

米衛星コンステレーション計画 についての動向調査

令和2年3月

国立研究開発法人 情報通信研究機構
(北米連携センター)

目次

1	衛星コンステレーション企業の動向	3
1.1	無線通信主導.....	3
1.1.1	OneWeb.....	7
1.1.2	SpaceX(Starlink).....	7
1.1.3	Telesat.....	9
1.1.4	Kepler Communications.....	11
1.1.5	Boeing.....	12
1.1.6	Amazon(Kuiperプロジェクト).....	12
1.2	光通信主導.....	14
1.2.1	Analytical Space.....	14
1.2.2	Skyloom Global.....	17
1.2.3	Laser Light Communications.....	18
1.2.4	BridgeComm.....	22
1.3	WRC-19での関連議論.....	22
1.4	宇宙ベンチャーへの逆風.....	23
2	5Gの台頭と衛星事業者らの期待と懸念	24
2.1	5Gへの衛星通信の統合における課題.....	25
2.2	地上通信事業者との攻防.....	25
2.3	Appleの研究開発.....	26
3	注目が集まる関連技術と運用モデル	26
3.1	ソフトウェア・デファインド技術.....	26
3.2	クラウド、エッジコンピューティング.....	28
3.3	AI.....	29
3.4	Q/V帯通信.....	29

図表

図表 1 衛星コンステレーション計画を有する北米企業比較	4
図表 2 クラウド市場における各社のマーケットシェア(2019 年第 4 四半期)	13
図表 3 2018 年時点での光衛星通信市場の地域別売上	14
図表 4 Analytical Space の衛星ネットワーク概念図	15
図表 5 ランチャーから放出される Analytical Space の Radix 衛星	16
図表 6 Skyloom Global のソリューション概念図	18
図表 7 Laser Light Communications の HALO 概念図	19
図表 8 Laser Light Communications のネットワーク概念図	20

1 衛星コンステレーション企業の動向

米宇宙軍(U.S. Space Force)の創設や、主要な低軌道(LEO)衛星コンステレーション企業である OneWeb と SpaceX の衛星打ち上げ本格化に代表されるように、2019 年は宇宙業界において目に見える形での革新が見られた年であった。一方で、衛星事業者らの懸念事項として、5G の台頭とそれに伴う潜在的な問題、週波数割り当ての問題、今後増えることが予想されるスペースデブリの問題、一部の衛星コンステレーション企業の事業停止などが浮上した。

1.1 無線通信主導

2016 年以降、FCC は非静止軌道(NGSO)に衛星コンステレーションを構築することを目指す複数の組織に対して認可を与えており、これらの企業には英 OneWeb、米 SpaceX、カナダ Telesat、カナダ Kepler Communications が含まれる。これらの企業が打ち上げを目指している小型衛星の総数は約 4 万 7,000 基¹に上るとみられている。このうち OneWeb と SpaceX は 2019 年中にそれぞれの衛星の本格的な打ち上げを開始している。

これらの企業の目的としては当初、世界の通信ギャップの解消が大々的に挙げられていたが²、近年は従来から衛星通信サービスプロバイダが役割を担ってきた軍事、商用航空機、艦船、石油・天然ガス等の業界にシフトしている動きもみられる。実際に SpaceX は 2018 年に米空軍と軍用機向けの通信試験を始めており、OneWeb もこれらの業界の法人顧客へのサービス提供を優先するとしている。1990 年代に革新的なサービス案を提示していた衛星事業者が複数倒産したこともあり、昨今の LEO 衛星コンステレーション計画に関しては、倒産させないことが最も重要という認識が業界で広まっている。

ここでは、無線通信を活用した LEO 衛星コンステレーション計画を発表している、6 つの北米企業の最近の動向についてまとめる。

¹ SpaceX だけで 4 万 2,000 基の打ち上げが計画されている。<https://www.cnn.com/2019/12/14/spacex-oneweb-and-amazon-to-launch-thousands-more-satellites-in-2020s.html>

² <https://www.airbus.com/space/telecommunications-satellites/oneweb-satellites-connection-for-people-all-over-the-globe.html>

図表 1 衛星コンステレーション計画を有する北米企業比較

事業者	OneWeb	SpaceX (Starlink)	Telesat	Kepler Communications	Boeing	Amazon (Kuiper プロジェクト)
本拠地(年)	英国(2012年)	米国(2020年)	カナダ(1969年)	カナダ(2015年)	米国(1916年)	米国(1994年)
代表者	Greg Wyler (創設者兼会長)	Elon Musk (創設者兼 CEO)	Daniel S. Goldberg (CEO)	Mina Mitry (共同創設者兼 CEO)	David L. Calhoun (CEO)	Jeff Bezos (共同創設者兼 CEO)
サービスの 特徴・用途	LEO/MEO 衛星から個人、法人(艦船、航空機等)、政府向けの高速度且つ低レイテンシのブロードバンド通信を世界中で提供	LEO 衛星から個人、法人(艦船、航空機等)、政府・軍向けの高速度且つレイテンシのブロードバンド通信を世界中で提供	LEO 衛星から、法人(艦船、航空機等)、政府向けの高速度且つレイテンシのブロードバンド通信を世界中で提供	フットボール代の LEO 衛星(自社製)に搭載する SDR モジュールから、IoT / M2M 接続向けバックホール回線を提供。	インターネットアクセスのない米国内の 3 万 4,000 人(人口 1 割)にブロードバンド通信サービスを提供(※過去の計画は凍結)	個人、法人向けの高速度且つレイテンシのブロードバンド通信を提供(AWS や Blue Origin、e コマースとの連携・役割分担?)
サービス 開始予定	2020 年(北極周辺) 2021 年(グローバル)	2020 年(米北部・カナダ) 2021 年(グローバル)	2023 年	2022 もしくは 2023 年 ※試験サービスは提供中	(不明)	最初の 578 基打ち上げ後に商用サービス提供 ³
衛星数 ⁴	LEO: 648 基(うち 48 基はスペア、720 基で 2017 年 6 月に FCC 認可済) ⁵ MEO: 最大 2,560 基 ⁶	1 万 1,943 基 ⁷ ※最大 4 万 2,000 基を想定しており、残り 3 万基は ITU に申請中(2019 年 10 月、328km-580km) ⁸	234 基(Ka 帯用 117 基は 2017 年 11 月、V 帯用 117 基は 2018 年 11 月にそれぞれ FCC 認可) ※最大 300 基?	140 基(2018 年 11 月 FCC 認可)	147 基(FCC 申請中)	3,236 基(FCC 申請中)
高度	1,200km(最大 1,980 基) 8,500km(最大 2,560 基)	335-346km(7,518 基) 550km(1,584 基) 1,110-1,325km(2,825 基)	1,000~1,248km	500~650km	1,056km(132 基) 27,335km~44,221km (15 基)	590km(784 基) 610km(1,296 基) 630km(1156 基)
衛星サイズ	小型衛星(約 130kg)	小型衛星(約 227kg) ⁹	小型衛星	ナノ衛星(約 10kg) ¹⁰	(情報見当たらず)	(情報見当たらず)
周波数 ¹¹	Ku/Ka、V、E	Ku/Ka、V	Ka、V	Ku	V	Ka

³ <https://www.technologyreview.com/f/613929/amazon-has-asked-for-permission-to-launch-3200-broadband-satellites/>

⁴ <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2019-SatSymp/Presentations/106%20-%20NGSO%20Large%20Constellations%20FCC-USA.pdf>;
http://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=1324032; <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-359909A1.pdf>

⁵ 2018 年 3 月に 1,980 基まで増やして再申請したが、FCC にて審査保留中の模様。 <https://spacenews.com/oneweb-asks-fcc-to-authorize-1200-more-satellites/>

⁶ 当初は 1,280 基を想定していたが、2018 年 1 月時点の FCC 宛文書では 2,560 基に増やしたいとしている。 http://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=1324032

⁷ 当初 4,425 基で 2018 年 3 月 FCC 認可。その後、一部衛星の予定高度を 550km に下げて 4,409 基(Ku/Ka 帯)で 2019 年 4 月認可。別途 7518 基(V 帯)で 2018 年 11 月認可。

⁸ <https://spacenews.com/spacex-submits-paperwork-for-30000-more-starlink-satellites/>

⁹ <https://www.space.com/spacex-starlink-satellites.html>

¹⁰ <https://www.keplercommunications.com/network>

¹¹ <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2019-SatSymp/Presentations/106%20-%20NGSO%20Large%20Constellations%20FCC-USA.pdf>

米衛星コンステレーション計画についての動向調査

事業者	OneWeb	SpaceX (Starlink)	Telesat	Kepler Communications	Boeing	Amazon (Kuiper プロジェクト)
通信速度	400Mbps ¹²	最高 1Gbps ¹³	上り 10Mbps、 下り最低 50Mbps ¹⁴	市販 VSAT で 30Mbps 超 ¹⁵	(情報見当たらず)	(情報見当たらず)
レイテンシ	32 ミリ秒 ¹⁶	理想は 20 ミリ秒以下 ¹⁷	18-40 ミリ秒 ¹⁸	(情報見当たらず)	(情報見当たらず)	(情報見当たらず)
衛星 打ち上げ	<ul style="list-style-type: none"> ・2019 年 2 月に 6 基打ち上げ ・2020 年 2 月に 34 基打ち上げ ・2020 年 3 月に 34 基打ち上げ(予定) 	<ul style="list-style-type: none"> ・2018 年 2 月に試験衛星 2 基打ち上げ ・2019 年 5 月、11 月、2020 年 1 月(2 回)、2 月に 60 基ずつ打ち上げ ・2020 年は 24 回の打ち上げを予定(遅延中) 	(未定) ※2020 年 3 月時点で、衛星の本格的な製造が始まっていない。	<ul style="list-style-type: none"> ・試作衛星第一号(KIPP)を 2018 年 1 月打ち上げ ・試作衛星第 2 号(CASE)を 2018 年 11 月打ち上げ¹⁹ ・試作衛星第 3 号(TARS)打ち上げ予定²⁰。 	(未定)	(未定)
連携組織例 (役割)	<ul style="list-style-type: none"> ・英 Virgin Orbit(打ち上げ) ・米 Qualcomm(研究開発・設計、資金)²¹ ・米 Coca-Cola(資金) ・日 Softbank(資金) ・米 Hughes(地上) 	<ul style="list-style-type: none"> ・米 Google(資金) ・米 Fidelity(資金) ・米 NASA(技術開発支援)²² 	<ul style="list-style-type: none"> ・カナダ政府(資金、サービス提供)²³ ・米 Loon(Alphabet の子会社)(SDN)²⁴ ・仏 Thales Alenia Space、米 Maxar Technologies(設計)²⁵ 	<ul style="list-style-type: none"> ・カナダ宇宙庁(資金)²⁶ ・英 Cobham SATCOM(戦略パートナーシップ)²⁷ ・米 Costanoa Ventures(資金) ・米 Phasor(IoT サービス向けアンテナ) 	(情報見当たらず)	(情報見当たらず) ※ただし、Bezos 氏は以下の事業も運営している。 <ul style="list-style-type: none"> ・Blue Origin(衛星打ち上げ) ・AWS Ground Station(地上通信サービス)

¹² https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/0E/R0A0E0000D70001PDFE.pdf

¹³ <https://www.ispreview.co.uk/index.php/2017/05/spacex-pledge-1gbps-speed-25ms-latency-leo-satellite-broadband.html>

