赤道上の中軌道に配備した16機の衛星で事業を展開している。2016年にルクセンブルグの静止衛星通信事業者SESの完全子会社となり、次世代のO3b mPOWERでは中軌道にBoeingが製造する7機のKa帯（26-40GHz）衛星を投入し、陸上および航空機、船舶などの移動体向けに数Tbps規模の通信容量を提供する計画だ。

●OneWeb

OneWebは、O3b networksを立ち上げたGreg Wylerにより2012年に設立され、高度1200km、648機のKu帯（12-18GHz）衛星コンステレーションにより、世界中にインターネット接続を提供する計画を進めている。2019年2月には6機の実用衛星の運用を開始し、実機で受信速度400Mbpsを実現したと発表、2020年には顧客デモ、2021年には商用サービスを開始する予定だ。所要資金は2012年当初15～25億ドルとされていたが、その後必要資金が膨らみ、現在は非公開とされている。2019年3月末までで34億ドルを調達しているが、ソフトバンクグループからの出資が過半を占める他、衛星を製造するAirbus、静止衛星事業者のIntelsatも株主に名を連ねる。

●SpaceX

アメリカに本社を置き、打上げサービスを提供するSpaceXによるStarlinkプロジェクトでは、4000機以上の衛星を配備し、世界中にブロードバンドサービスを提供する計画を進めている。2019年5月には自社で製造した60機の衛星を打ち上げ、同年10月にはSpaceXを率いるElon MuskがStarlinkのネットワーク経由でTwitterを発信するなど、実機の動作が確認されている。

●Telesat

カナダのTelesatは少なくとも117機のKa帯衛星により、2022年に光ファイバークラスの衛星回線を全世界で提供開始する計画だ。打ち上げにはAmazon.comの共同設立者Jeff Bezosが立ち上げたBlue OriginのロケットNew Glennを利用する予定だが、衛星の製造はThales、Airbus、Maxarの3社が競合している。

●Kuiper Systems

2019年4月にAmazon子会社のKuiper Systemsによる新たな衛星通信コンステレーションの計画が発表された。Blue Originのロケットを利用し、3236機のKa帯衛星を地上590km、610km、630kmの高度にある98の軌道に配備し、ブロードバンドインターネット接続を提供する計画だ。

このように、従来の宇宙産業界だけでなく異業種からも新規参入企業が多数登場している。技術的課題のクリアや他システムとの無線周波数の共存もさることながら、衛星製造・打ち上げ・地上設備の整備等に必要となる莫大な初期投資を回収して、継続的な事業にまで成長を遂げることができると、今後の動向が注目される。

■低軌道衛星活用の期待

ここまで述べた通り、インターネットにおいても低軌道衛星の活用が浸透しつつある。このような大規模コンステレーションによるネットワークがフルスケールで構築された後は、どのように活用されるのだろうか？ 全世界的なネットワークを提供することができるため、人の生活圏があるなしに関わらずあまねくインターネットを利用できることになる。このことは、過疎地、山岳、砂漠、海洋、極地域、などにネット接続環境を提供することになり、環境測定を始めとするIoTの拡張に有効であろう。

同様にこれまでインターネットの地上インフラの普及が進まず接続できなかったアフリカやアジア諸国の人々へのアクセスを広げることは、日本では当たり前となっているEコマースやソーシャルネットワークの拡大につながるのは想像に難くない。さらに、低軌道衛星通信の特徴を活かした使い方がある。それは「遅延の低減」である。

インターネットでの遅延はプロトコルにより差異はあるものの、一般的に処理時間が長くなり、使用感が損なわれる。例えば日本国内から米国や欧州にあるサーバーに対しては往復で100ミリ秒を超える遅延が発生するのは物理的な距離によるものである。それも直線的ではなく、恐らくは大都市に置かれているであろう、いくつかのIXを経由することで直線距離より長い距離をケーブルやファイバーで伝送されるためである。

ISLを備える低軌道衛星通信ネットワークでは直線ではないものの、その経路は最適化されより直線に近いものになる。さらに重要ポイントがある。ISLの通信は真空の空間を電波や光で行われ、その速度は光の速度と同等である。一方で地上ネットワークのケーブルやファイバーを通過する電磁波（電波や光）は進行速度が真空の空間の60-70%となることが知られている。つまり伝搬遅延が2-3割削減できることになり、長距離通信の高速化への期待につながるのだ。

さらに純粹に通信とは言えないが、低軌道衛星で通信の強化も行われようとしている。昨今、量子コンピュータの開発スピードが加速し、IBM

が世界初の商用量子コンピュータの発表を行い、グーグルも量子コンピュータによる量子超越性の実証を発表したことは2019年の大きなニュースとなった。このような量子コンピュータの実用化は暗号解読が容易に行われることを示唆しており、現在使われている暗号鍵は無効になると言われている。

そこで量子コンピュータでも解けない暗号化を実現する暗号鍵の生成と、その配送方法が研究されている。国内でも量子暗号鍵配送の研究開発を進め、光ファイバー上での量子暗号鍵配送ネットワークが2011年にNICT（国立研究開発法人情報通信研究機構）を主体として構築されたが、最大配送距離は100km程度と短く、長距離化が期待される中で低軌道衛星を利用した量子暗号鍵配送の実用化を目指した研究が進められている。このような研究開発の成果も含め、インターネットや衛星ネットワークが、人々の安心、安全に貢献を続けるだろう。

今後も低軌道衛星とそれを利用した通信システムには、注目を続けたい。



1996, 1997, 1998, 1999, 2000...

[インターネット白書ARCHIVES] ご利用上の注意

このファイルは、株式会社インプレスR&Dが1996年～2020年までに発行したインターネットの年鑑『インターネット白書』の誌面をPDF化し、「インターネット白書 ARCHIVES」として以下のウェブサイトで公開しているものです。

<https://IWParchives.jp/>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、データ、URL、名称など)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真・図の作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は掲載されていない場合があります。
- このファイルの内容を改変したり、商用目的として再利用したりすることはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用される際は、出典として媒体名および年号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレスR&D)などの情報をご明記ください。
- オリジナルの発行時点では、株式会社インプレスR&D(初期は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めました。すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接的および間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

お問い合わせ先

株式会社インプレス R&D

✉ iwp-info@impress.co.jp

©1996-2021 Impress R&D