¹⁴ <https://www.telesat.com/connect-everyone>

¹⁵ <https://www.keplercommunications.com/services/global-data>

¹⁶ <https://arstechnica.com/information-technology/2019/07/onewebs-low-earth-satellites-hit-400mbps-and-32ms-latency-in-new-test/>

¹⁷ イーロン・マスク氏の 2020 年 3 月の会議での発言より。 <https://www.aviationtoday.com/2020/03/12/elon-musk-talks-starlink-5g-education-satellite-2020/>

¹⁸ <https://www.telesat.com/news-events/worlds-first-5g-backhaul-demo-over-leo-satellite>

¹⁹ <https://www.keplercommunications.com/network#case-slide>

²⁰ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/kepler-3.htm

²¹ <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/qualcomm-and-oneweb.pdf>

²² <https://www.space.com/nasa-moon-mars-technology-commercial-partnerships.html>

<https://www.nasa.gov/press-release/new-companies-join-growing-ranks-of-nasa-partners-for-artemis-program>

²³ <https://www.telesat.com/news-events/government-canada-and-telesat-partner-bridge-canadas-digital-divide-through-low-earth>

²⁴ <https://www.telesat.com/news-events/telesat-partners-alphabets-loon-design-network-operating-system-telesats-global-leo>

²⁵ <https://www.telesat.com/news-events/telesat-signs-consortium-thales-alenia-space-and-maxar-technologies-owner-ssl-further>

²⁶ <https://spaceq.ca/kepler-communications-goes-in-house-and-local-to-manufacture-satellite-constellation/>

²⁷ <https://www.keplercommunications.com/newsroom/press-releases/post/kepler-and-cobham-satcom-form-strategic-partnership-for-high-capacity-satellite-data-service-delivery>

1.1.1 OneWeb

OneWeb は、最大 1,980 基(うち 648 基²⁸をフェーズ 1 で打ち上げ予定)の LEO 衛星と、最大 2,560 基²⁹の MEO 衛星で構成されるコンステレーションを基に高速ブロードバンド・サービスの提供を目指しており、試験的なサービス提供を 2020 年末までに開始し、法人顧客(艦船、航空機、政府、その他企業)向けのフルサービスを 2021 年までに提供する事を目指している³⁰。

2019 年 2 月に最初の衛星 6 基を打ち上げた OneWeb は、同年 7 月にフロリダ州に衛星製造工場を新たにオープンした。これによって日に 2~3 基ずつ衛星を製造することが可能となり、次回の打ち上げから 30 基ずつの打ち上げを行う計画も表明された。実際に 2020 年 2 月に 34 基の衛星が無事に打ち上げられており、2020 年 3 月中にも打ち上げを予定している³¹。

OneWeb は地上に設置するユーザー・ターミナルの開発も加速させており、パラボラアンテナと電子走査フラットアンテナの両方を開発している。同社は 2020 年 3 月、各コミュニティに設置して Wi-Fi サービスを提供する事を目的としたコミュニティ共用型ホットスポットを 1,000~1,500 ドルで販売する予定であると発表した。また、商用航空機向けのアンテナ・チップセットは、15 万ドルでの販売を目指すとしているが、これは現在の市場価格のおよそ半分と非常に安価であることも同社代表は認めている。ユーザー・ターミナルを自社製造することを予定している SpaceX と異なり、OneWeb は地上機器の製造を外注する予定であり、自社での製造は予定していない³²。

1.1.2 SpaceX(Starlink)

SpaceX の衛星コンステレーション・プロジェクトの Starlink も 2018 年 2 月に試験衛星 2 基を打ち上げた後、2019 年 5 月より本格的な打ち上げを開始した。SpaceX はすでに、同コンステレーションを構成する予定の 1 万 2,000 基(Ka/Ku 帯利用の 4,425 基[一部 V 帯も利用]、V 帯利用の 7,518 基)の衛星の製造と打ち上げを始めており、さらに追加で 3 万基の衛星を高度 328km~580km で運用するため ITU に申請を提出している³³。SpaceX は 2019 年 5 月³⁴、11 月、2020 年 1 月(2 回)、2 月にそれぞれ 60 基ずつ衛星を打ち上げ、2020 年 3 月初頭時点で打ち上げ済みの衛星数は 302 基に達する³⁵。

²⁸ FCC からは 720 基で認可が出ている。<https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2019-SatSymp/Presentations/106%20-%20NGSO%20Large%20Constellations%20FCC-USA.pdf>

²⁹ 当初は 1,280 基を想定していたが、2018 年 1 月時点の FCC 宛文書では 2,560 基に増やしたいとしている。http://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=1324032

³⁰ <https://www.universetoday.com/144887/here-comes-the-next-satellite-constellation-onweb-launches-34-satellites-on-thursday/>

³¹ <https://www.cnn.com/2020/02/06/tech/onweb-satellite-internet-launch-scn/index.html>

<https://www.thespacereview.com/article/3807/1>

³² <https://spacenews.com/onweb-spacex-optimistic-about-cheap-user-terminals/>

³³ <https://spacenews.com/spacex-submits-paperwork-for-30000-more-starlink-satellites/>

³⁴ ただし、2019 年 5 月の打ち上げは一部失敗し 10 基程度の衛星が軌道に達しなかったという分析もある。

<https://spacenews.com/spacex-becomes-operator-of-worlds-largest-commercial-satellite-constellation-with-starlink-launch/>

³⁵ <https://spacenews.com/spacex-launches-fifth-batch-of-starlink-satellites-misses-booster-landing/>

Starlink は 2020 年中に合計 24 回の打ち上げを予定しているが³⁶(60 基ずつであれば計 1,440 基)、この打ち上げ数は SpaceX がこれまでに一年間で対応した打ち上げを上回るものであり、その実現性には疑問を呈する有識者もいる³⁷。実際に 2020 年 3 月に予定されていた打ち上げは、Falcon 9 ロケットのエンジン不調により、急遽延期となった³⁸。SpaceX の CEO であるイーロン・マスク氏(Elon Musk)によれば、同社は日に 6 基の衛星を製造している³⁹。

マスク氏によれば、Starlink の構築にかかる費用は 100 億ドルかそれ以上と見込まれているが⁴⁰、同時に同コンステレーションが SpaceX にもたらす年間売上は 300 億ドルに達する予定である。これは同社が現在打ち上げビジネスから得ている売上のほぼ 10 倍である。マスク氏は地上通信事業者と敵対するつもりはないという明確な姿勢も表明しており、逆にバックホール業務などを通じて、地上通信事業者と連携する道を探りたいとも発言している⁴¹。

最近の動向

マスク氏は 2019 年 10 月、Starlink の衛星通信ネットワークを活用して初めてツイートを行うことができたこと Twitter 上で発表した⁴²。加えて同月 SpaceX は、Starlink の衛星コンステレーションを用いて米空軍の軍用機向けに暗号化されたインターネット・サービスを提供する試験を実施していると発表した。米空軍は「Global Lightning」と呼ばれるプロジェクトの中で、2018 年初頭から SpaceX が打ち上げた 2 基の試験衛星を活用し、飛行中の C-12 軽輸送機に 610Mbps 程度の通信を行えるかのテストを行っているという。この試験は、国防総省から SpaceX に委託されている総額 2,800 万ドル規模の業務の中で実施されており、他の複数の軍用機への通信試験も実施される予定だという⁴³。

また Starlink は OneWeb と同様、地上アンテナの開発を急いでいるが、OneWeb と異なり、社内での製造を予定しており、また具体的な価格の表明はしていない。マスク氏は同社が開発するユーザー・ターミナルは、「薄くてフラット、スティックの先に UFO が付いたような形状で、モーターを内蔵しており、指向方向を調整可能」と発言している。Starlink の副社長であるジョナサン・ホーフエラー氏(Jonathan Hofeller)によれば、同社は電子走査アンテナの開発も行っているが、技術的に低価格化が難しいため、一般消費者向けの価格で販売するのは非常に困難としている⁴⁴。

Starlink 計画に対する懸念・批判

³⁶ <https://www.nasaspacesflight.com/2020/01/spacex-launch-third-operational-starlink-mission/>

³⁷ <https://www.thespacereview.com/article/3807/1>

³⁸ <https://www.space.com/spacex-starlink-5-satellites-launch-abort.html>

³⁹ <https://www.cnbc.com/2020/03/09/spacex-raising-500-million-in-new-funding-for-elon-musks-company.html>

⁴⁰ <https://www.aerospacedefensereview.com/news/boeing-ready-to-take-orders-for-702x-satellite-nwid-123.html>

⁴¹ <https://www.cnbc.com/2019/12/14/spacex-oneweb-and-amazon-to-launch-thousands-more-satellites-in-2020s.html>

⁴² <https://www.nytimes.com/2019/11/11/science/spacex-starlink-satellites.html>

⁴³ <https://www.reuters.com/article/us-spacex-starlink-airforce/musks-satellite-project-testing-encrypted-internet-with-military-planes-idUSKBN1X12KM>

⁴⁴ <https://spacenews.com/oneweb-spacex-optimistic-about-cheap-user-terminals/>

一方で、同社の衛星コンステレーション事業に対しては、懸念や批判の声も上がっている。2018年11月に SpaceX が FCC に対し、コンステレーション計画の改訂に関する申請⁴⁵を提出した後は、競合他社の OneWeb や Kepler Communications から FCC に対し、SpaceX に認可を出さないように求める文書が提出された。この文書の中で同2社は、SpaceX が同2社が利用を予定している周波数と類似の周波数の利用を検討しており、なお且つ当初の計画よりも低い軌道で利用する予定としていることから、それぞれの衛星への干渉が懸念されるとした。FCC は最終的に SpaceX の改訂版の申請に対して認可を出している。この認可審査プロセスでは、衛星同士の衝突やデブリの問題も焦点となったが、FCC はこれらの問題に対する SpaceX の対策案を承認し、認可を付与するに至った⁴⁶。

また Starlink の本格的な打ち上げが開始された 2019 年 5 月より、天文学会関係者から Starlink の衛星からの光の反射によって天文観測が阻害されているという声明が複数発表されている。この原因の一つとしては、Starlink の衛星が他の衛星より光を反射し易い外装をしていることが挙げられている。通信干渉やデブリの問題とは異なり、衛星の光反射が及ぼす影響についての国際的な議論はこれまでほとんど行われてこなかったため、現時点では今後の対策は Starlink 側の裁量に任されている部分が大きく、今後の展開が懸念されている⁴⁷。

1.1.3 Telesat

カナダ企業の Telesat(オンタリオ州オタワ)は、300 基ほどの衛星(うち 234 基は FCC の認可取得済み)を高度 1,000km~1,248km に打ち上げ、Ka 帯と V 帯(衛星のおよそ半分ずつがそれぞれの帯域を対応予定)を使った通信を提供するという計画を表明している⁴⁸。同社は 2022 年末までには一部のサービス提供を開始し、2023 年末までには完全なサービス提供を目指すとしているが、近年は計画が遅延傾向にある⁴⁹。

Telesat のコンステレーション計画が抱えるジレンマ

LEO 衛星コンステレーションの構築・運用は、老舗衛星事業者の Telesat にとって大きなビジネス転換になる可能性があり、OneWeb や SpaceX、Amazon などの比較的最近参入してきた企業と比べると、その進捗には慎重さが求められている。1969 年から衛星事業者としてビジネスを行っている Telesat は、すでに静止軌道(GEO)衛星を 16 基運用して(C、Ku 帯利用)衛星放送サービスなどを提供しており、これから得られる売上は、同社の売上全体のおよそ半分を占める⁵⁰。

⁴⁵ 元々は 4,425 基の衛星を 1,110~1,325km で運用する計画で、FCC から認可が付されていたが、このうち 1,584 基については、550km で運用する方針に変更となり、改訂版が出された。

⁴⁶ <https://www.theverge.com/2019/4/27/18519778/spacex-starlink-fcc-approval-satellite-internet-constellation-lower-orbit>

⁴⁷ <https://www.vox.com/science-and-health/2020/1/7/21003272/space-x-starlink-astronomy-light-pollution>
<https://www.nytimes.com/2019/11/11/science/spacex-starlink-satellites.html#commentsContainer>

⁴⁸ <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2019-SatSymp/Presentations/106%20-%20NGSO%20Large%20Constellations%20FCC-USA.pdf>

⁴⁹ <https://spaceq.ca/telesat-patiently-prepares-for-leo-satellite-constellation-business/>

⁵⁰ <https://spacenews.com/telesat-leo-manufacturing-decision-bumped-to-2020/>

一方で、同社が計画している新しい LEO 衛星コンステレーションは Ka 帯や V 帯の利用を検討しており、既存の静止衛星ビジネスとの間で、利用している軌道、周波数、提供が理想的なサービスの面などで違いがある。このため、同社の静止衛星サービスを利用している既存の顧客からは、静止衛星サービスの継続を求める声もあり、同社としては静止衛星サービスから LEO 衛星サービスへの移行をどのように、またどの程度のスピードで行うかを慎重且つ柔軟に検討する必要があるという⁵¹。

こういった背景も影響しているのか、Telesat は LEO 衛星コンステレーション構築に向けた取組において、既に本格的な衛星の打ち上げを始めている OneWeb と SpaceX に後れを取っているという分析もみられる。Telesat は元々 2021 年のサービス提供を予定していたが、2020 年初頭時点では 2022 年に降に 1 年ほど後ろ倒しとなっており、また衛星の本格的な製造も始まっていない⁵²。

同社は 2018 年の段階で衛星のデザイン設計業務を仏 Thales Alenia Space と米 Maxar Technologies に依頼したが、これはあくまでもデザイン設計のみで、製造業務依頼ではなかった⁵³。Telesat は 2020 年の第 1 四半期を目途に衛星製造の委託先を決定するとしているが、候補として Thales Alenia Space や Maxar Technologies、欧 Airbus Defense and Space などの名前が挙がっており、製造費は 30 億ドル規模になるとみられている⁵⁴。Telesat が打ち上げを予定している衛星は、SpaceX が打ち上げている衛星よりも大型で、また技術的にも精密なものという情報もある⁵⁵。

カナダ政府との覚書締結

しかしながら、2019 年 7 月にカナダ政府との間で公的支援と政府向けサービスの提供に関する覚書を結んだことで、Telesat の LEO 衛星コンステレーション計画は軌道にのったという見方が強まった。カナダ政府が覚書の締結を決めた背景には、Telesat が構築するコンステレーションによって、カナダ国内の僻地の通信が補完されるという期待がある。カナダ政府は Telesat の研究開発への 8,500 万カナダドル(6,470 万米ドル)規模の支援を始めており、コンステレーション完成後に提供される通信サービスには、最大 6 億カナダドル(4 億 5,660 万米ドル)を払うとしている。カナダ政府との覚書締結を通じて、Telesat は、サービス提供開始後の 10 年間で 12 億ドル規模の売り上げを見込んでおり、カナダ国防省・軍向けの極軌道衛星サービスへの応札など、更なるビジネス開拓も視野に入れている⁵⁶。

Telesat は元々、新しい LEO 衛星コンステレーションを活用して航空機や艦船、法人向けのサービスを中心に提供するとしており、実際に艦船向けサービスの提供に関する事前契約も結んでいるが⁵⁷、今回のカナダ政府との覚書締結を通じて、政府向けのサービス提供や通信ギャップ解消にもビジネスの幅を拡張したものとみられる⁵⁸。他方で OneWeb や SpaceX は元々、通信ギャップ解消を主要な目標

⁵¹ <https://spacenews.com/telesat-leo-manufacturing-decision-bumped-to-2020/>

⁵² <https://spacenews.com/telesat-leo-manufacturing-decision-bumped-to-2020/>

⁵³ <https://spacenews.com/telesat-selects-thales-maxar-team-for-leo-constellation-design-work/>

⁵⁴ <https://spacenews.com/telesat-leo-manufacturing-decision-bumped-to-2020/>

<https://spacenews.com/canadian-government-pledges-521-million-for-telesat-leo-constellation/>

⁵⁵ <https://advanced-television.com/2020/03/02/telesat-leo-constellation-in-2022/>

⁵⁶ <https://spaceq.ca/telesat-patiently-prepares-for-leo-satellite-constellation-business/>

<https://spacenews.com/telesat-leo-manufacturing-decision-bumped-to-2020/>

⁵⁷ <https://spacenews.com/telesat-to-receive-constellation-bids-this-summer/>

⁵⁸ <https://spacenews.com/canadian-government-pledges-521-million-for-telesat-leo-constellation/>

として掲げていたが、前述のとおり近年は軍や法人向けのサービス提供も視野に入れ始めており、LEO衛星コンステレーション企業の間でも本格的な運用開始を視野にいれた営業活動が活発化しているようである。

1.1.4 Kepler Communications

トロントに拠点を置く Kepler Communications は、IoT やデータバックホール向けの衛星通信サービスを提供する事を目的とした、10kg 程度の小型衛星 140 基 (SDR モジュール搭載) で構成される衛星コンステレーション (高度 520km~650km) の構築を目指している。Kepler Communications の計画に対しては、FCC が 2018 年 11 月に Ku 帯利用の認可を与えており、同社は 2022 年までの全基打ち上げを予定している⁵⁹。

同社の試験衛星 2 基は 2018 年の段階ですでに打ち上げられているが、今後打ち上げる予定の衛星の一部は、SpaceX に打ち上げを委託する予定であるという。打ち上げは他社とのロケット共有の形で行われる予定で、第一陣の打ち上げは 2020 年にも行われる見込みである。Kepler Communications は顧客として、艦船、石油・天然ガス、農業、その他産業において IoT 機器を利用している法人を想定しており、一般的な IoT 向けの衛星通信サービスよりも高速の通信を提供する事を目指しており、ナローバンドや Ku 帯を利用するとしている⁶⁰。

Kepler Communications は当初、衛星の製造を外注する予定でいたが、最終的にトロント大学の支援を受けつつ、自社で開発を行うと決定した。同社が構築を想定している衛星の設計寿命は 3~5 年ということである⁶¹。また同社は、カナダ宇宙庁から 100 万カナダドル (76 万米ドル) を受け取り、衛星バスのデザインや製造を改善することとしている。Telesat と同様、Kepler Communications のコンステレーション計画も、カナダ国政府肝いりの計画と位置付けられたということである⁶²

Kepler Communications が衛星製造を自社で対応するというニュースは、キューブサットやスモールサットの製造業界が直面している課題を浮き彫りにしたという分析もある。キューブサットやスモールサットの製造業界に参入を決めたベンチャー企業は多数あるものの、委託元からは安価且つ迅速に、技術的にも優れた衛星を作るように求められているほか、一回当たりの製造個数がそれほど多くない (100 基など) ケースが多いこともあり、実際の契約やビジネスに至るまでの交渉が難航するケースが多いという。関係者によれば、スモールサットやキューブサット業界では、打ち上げよりも製造が課題となっている。こういった状況の中で、Kepler Communications のように自社で製造までやることを目指す企業も出てきているが、自社製造にも課題はあると指摘する声もある⁶³。

⁵⁹ <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2019-SatSymp/Presentations/106%20-%20NGSO%20Large%20Constellations%20FCC-USA.pdf>

⁶⁰ <https://spacenews.com/kepler-books-spacex-rideshare-for-leo-satellites/>

⁶¹ <https://spacenews.com/kepler-communications-opens-launch-bids-for-gen-1-leo-constellation/>

⁶² <https://spacenews.com/keplers-decision-to-build-its-own-cubesats-surprises-manufacturers/>

⁶³ <https://spacenews.com/keplers-decision-to-build-its-own-cubesats-surprises-manufacturers/>

1.1.5 Boeing

Boeing は 2016 年、高度 1,200km と 2 万 km 以上でそれぞれ C・V 帯と Ka 帯の衛星コンステレーションを構築する申請を FCC に提出していたが、2018 年時点でこれらの計画の凍結を決め、FCC 側も Boeing が申請を取りやめたことを認めている⁶⁴。一方で、同社が新しいコンステレーション計画を有していることが、2019 年 3 月に明らかとなった。この計画によれば Boeing は現在、147 基(132 基は高度 1,056km、15 基は 2 万 7,355km~4 万 4,221km)⁶⁵の衛星を打ち上げ、V 帯を利用してインターネット・アクセスのない米国内の 3,400 万人(総人口のおよそ 1 割)にブロードバンド通信サービスを提供する事を目指している⁶⁶。ただしこの計画については、2020 年 3 月時点ではほとんど情報がみられない。

1.1.6 Amazon(Kuiper プロジェクト)

米大手プラットフォーム企業の Amazon も、NGSO 衛星コンステレーション計画への参入を決めた。同社は 2019 年 4 月に Kuiper Systems 社(Amazon 子会社)名義で ITU に対して 3,236 基の LEO 衛星コンステレーションで利用するための周波数の申請を行い、同年 7 月に FCC に対しても申請を行った。この Kuiper Systems 社の計画、通称 Kuiper プロジェクトでは、784 基を高度 590km、1,156 基を 630km、1,296 基を 610km に打ち上げることとなっており、これは競合他社の計画しているコンステレーションの高度より低いことが指摘されている⁶⁷。

Kuiper プロジェクトの計画に関して、誰が衛星の製造を行うか、いつ衛星の打ち上げを開始するかなどの詳細についてはまだ不透明である。しかしながら、Amazon 創設者のジェフ・ベゾス氏(Jeff Bezos)は、衛星打ち上げ企業の Blue Origin の創設者でもあり、報道では Blue Origin と Kuiper プロジェクト間の相関も示唆されている⁶⁸。Kuiper Systems は 2019 年夏に米衛星業界団体の Satellite Industry Association にも加盟した⁶⁹。

Kuiper プロジェクトが公表される前の段階でも、既に関連の動きがみられていた。Amazon と Lockheed Martin は 2018 年 11 月、衛星ベンチャーなどを対象とした安価な衛星地上局サービスを提供するため、新しいベンチャー企業 AWS Ground Station を創設した。同企業は今後、AWS を基にしたクラウド・コンピューティング機能やパラボラアンテナなどのインフラを備えた地上局を整備し、これらのインフラの調達に苦戦している衛星ベンチャーやリモート・センシング専門企業に対し、利用時払い方式(pay-as-you-go basis)で地上局サービスを提供する予定だという。地上局を配置する場所はまだまだ不透明だが、AWS は 2019 年末までに AWS データセンターに併設された 14 の地上局を運営し、Lockheed Martin が有する小型アンテナネットワーク Verge に接続したネットワークを整備予定であ

⁶⁴ <https://spacenews.com/amazon-planning-3236-satellite-constellation-for-internet-connectivity/>

⁶⁵ [https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2019-](https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2019-SatSymp/Presentations/106%20-%20NGSO%20Large%20Constellations%20FCC-USA.pdf)

[SatSymp/Presentations/106%20-%20NGSO%20Large%20Constellations%20FCC-USA.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2019-SatSymp/Presentations/106%20-%20NGSO%20Large%20Constellations%20FCC-USA.pdf)

⁶⁶ <https://www.seattlebusinessmag.com/technology/boeing-back-race-build-space-based-internet>

⁶⁷ 比較として OneWeb は 1,200km、Telesat は 1,000~1,250km である。SpaceX は 1,584 基については、550km で運用する旨、計画を変更した。

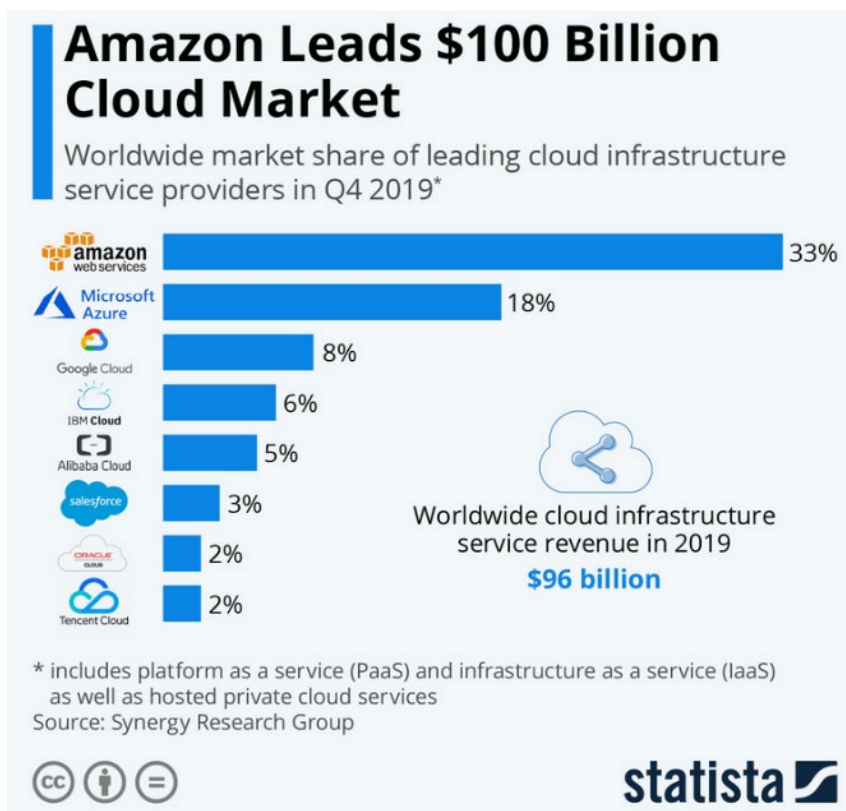
⁶⁸ <https://spacenews.com/amazon-planning-3236-satellite-constellation-for-internet-connectivity/>

⁶⁹ <http://www.spaceref.com/news/viewstr.html?pid=52761>

る。AWS Ground Station はすでに初期顧客を抱えており、これにはリモートセンシング企業の Digital Globe、BlackSky、Spire、Capella Space などが含まれる⁷⁰。

衛星通信サービスの提供を目指す Kuiper プロジェクト、衛星打ち上げ能力を有する Blue Origin、地上局の運営を支える AWS Ground Station、さらには e コマースサービスである Amazon.com のそれぞれが補完的な役割を担い、Amazon のビジネスを更に飛躍させるという分析も報道ではみられる。特に AWS Ground Station が活用を予定している AWS は、2019 年第 4 四半期時点で、世界のクラウド市場の 3 割以上のシェアを確保しており(以下の図参照)、Amazon の売上の 6 割近くの出元となっているため、AWS と衛星ネットワークの統合だけでも Amazon にとっては大きなビジネスチャンスとなることが予想される。加えて、Amazon がインターネットサービスに参入すれば、それだけでも市場に大きな変革が生まれる可能性がある。現時点では Amazon の構想の全体像が不透明ではあるが、今後注視の必要があるであろう⁷¹。

図表 2 クラウド市場における各社のマーケットシェア(2019 年第 4 四半期)



出典: Statista⁷²

⁷⁰ <https://spacenews.com/satellite-data-business-is-amazons-next-disruption-target/>

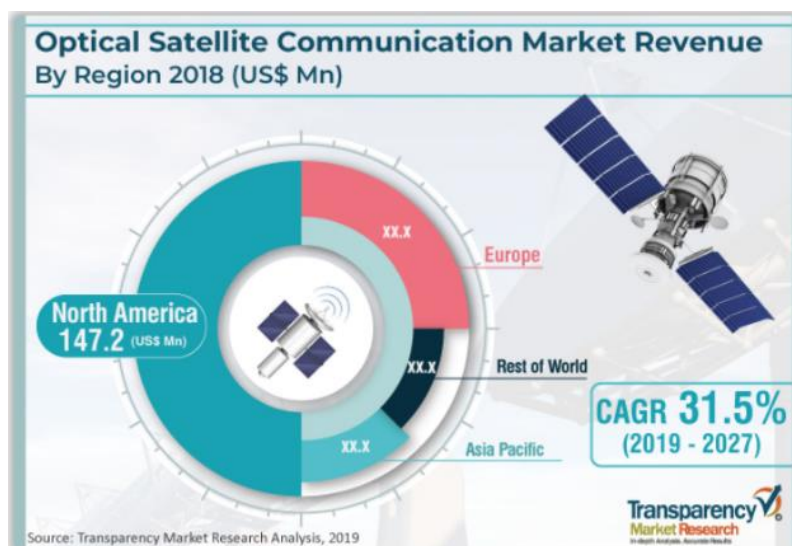
⁷¹ <https://medium.com/@dkoffler/amazon-may-be-about-to-push-edge-computing-into-low-earth-orbit-and-change-the-world-again-acb3e9f6e95d>

⁷² <https://www.statista.com/chart/18819/worldwide-market-share-of-leading-cloud-infrastructure-service-providers/>

1.2 光通信主導

米国やインドを拠点とする調査会社 Transparency Market Research が 2019 年 4 月に発表した報告書によれば、光衛星通信の世界市場は 2017 年に 2.97 億ドル規模の売上を達成したとみられるが、2027 年までに 42.4 億ドル規模にまで増える見込みである。2018 年時点での光衛星通信の地域別市場規模は、北米が最も大きく、世界市場の半分近くを占め、その後欧州やアジアが続いた⁷³。

図表 3 2018 年時点での光衛星通信市場の地域別売上



出典： Transparency Market Research⁷⁴

光衛星通信の需要が高まっている背景には、5G の登場や M2M や IoT の台頭などがあり、現在進められている光衛星通信技術の研究開発では、光衛星通信を活用した高速・大容量通信や 5G のバックホール通信の実現等が検討されている⁷⁵。ここでは、光リンクを用いた衛星コンステレーションや通信技術の開発に力を入れている北米企業の代表格である Analytical Space、Skyloom Global、Laser Light Communications、BridgeComm の 4 社の動向をまとめる。

1.2.1 Analytical Space

マサチューセッツ工科大学(MIT)のインキュベータ「The Engine」を拠点とする Analytical Space は、2016 年に Danial Nevius 氏と Justin Oilveria 氏によって創設された宇宙ベンチャーである。The Engine は、「タフテック(tough tech)」と呼ばれるグローバル社会が抱える重要な課題解決に必要とされる重点技術に焦点を当てており、こういった技術を活用した長期的且つ効果的なビジネスビジョンを持つ起業家に対し、支援を提供している。タフテックには、以下の様な技術が含まれる⁷⁶。

⁷³ <https://www.transparencymarketresearch.com/optical-satellite-communication-market.html>

⁷⁴ <https://www.transparencymarketresearch.com/optical-satellite-communication-market.html>

⁷⁵ <https://www.transparencymarketresearch.com/optical-satellite-communication-market.html>

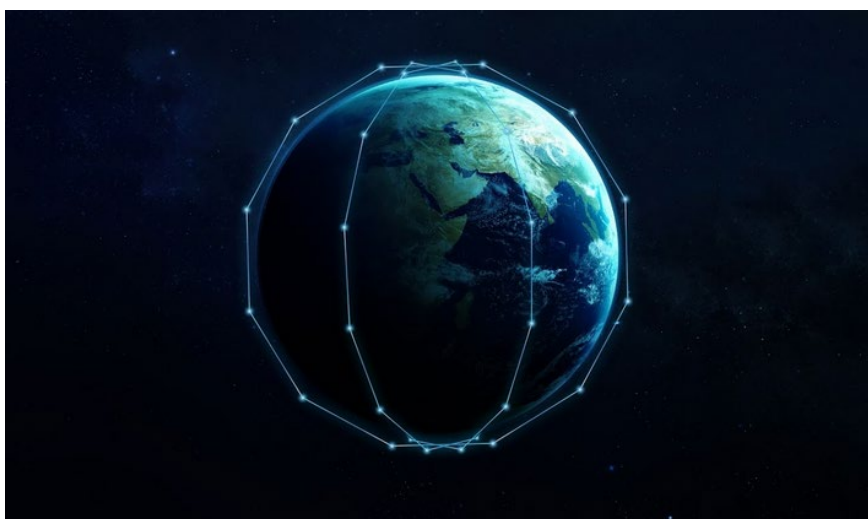
⁷⁶ <https://www.engine.xyz/>

- 先端製造
- エネルギー
- 先端材料
- 食料・農業
- バイオテック、ライフサイエンス
- ロボティクス
- 宇宙
- 半導体
- 量子コンピューティング
- IoT
- AIと機械学習
- その他の新技術間の統合

Analytical Space は、靴箱サイズのナノ衛星を LEO に打ち上げ、衛星データ伝送用のリレー通信網を構築し、顧客が衛星データをハイスループット且つ低レイテンシで常時地上に送れるような仕組みを作ることを目指している。この伝送は、以下の 4 つステップで行われる予定であり、ダウンリンクには無線通信と光通信を併用するとしている。これにより、従来 1 日に数時間のみ可能だった衛星からのデータ伝送が、24 時間 365 日体制で可能になるという⁷⁷。

- ①. 顧客の衛星がセンサー経由でデータを収集
- ②. 顧客の衛星が無線通信を利用して Analytical Space のネットワークにデータをオフロード
- ③. 軌道にある Analytical Space 衛星(複数)が、顧客のデータを軌道上の衛星間でリレー伝送
- ④. 無線通信と光通信のハイブリッドにより、顧客のデータを地上に伝送

図表 4 Analytical Space の衛星ネットワーク概念図



出典: Analytical Space (press kit)⁷⁸

Analytical Space が開発している通信システムは、後方互換性 (backward compatibility) を有しているため、顧客の既存ハードウェアのダウンリンク周波数に合わせた運用が可能である。顧客のリモートセンシングや産業用 IoT の活用を支援するとしており、最終用途としては政府機関や軍、民間企業が実施する気象予測、艦船や航空機の追跡、画像伝送、合成開口レーダー (synthetic aperture radar: SAR) 等が想定されている⁷⁹。

⁷⁷ <https://www.analyticalspace.com/>

⁷⁸ <https://www.analyticalspace.com/news>

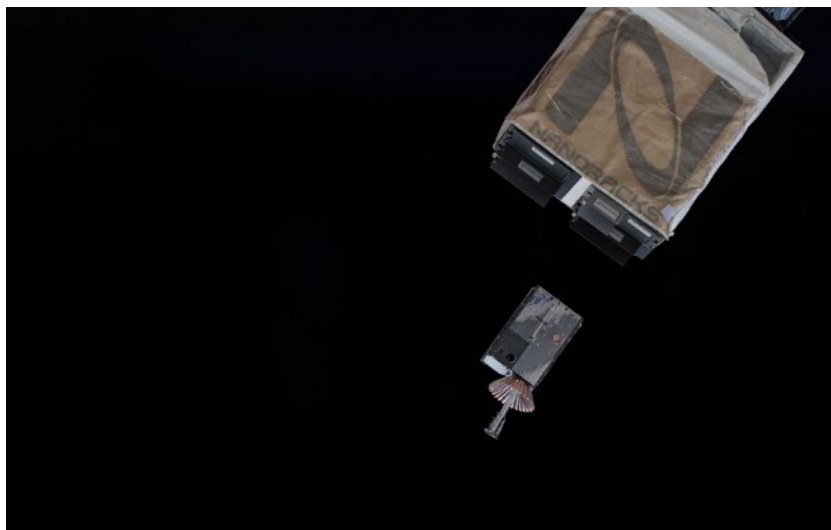
⁷⁹ <https://www.analyticalspace.com/http://spaceref.com/news/viewpr.html?pid=52824>

顧客が有する衛星のダウンリンク支援に特化するというビジネスモデルは、創設者の Oilveria 氏が米大統領府や NASA に勤務している際に発案したものである。Nevius 氏も Oliveira 氏も、ハーバード大学の MBA 保有者で、米大統領府や NASA、ボストン・コンサルティング・グループなどの官民組織において、宇宙プログラムの実施や管理をサイエンス、ビジネス、政策、戦略等の多方面から支援してきた豊富な実績を有する。これらの学際的な経験が、実務的なビジネス構想の礎となった⁸⁰。

Analytical Space のアイデアに対しては、政府機関、宇宙業界、その他産業界が強い関心を示している。同社のビジネスに対しては、Space Angels、Flybridge Capital、Shasta Ventures、Yard Ventures、The Dorm Room Fund、NXT Ventures、Masschallengee といったベンチャーキャピタル及びスタートアップ・アクセラレーターのほか、日本のドリームインキュベータも出資を表明している。これまでの出資総額は 350 万ドルに上り、この他、NASA や米国家地理空間情報局(NGA)等を含む各界の有識者で構成される諮問委員会が同社にアドバイスを提供している⁸¹。

同社はこれまでに 2 基の試験衛星を打ち上げており、一基目の試験衛星 Radix(6U サイズ)は、2018 年夏に、国際宇宙ステーション(ISS)から LEO に打ち上げられた。二基目の試験衛星 Meshbed(3U サイズ)は、2019 年秋に打ち上げられた(無事に軌道に達したか不透明である)。Radix には光通信機能が搭載され、産学官の組織が運用する 12 の衛星とのリレー伝送試験が行われている⁸²。

図表 5 ランチャーから放出される Analytical Space の Radix 衛星



出典： Analytical Space (press kit)⁸³

⁸⁰ <https://www.linkedin.com/in/danielnevius>
<https://www.linkedin.com/in/justin-oliveira-56b3b1b>
<https://www.dreamincubator.co.jp/news/toanalypics/2017/1208/>

⁸¹ <http://spaceref.com/news/viewpr.html?pid=52824>
<https://www.dreamincubator.co.jp/news/topics/2017/1208/>
<https://www.businesswire.com/news/home/20190910005629/en/Robert-Cardillo-Director-National-Geospatial-Intelligence-Agency-Joins>

<https://www.newspace.im/constellations/analytical-space>

⁸² <http://www.satnews.com/story.php?number=1962256737>

⁸³ <https://www.analyticalspace.com/news>

一方で Meshbed には米国政府向けの研究開発機関である MITRE が開発した広帯域対応のフェーズアレー・アンテナである FUSE アンテナ (Frequency-scaled Ultra-wide Spectrum Element Antenna) が搭載された。FUSE アンテナは、MITRE が米海軍研究所と連携して開発したアンテナであり、軍の艦船の衛星通信を支援する事を目的としている⁸⁴。Analytical Space の 3 基目の衛星は 2020 年中の打ち上げが予定されている⁸⁵。

Analytical Space は米空軍とも研究開発の面で連携しており、2019 年 3 月、米空軍研究所 (Air Force Research Laboratory) 傘下で運用されている商用宇宙通信にフォーカスした短期アクセレーター・プログラム (12 週間) の対象として、Skyloom Global (詳細後述) ら他 6 社とともに選出された。各社はリード投資や、ネットワーキング、メンターシップ、ワークショップ、投資等の支援を受けた⁸⁶。

また米空軍が運営しているイノベーション開発プログラム (AFWER) を通じて、Analytical Space は 2019 年 5 月に中小企業向けの複数年の共同研究契約を締結した。2017 年に創設された同プログラムは、米空軍の将来的なオペレーションを支援するため、産学官の有する英知や技術を結集し、新しいイノベーションを創設する事を目指して運用されている。米空軍は Analytical Space のデータ伝送サービスを用いれば、よりタイムリー且つ効率的に商用衛星画像の取得が可能となると期待を表明している⁸⁷。

1.2.2 Skyloom Global

Skyloom Global は 2017 年に Marcos D. Franceschini 氏と Santiago Tempone 氏により創設されたベンチャー企業である。当初はアルゼンチンで立ち上げられたが、現在はカリフォルニア州オークランドに本社を構え、またフロリダ州スペースコースト地域のメリット島にも拠点を有する。同社は、高度 2 万マイル (約 3 万 2,000km) に配置する予定の自社の MEO 衛星を活用して、LEO 衛星 (同社の顧客が保有もしくは運用) と地上の基地局とを光通信でつなぎ、LEO 衛星向けの毎秒 1 テラビット通信網を構築、衛星—地球間通信のボトルネック解消を目指している。今後 LEO 衛星の数が増え、また利用価値が高まることを見越し、LEO 衛星に焦点を当てた通信インフラを提供することに焦点を当てている。

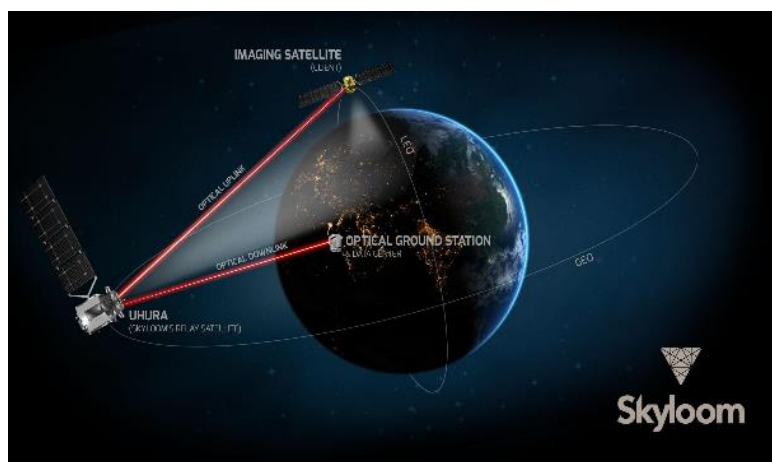
⁸⁴ <https://www.mitre.org/news/press-releases/asi-to-launch-cubesat-demo-that-could-lead-to-quicker-access-to-satellite-data>

⁸⁵ <https://www.nanosats.eu/sat/radix>
<https://www.nanosats.eu/sat/meshbed>

⁸⁶ <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/07/08/1879240/0/en/Catalyst-Campus-Overflows-for-AFRL-Space-Accelerator-Demo-Day.html>
https://gazette.com/business/catalyst-space-accelerator-selects-seven-for-third-cohort/article_57ad53f0-5189-11e9-a7df-af0e03e233b5.html

⁸⁷ <http://www.satnews.com/story.php?number=1962256737>

図表 6 Skyloom Global のソリューション概念図



出典： Skyloom Global⁸⁸

光通信を利用することで、大量のデータの高速通信が可能となるほか、無線通信用の周波数規制の影響を受けないというメリットもある。対象顧客としては、地球観測、IoT、ブロードバンド通信サービス等の提供を目指す LEO 衛星コンステレーション企業が想定されており、Skyloom Global のサービスを用いることで、データ伝送の大容量化、高速化、時間・場所の柔軟性が期待される⁸⁹。

これまでに Skyloom Global に対して行われた投資額の総額は不透明であるものの（最低でも 10 万ドル）、米国の Starlight Ventures、Draper Venture Network といったベンチャーキャピタルや、カリフォルニア大学バークレー校のアクセラレーター・プログラムの投資パートナーであるベンチャーファンドの Berkeley Skydeck が出資している⁹⁰。技術面では 2019 年 6 月に、フランスの光通信システム開発スタートアップである Cailabs と、LEO 衛星との通信用の静止中継衛星ネットワークの開発でパートナーシップを結んでいる⁹¹。

1.2.3 Laser Light Communications

バージニア州レストン市に本社を構える Laser Light Communications は、2012 年に創業された企業である。同社は 2020 年までに、無線通信を利用しない、高アーティキュレーション・レーザー光 (High Articulation Laser Optics: HALO) を用いた世界初の全光ハイブリット・グローバルネットワークである HALO Global Network の設置を目指している⁹²。

⁸⁸ <https://www.skyloom.co/#about>

⁸⁹ <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/03/27/1773634/0/en/Air-Force-Research-Laboratory-and-Catalyst-Space-Accelerator-Announce-Third-Cohort.html>
<https://www.youtube.com/watch?v=8288b2Ls1IE>

⁹⁰ <https://www.crunchbase.com/organization/skyloom-global>

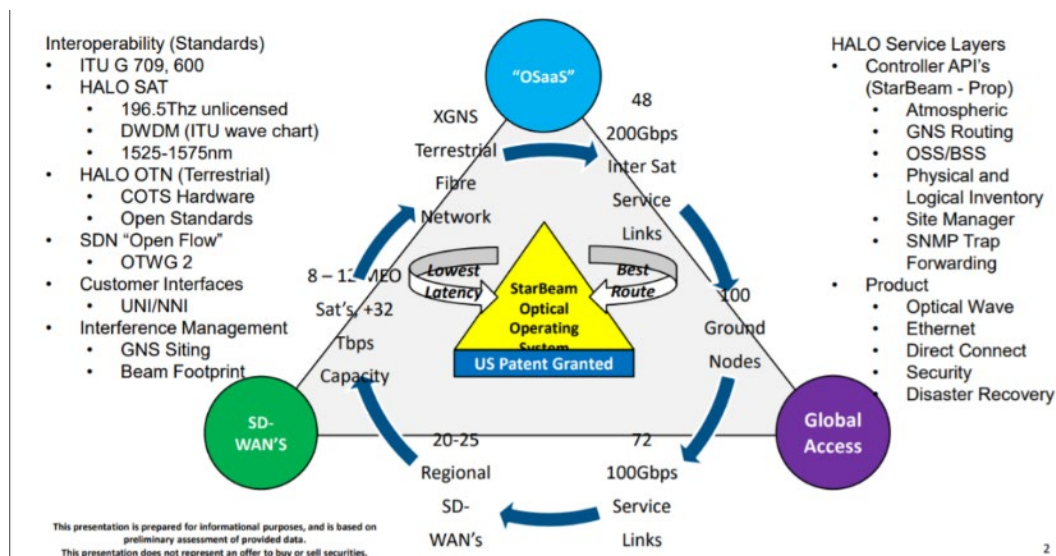
<https://www.bnamerica.com/en/news/draper-fund-cygnus-announces-us3mn-investment-in-argentine-startups>

⁹¹ <https://spacenews.com/french-photonics-startup-cailabs-raises-8-8-million/>

⁹² https://654887ad-9508-4efb-8d89-2b7a82da8923.filesusr.com/ugd/2f1301_c206daba55294b15a1cfa26a3f7d1819.pdf

同ネットワークは光通信を用いた衛星—地上ネットワークとなる予定で、48の光通信をベースとした衛星間クロスリンク(200Gbps程度)と、72の光通信をベースとした衛星—地上間の通信(200Gbps程度)で構成される予定であり、データの全体的な容量は33Tbps以上になる予定である⁹³。このネットワークでは、既存の無線を用いた衛星通信の100倍ものデータ送信が可能と言われている⁹⁴。なお、2015年時点では、2018年をサービス提供の目安としており、通信スピードと容量はそれぞれ100Gbpsと7.2Tbpsとしていたため、過去5年間でビジネス計画への変更が行われたようである。

図表7 Laser Light CommunicationsのHALO概念図



出典: Laser Light Communications⁹⁵

HALOは、12基のMEO衛星によって構成される衛星コンステレーション、コヘレントリング(coherent rings)状の地上ファイバーからなる拡張地上ネットワークシステム(Extended Ground Network System: XGNS)、地上ノードからなる。地上ネットワークとしては、世界中の帯域需要の成長が大きい地域に戦略的に設置された20~25のソフトウェア・デファインドWAN(SD-WAN)を配備するほか、手始めに100箇所にPOP(Point of Presence)⁹⁶を設置する⁹⁷。このような衛星コンステレーションと既存の海中ケーブル/地上ファイバーネットワークとの連結により、キャリアや法人、政府機関などに高速・大容量通信サービスを提供する。

⁹³ https://654887ad-9508-4efb-8d89-2b7a82da8923.filesusr.com/ugd/2f1301_c206daba55294b15a1cfa26a3f7d1819.pdf

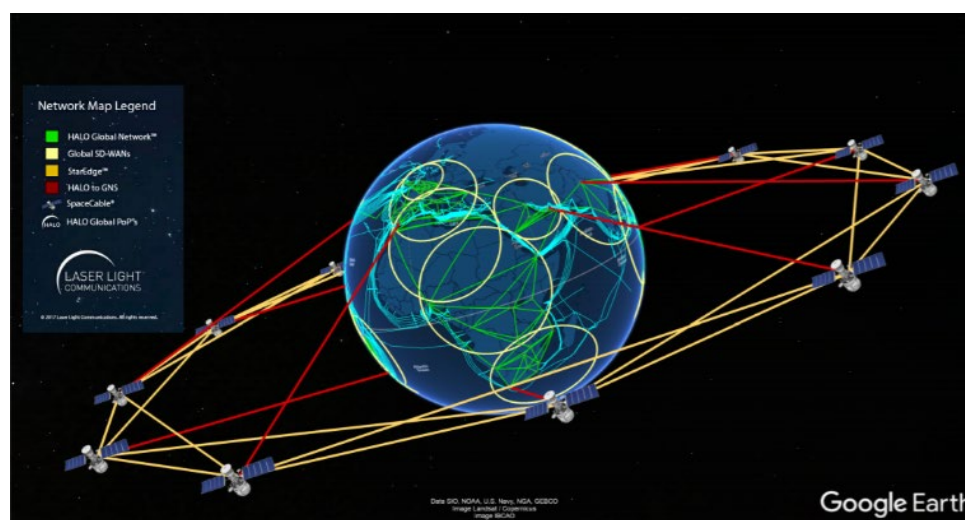
⁹⁴ <http://www.laserlightcomms.com/newsroom.php>

⁹⁵ https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/11_laser_light_communications_nasa_working_session_interoperability_regulatory_presentation_07122017_1.pdf

⁹⁶ 最初のPoPは提携先のEquinixのワシントンD.C.近郊にあるDC11 International Business Exchange (IBX) データセンターに配置。 <http://www.laserlightcomms.com/newsroom.php>

⁹⁷ <https://www.laserlightcomms.com/network-map>

図表 8 Laser Light Communications のネットワーク概念図



出典： Laser Light Communications⁹⁸

HALO ネットワークを通じて、以下の様なサービスの提供が予定されている⁹⁹。

- サービスプロバイダ向け、**Optical Satellite as a Service (OSaaS)**…リージョナル通信キャリアが、構築・運営コストが高く、規制上の制約もある地上／海中ファイバー基幹設備を建設することなく、ネットワークを拡張することを可能にする。
- 企業・機関ユーザー向け、**On-Demand as a Service (ODaaS)**…データ集約的な企業（金融、グローバル大企業、OTT¹⁰⁰コンテンツプロバイダー）、政府・民間・軍事機関、ワイヤレス事業者に対し、契約不要な従量課金制オンデマンド型のデータ伝送サービスを提供する。
- エンドツーエンドセキュリティコントロール：**Secure-Network as a Service (SNaaS)**

同社の最近の動向としては、以下の様なものがある。

- **StarBeam OS の戦略的開発パートナーとして CloudSmartz と提携(2017年9月)** 2017年9月、Laser Light Communications は、ソフトウェア開発企業の CloudSmartz を、StarBeam OS 開発の5年間の戦略的開発パートナーとして提携した。CloudSmartz は、ソフトウェア・デファインド製品の開発・統合サービス提供により成長してきた企業で、米 Inc. 誌が発表する Inc. 5000 ランキングにおいて「最も急成長中の非公開企業」に2016年、2017年連続で選ばれている。

⁹⁸ https://654887ad-9508-4efb-8d89-2b7a82da8923.filesusr.com/ugd/2f1301_c206daba55294b15a1cfa26a3f7d1819.pdf

⁹⁹ https://654887ad-9508-4efb-8d89-2b7a82da8923.filesusr.com/ugd/2f1301_c206daba55294b15a1cfa26a3f7d1819.pdf

¹⁰⁰ Over the Top(OTT): 通信事業者やインターネットサービスプロバイダー (ISP)とは関係なく提供される、動画・音声等のコンテンツサービス。またはそのコンテンツやサービス。

Laser Light Communications の StarBeam OS とは、米国特許取得済の次世代ソフトウェア・デファインド全光コミュニケーションシステムであり、AI および学習アルゴリズムを用いてネットワークの状況と天候パターンの感知、予測、推測を行うことが可能である。自律的でロバストなコグニティブベースの演算システムを基に、光通信ノード間のデータ伝送を動的に制御し、ハイブリッドなメッシュ型グローバル・ネットワーク・トポロジを形成することが可能である¹⁰¹。

- **Xenesis、ATLAS Space Operations と共に宇宙-地球間全光グローバルデータ伝送サービス JV を発足(2018 年 8 月)** 2018 年 8 月、Laser Light Communications と宇宙通信技術のスタートアップ Xenesis、衛星通信サービスプロバイダーの ATLAS Space Operations は、ジョイントベンチャー(JV)の Empower Space Alliance を創設し、顧客の宇宙プラットフォームから世界中の顧客ロケーションへのターンキー型の直接光データ伝送サービス「Empower Space¹⁰²」を提供する計画を発表した。

顧客データの地上各地への伝送は、Laser Light Communications のハイブリッド全光 MEO 衛星コンステレーション経由または直接、グローバル地上ファイバーに連結された 100 の地上ノード(PoP)に対して行われる。また顧客データは衛星から目的地まで、全て Empower Space Alliance のネットワーク上でエンドツーエンドの管理・モニターが行われる。このサービス計画の対象顧客としては、政府機関等が想定している¹⁰³。

- **ATLAS Space Operations の NASA 研究プログラム受注における提携(2019 年 5 月)** 2019 年 5 月、ATLAS Space Operations は NASA による宇宙通信及びナビゲーション(Space Communications and Navigation: SCaN)プログラムの、宇宙中継パートナーシップ及びサービスの研究(Space Relay Partnership and Services Study)業務を受注したと発表した。この業務には、Laser Light Communications もパートナーとして参加予定である。

この研究は、NASA の既存の通信ネットワークを相互運用可能、拡張可能な宇宙通信・ナビゲーションネットワークへと進化させることを目的としている。研究は、NASA と米民間企業間の官民パートナーシップを基に実施される予定で、研究機関は 5 ヶ月である。研究には ATLAS Space Operations (と Laser Light Communications) を含む米国企業 8 社¹⁰⁴が参加予定で、合計約 400 万ドルが研究資金として割り当てられる¹⁰⁵。

¹⁰¹ <https://www.laserlightcomms.com/newsroom>

¹⁰² <http://empower.space/>

¹⁰³ <https://www.laserlightcomms.com/newsroom>

¹⁰⁴ ATLAS Space Operations、Boeing、Eutelsat America Corporation、General Dynamics Mission Systems、Intelsat General Communications、Maxar Space Solutions、Northrop Grumman、SpaceX

¹⁰⁵ <https://www.nasa.gov/feature/nasa-selects-studies-for-future-space-communications-and-services>

1.2.4 BridgeComm

コロラド州デンバーを拠点とする BridgeComm は元々、2015 年に BridgeSat として創設された。BridgeSat だった当初は、LEO 衛星や静止衛星と地上局を繋ぐ光通信システムの開発に焦点を当て、地上局に加えて衛星ペイロードに関する研究も行っていった。当時から光を活用した衛星—地上通信の研究開発を行っている企業として業界でも広く知られており、2018 年には商用の自由空間光通信システム (free space optical communication system) の開発に関し、業界では初めて NASA と共同研究開発契約を結んだ¹⁰⁶。また同年、Boeing 傘下のベンチャーファンド (HorizonX) 等より、光衛星通信に対応した地上局を開発している有力企業として、1,000 万ドル規模の投資がなされた¹⁰⁷。

しかしながら BridgeSat は、徐々に地上通信や無人機向けの通信ソリューション等へもビジネスの幅を拡大し、2019 年 7 月をもって BridgeComm に社名を変更した。社名変更前は、衛星ペイロードの開発も行っていたが、変更後は地上局の開発に注力するようになったとみられる。現在は地上通信、航空機・無人機向け通信、衛星通信の 3 つの分野に対する光無線通信 (optical wireless communications: OWS) のソリューション開発を行っており、特に米国政府や 5G ネットワークの通信ニーズに対応することに重点を置いている¹⁰⁸。

BridgeComm は OWS を活用して無線、ファイバー、ミリ波等の通信技術を統合し、宇宙探査、5G 通信、情報・監視・偵察 (ISR)、機上エンターテインメントを含む航空用レーザー通信 (airborne lasercom)、バックホール等、様々なマーケット向けに高速でセキュアなブロードバンドサービスを提供しようとしている¹⁰⁹。用途としては、LEO 衛星からのデータ収集、高速ポイントツーポイントデータ伝送、僻地や現在基地局のない地域への地上ファイバーの拡張等を想定している¹¹⁰。

2020 年 1 月、同社は HorizonX とのパートナーシップを改訂し、OWC を活用した One-to-Many (OTM) 技術を開発すると発表した。OTM とは、双方向・超高速メッシュ通信ネットワークのことであり、地上、航空、宇宙システムのそれぞれに応用が可能であるという。このネットワークでは OWC と無線通信システムとの互換性の向上も目指すという¹¹¹。また BridgeComm は 2020 年 2 月、光ビーム整形の世界的大手である仏 Cailabs とのパートナーシップを発表した。両社のソリューションを統合して宇宙、航空、地上向けの OWC ソリューションの技術的改善を図るとしている¹¹²。

1.3 WRC-19 での関連議論

2019 年末にエジプトで開催された国際電気通信連合 (ITU) の 2019 年世界無線通信会議 (WRC-19) では、LEO 衛星を含む NGSO 衛星のコンステレーション向けの新たな規制が採択された。この規制に

¹⁰⁶ <https://www.businesswire.com/news/home/20180312005867/en/BridgeSat-NASA-Sign-Space-Act-Agreement-Laser>

¹⁰⁷ <https://www.geekwire.com/2018/boeing-bridgesat-laser-satellite-communications/>

¹⁰⁸ <https://www.businesswire.com/news/home/20190716005302/en/BridgeSat-Announces-Corporate-Change-BridgeComm>

¹⁰⁹ <http://www.bridgecomminc.com/cailabs-announce-partnership.html>

¹¹⁰ <http://www.bridgecomminc.com/>

¹¹¹ http://www.bridgecomminc.com/frontpage_news_2.html

¹¹² http://www.bridgecomminc.com/frontpage_news_1.html

より、今後 NGSO 衛星コンステレーションの構築を目指す事業者らは、ITU にコンステレーションや利用を希望する周波数についての事前公表資料を提出してから 2 年以内にコンステレーションを構成する衛星総数の 10%を打ち上げる必要があり、同様に 5 年以内に 50%、7 年以内にすべての衛星を打ち上げる必要がある¹¹³。

この新しい規則の目的は、ITU の国際周波数登録原簿 (Master International Frequency Register) と、それぞれの衛星コンステレーション構築計画の間の整合性をとり、周波数申請が出されたにも関わらずコンステレーションの運用が衛星製造・打ち上げの遅延などで始まらないというような事態を防ぐことである¹¹⁴。

これまで NGSO 衛星事業者らは、ITU に事前公表資料を提出してから 7 年の間に最低 1 基の衛星を打ち上げ、90 日間にわたって運用し、適切な資料 (bring-into-use paperwork) を提出する必要があった¹¹⁵。しかしながら昨今ベンチャー企業らが議論している LEO 衛星コンステレーションの計画では、何百、何千という衛星を用いるため、1 基の衛星の打ち上げで周波数利用を認めるという枠組みは、現実的ではないのではという懸念が規制当局から上がっていた¹¹⁶。

この他 WRC-19 では、以下のような関連議論が行われた¹¹⁷。

- Q/V 帯 (40~50GHz) の利用を検討している NGSO 衛星コンステレーションからの静止衛星サービスを保護する基準の策定
- ナノサットやピコサットを含む小型の NGSO 衛星の短期ミッションに対する新しい規制案の策定¹¹⁸
- 発展途上向けの優先業務に対応する放送衛星向けの軌道の割り当て
- 5G 地上通信と高高度プラットフォーム (HAPS) への周波数割り当てについての議論 (衛星通信が干渉を受ける可能性がある) 等

1.4 宇宙ベンチャーへの逆風

2019 年におけるもう一つの大きな動きとして、LeoSat の事業停止がある。一時は OneWeb や SpaceX などと同等の有力コンステレーション企業と目されていた LeoSat は、2019 年 11 月に事業停止に陥った。同社は元々、LEO に 78~108 基の衛星を打ち上げてコンステレーションを構築し、低いレイテンシを求めるハイエンド顧客向けの通信サービスを提供することを目指していた¹¹⁹。

¹¹³ <https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/2019-PR23.aspx>

¹¹⁴ <https://spacenews.com/itu-sets-milestones-for-megaconstellations/>

¹¹⁵ <https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/freq/process/freqint/001.pdf>

¹¹⁶ <https://spacenews.com/itu-sets-milestones-for-megaconstellations/>

¹¹⁷ <https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2020/tech-67E.pdf>

<https://www.asiasat.com/itu2019>

<https://spacenews.com/op-ed-time-to-work-on-the-wrc-process/>

¹¹⁸ <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/non-GSO-satellite-systems-with-short-duration-missions.aspx>

¹¹⁹ <https://spacenews.com/leosat-absent-investors-shuts-down/>

しかしながら、LeoSat のシリーズ A 段階の出資の大部分を占めるとみられていたスペインの Hispasat と日本の Sky Perfect Jsat からの支援が結局得られず、事業停止に至った。LeoSat は欧 Thales Alenia Space と衛星製造や周波数申請の面で連携していたが、Thales Alenia Space 経由で ITU に申請していた周波数利用の開始期限が 2021 年 1 月となっており、周波数を確保するためにはこれまでに最低 1 基の衛星を打ち上げる必要があった。しかしながら、2019 年 11 月時点では 1 基の衛星すら完成していない状況であったという¹²⁰。

LEO 衛星コンステレーション計画を含む、様々な宇宙ベンチャー企業の新規事業に対しては、今後も引き続き投資が行われていくとみられているが、ここ数年間で投資を受けた宇宙ベンチャーの中で、現時点で収入を生み出している企業は数少ないため、今後の展望には不透明感が漂う¹²¹。2019 年に事業停止やデフォルトに陥った企業には LeoSat のほか、米 Vector Space Systems (スモールサット打ち上げ企業)、米 Audacy Corporation (衛星通信サービスプロバイダ)等が含まれ、米 SpaceNews が発表した 2020 年の衛星ビジネス動向に関する記事では、ベンチャー企業向けの投資縮小の可能性が示唆されている。同記事によれば、特にスモールサット打ち上げビジネスなど、既に投資が多く行われている分野においては、ベンチャー企業が新たに投資を確保するのは難しいという¹²²。

2 5G の台頭と衛星事業者らの期待と懸念

衛星通信ネットワークの 5G への統合も、衛星業界が注目している大きなトピックの一つである。5G の台頭は衛星事業者にとって大きなビジネスチャンスをもたらすと考えられている一方で、衛星通信ネットワークを 5G に統合する技術上・運用上の課題や、5G 地上通信事業者との周波数をめぐる攻防など、懸念事項もある。

衛星通信ネットワークの整備は、地上通信ネットワークの整備よりも一般的に時間やコストがかかるため、5G 導入が加速する昨今、衛星事業者らの柔軟かつ迅速なビジネス上の決断が求められている。特に 5G 環境における IoT や M2M 向けの通信サービスに関しては、衛星事業者だけでなく地上通信事業者も強い関心を持っており、衛星通信事業者がこれらのサービスに参入する場合には、十分な利益を上げられるかどうか、慎重なビジネス判断が必要となる¹²³。加えて 5G の台頭と並走して、4G/LTE の利用もしばらくの間は続くと考えられているため、地上通信のバックホールとしての衛星通信の利活用など、衛星事業者が強みを生かせる分野での検討が求められる¹²⁴。

¹²⁰ <https://spacenews.com/leosat-absent-investors-shuts-down/>

¹²¹ <https://spacenews.com/bryce-startup-space-2019/>

¹²² <https://spacenews.com/20-space-industry-predictions-for-2020/>

¹²³ <http://satellitemarkets.com/pdf/pdf2020/jan-feb-2020.pdf>

例えば IoT に関しては、僻地における大規模マシンタイプ通信 (mMTC) サービスであれば、スモールサットが強みを生かすことができると考えられ、具体的なアプリケーションとしては公的インフラ監視や天候監視、農業等が挙げられる。

<http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2019/apr19.pdf>

¹²⁴ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2019/june19.pdf>

2.1 5G への衛星通信の統合における課題

欧州連合(EU)がホライズン 2020 の枠組みで 2017 年に立ち上げたプロジェクト「5G のための衛星と地上ネットワーク(通称 Sat5G)」では、5G への衛星通信の統合においては、以下のような技術的な課題があるとして、研究を行ってきた¹²⁵。

- ソフトウェア・デファインド・ネットワーク(SDN)やネットワーク機能の仮想化(NFV)などを基にした 5G アーキテクチャとの互換性を高めることを目的とした、衛星通信ネットワークの仮想化
- 地上通信ネットワークの管理システムによる、衛星通信にかかる無線資源やサービスの管理許可
- 衛星通信と地上通信間のサービスの質(QoS)やレイテンシの差を埋めることができる、スモール・セル通信に対する集約スキームの構築
- 衛星通信における 5G の特徴や技術の啓発
- 地上通信と衛星通信の管理と認証方法の最適化と調和
- コンテンツ配布と仮想化されたネットワーク機能(VNF)実現のための 5G サービスにおけるマルチキャスト利益の最適化

2.2 地上通信事業者との攻防

FCC は 2020 年 3 月 9 日、第 3 次の 5G 周波数オークションを終了した。第一次(2018 年 11 月～2019 年 1 月)と第二次オークション(2019 年 3 月～5 月)を通じて、それぞれ 28GHz 帯¹²⁶と 24GHz 帯¹²⁷が市場に投入されたが、今回の第 3 次オークションでは 37GHz 帯、39GHz 帯、47GHz 帯に焦点があてられた¹²⁸。

これと並走する形で、FCC は 2020 年 2 月末、衛星事業者らが利用している C 帯周波数(3.7-4.0 GHz)を 5G 向けに割り当て直すことを正式に決定した。この割り当て直しに際しては、新たに 3.7-3.98 GHz を対象としたオークションが 2020 年末に行われる予定で、また C 帯から別の周波数への切り替えを迅速に行わなければならない米国内外の衛星事業者に対し、総額で 97 億ドルが支払われることとなった。同帯域を利用している衛星事業者には、Intelsat、SES、Telesat、Eutelsat、Star One 等が含まれ、これらの企業は 3.7-3.82GHz を 2021 年 9 月 30 日までに、3.82-4.0GHz を 2023 年 9 月末までに明け渡さなくてはならない。また 97 億ドルは、これらの企業が分割して受け取る予定となっているが、およそ半分(48.5 億ドル)は Intelsat に支払われる見込みである。最終的にこれらの C 帯が 5G 事業者に割り振られるのは、2025 年 9 月末が見込まれている¹²⁹。

この FCC の決定に際しては、米国の政党間の政治的な意見の違いもあり、FCC の民主党委員は FCC が 97 億ドルという大金を衛星事業者らに払うことを命じることができるような権限を持っていない

¹²⁵ <https://www.sat5g-project.eu/concept/>

¹²⁶ <https://www.fcc.gov/auction/101/factsheet>

¹²⁷ <https://www.fcc.gov/auction/102>

¹²⁸ <https://www.fcc.gov/auction/103>

¹²⁹ <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-362358A1.pdf>
<https://www.satellitetoday.com/5g/2020/02/28/fcc-approves-public-c-band-auction/>

こと、また 97 億ドルは他の用途(通信ギャップ解消に向けた取組など)に利用したほうが有効活用できることを挙げ、反対していた。しかしながら最終的には、多数派の共和党委員らに敗北した(3 票対 2 票)。C 帯の 5G 利活用については、国際的にも議論が進んでおり、他国では C 帯オークションも続々実施されていることから、共和党委員らは急ぎの対応を求めているようである¹³⁰。カナダでも衛星通信に利用されている C 帯を 5G 用に開放する動きが加速する可能性も報道されている¹³¹。

C 帯をめぐる動向については、衛星事業者から懸念の声も上がっていた。一方で、一部の衛星事業者ら(特に C 帯を利用してこなかった事業者)からは、衛星事業者らが利用できる周波数資源がより明確になり、業界全体にとっては長期的なメリットになるのではないかと指摘する者もいる。しかしながら、この地上通信事業者との間の周波数をめぐる攻防は今後も続くことが予想されており、特に焦点となっているのが 28GHz 域の Ka 帯である。Ka 帯は、C 帯以上に衛星事業者らが近年投資を行っている周波数であるが、5G 無線通信事業者からの需要が高まっていることもあり、規制動向に注目が集まる¹³²。

2.3 Apple の研究開発

また、5G 通信を想定しているかは不透明であるものの、Bloomberg は 2019 年末、Apple が衛星から直接 iPhone にインターネットサービスを提供することを検討する研究プロジェクトを立ち上げたと報道した。この Bloomberg の記事では、このプロジェクトはまだ初期段階にあり、今後プロジェクト自体が消滅する可能性もあるとしながらも、Apple がソフトウェア、ハードウェア、航空宇宙、無線データ伝送などの分野の専門家を雇用し、このプロジェクトに投入していることが報道された。ティム・クック(Tim Cook) CEO の下で、Apple は様々な研究開発を立ち上げており、2018~2019 年の 1 年間で同社の研究開発予算がおよそ 14%増加したことも伝えられている¹³³。

3 注目が集まる関連技術と運用モデル

以下では、近年北米の衛星業界で注目が集まっている関連技術と、今後の衛星事業者らのビジネスに資すると考えられている運用モデルをまとめる。

3.1 ソフトウェア・デファインド技術

ソフトウェア・デファインド・ラジオ(SDR)とソフトウェア・デファインド・ネットワーク(SDN)は、衛星事業者が抱える根本的なハードウェアの問題を解消する上で画期的な技術と言われ、従来より開発が進められてきた。様々なハードウェアを衛星に搭載すれば、衛星の重量が増えてしまい、それにより衛星の製造や打ち上げ、維持にかかる費用も相応に高騰してしまう。また一度打ち上げてしまった後には、ハード

¹³⁰ <https://www.cnet.com/news/fcc-approves-9-7-billion-payment-to-free-up-satellite-spectrum-for-5g/>

¹³¹ <https://advanced-television.com/2020/03/02/telesat-leo-constellation-in-2022/>

¹³² <https://spacenews.com/satellite-operators-worried-about-losing-ka-band-spectrum/>

<https://spacenews.com/satellite-operators-mull-options-as-pressure-for-ka-band-uplink-spectrum-mounts/>

¹³³ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-12-20/apple-has-top-secret-team-working-on-internet-satellites>

ウェアの交換や調整を行うことは困難になる。衛星の寿命が約 15 年と言われている中で、ハードウェアによるこのような制約は、リソースの最適化を阻害する要因として、長く課題として見られてきた¹³⁴。

一方で、SDR 技術を導入すれば、無線周波数信号(RF signal)をデジタル化することができ、様々な波形や信号、モジュレーション、プロトコル、機器、パフォーマンス指標に合わせて、軌道上でペイロードを再構成する事ができる。こういったメリットを背景に、ソフトウェア・デファインド衛星の市場は、2019~2030 年で 15%程度の成長を見せるという予測もある¹³⁵。

例えば Boeing が 2019 年 9 月に World Satellite Business Week 会議(フランス・パリ)の場で公表した新型の静止衛星バス 702X は、ソフトウェア・デファインドのペイロードによって構成されており、燃料なしのドライ状態でおよそ 1,900kg 程度である。これは従来のハードウェア主導の衛星が 3,750kg の約半分の重量であり、他社が開発中の新型静止衛星バス(2,000kg 強)よりも小型である。同社の関係者によれば、702X は 3 年以内には打ち上げが可能であり、実際に同衛星バスを基に開発されている SES の O3b mPOWER(MEO 衛星)は SpaceX の Falcon 9 によって 2021 年頃に打ち上げ予定である¹³⁶。

同様に 2019 年 12 月には、Lockheed Martin の研究・試験用ナノサット Pony Express 1 が、スモールサット向けロケット Tyvak-0129 から打ち上げられた。Pony Express 1 には、SDR 機能が搭載されており、宇宙空間での複数の無線通信アプリへの通信対応、データ圧縮、デジタル信号処理、波形伝送などに対応可能で得あるほか、同社が開発した HiveStar ソフトウェアによって、衛星間および共有処理機能間の高度アダプティブメッシュ通信(advanced adaptive mesh communications)を可能とする。Lockheed Martin は、次に打ち上げる予定の Pony Express 2 において、更に高度な衛星向けのソフトウェア・デファインド・アーキテクチャや、クラウド・ネットワーキングの運用を試したいとしている。同社の研究に対しては、米国防総省が関心を示す可能性があるという分析もあり、これは同省が LEO 上にメッシュネットワークを整備することを目指しているためである¹³⁷。

SDN もコスト減と柔軟性向上に役立つ技術として見られており、すでに地上通信ネットワークでは導入が加速しているが、衛星通信ネットワークもそれに追従する形となっている。前述のとおり、EU の Sat5G プロジェクトでは、5G アーキテクチャにおける SDN や NFV の存在感が強まっていることから、衛星通信ネットワークと 5G ネットワークとの互換性を高めることを目的とした研究が行われている¹³⁸。

¹³⁴ <http://www.satellitemarkets.com/pdf2016/mar17.pdf> (p.9-18)

¹³⁵ <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-software-defined-satellite-markets-2018--2019-2030---increasing-demand-for-autonomous-satellites-in-deep-space-missions-300963193.html>

¹³⁶ <https://spacenews.com/boeing-unveils-small-geo-product-as-part-of-new-702x-satellite-lineup/>
<https://www.thespacereview.com/article/3807/1>

¹³⁷ <https://www.prnewswire.com/news-releases/lockheed-martin-launches-first-smart-satellite-enabling-space-mesh-networking-300988102.html>

<https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/space/2020/01/28/lockheed-martin-experiments-with-a-mesh-network-in-space/>

¹³⁸ <http://satellitemarkets.com/news-analysis/opportunities-satellite-ground-segment-market>

例えば、モンリオール市に拠点を構える衛星通信機器の製造企業 UHP Networks は、業界初のソフトウェア・デファインドの VSAT プラットフォームを提供しており、これは SDN に対応している¹³⁹。

3.2 クラウド、エッジコンピューティング

地上通信サービスへのクラウド技術の導入が進む中で、衛星ネットワークにもこうした技術を統合していくことは、衛星通信の将来的な競争力維持の観点からも急務となっている。ノルウェーに本社を置く KSAT (Kongsberg Satellite Services) の米現地法人である KSAT USA の関係者や、スウェーデンに本社を置く Swedish Space Corp. の米現地法人の関係者によれば、それぞれの企業が運用している衛星—地上ネットワークの中で、すでに多くの顧客が Microsoft の Azure や Google の Cloud にデータを送信しているという¹⁴⁰。

2019 年 10 月、Intelsat、SES、Inmarsat、Viasat の 4 社は、クラウド・サービスの提供を目指して Microsoft との提携を発表し、僻地にいる顧客に対し、地上のデータセンターで運営されている Azure クラウドネットワークへの直接アクセスを提供するサービスを開発するとした。Microsoft はこのサービスの提供対象業界として、一定のクラウド需要があり、なお且つ従来から衛星通信が強みを持ってきた農業、鉱業、輸送、石油・天然ガスなどを挙げている¹⁴¹。前述のとおり、Amazon と Lockheed Martin が共同創設したベンチャー企業 AWS Ground Station も、衛星ベンチャー向けの AWS をベースとした安価な地上局サービスの提供を目指している。

しかしながら、Microsoft や Google、Amazon などが開発したパブリッククラウドを衛星通信ネットワークに統合することが適切なアプローチかという点については、業界関係者の間でも意見が割れている。一部の関係者は、独自のプライベートクラウドを開発する必要性を提起しており、この背景には、パブリッククラウドに対するサイバーセキュリティの懸念や、クラウド企業に大きな影響力を持たせることに対する懸念等がある。しかしながら、クラウド企業もサイバーセキュリティに多大な投資をしているため、プライベートクラウドが必ずしもサイバーセキュリティの面で優れているとは言えないという意見もある。また、パブリッククラウドと衛星ネットワークの連結点こそが脆弱性を生み出す原因という意見もあり、実際にはどのようにこの二つを統合するかの検討が重要であろうという声もある¹⁴²。

エッジコンピューティングの概念を衛星に適応する事を目指すプロジェクトもある。カーネギーメロン大学とスタンフォード大学の共同研究チームは、チップサット (Chip Sat) と呼ばれる 1.5cm × 1.5cm × 0.4cm 規模の超小型衛星を開発しており、この衛星にはセンサー信号の処理が可能なペイロードが搭載される。大量のチップサットを LEO 上に打ち上げ、センサーを通じて得られた天候や地形などの情報をチップサット上である程度処理し、地上に伝送することで、エッジコンピューティングの様な処理を衛星ネットワーク上で実行するというアイデアである。試験版チップサットは、2019 年 3 月に NASA の KickSat-

¹³⁹ http://www.uhp.net/images/data/gallery/58_35_UHP_OVER_JAN19E.pdf

<https://isotropic.network/uhp-networks-satellite-uhp-vsats-platform/>

¹⁴⁰ <https://spacenews.com/satellite-industry-slowly-embracing-the-cloud/>

¹⁴¹ <https://spacenews.com/satellite-industry-slowly-embracing-the-cloud/>

¹⁴² <https://spacenews.com/satellite-industry-slowly-embracing-the-cloud/>

2プロジェクトのミッションの一部として打ち上げられており、今後さらに多くのチップセットを打ち上げる計画である¹⁴³。

3.3 AI

更に先端的なペイロードを開発しているプロジェクトもある。例えば米 FFRDC¹⁴⁴の The Aerospace Corp.は、衛星ネットワーク上での AI の利活用を推進するため、「Space Cloud」というクラウド・コンピューティング技術の開発を進めている。かつて衛星経由で取得されたデータや画像は地上に送られ、地上にいるアナリストの手によって重要・必要なデータ、不要なデータに分けられていた。しかしながら昨今、こういったデータの取捨選択は AI によって自動で行われるようになってきている¹⁴⁵。

一方で The Aerospace Corp は、LEO キューブサット上でこういった判別を行うことを目指し、Intel と連携してクラウド・コンピューティング機能を備えた小型の AI コンピュータ・チップの開発を行ってきた。衛星が収集したすべてのデータや画像を衛星—地上間の通信の中で伝送するには大量の電力が必要となる。他方で、もし衛星上でデータを収集・保管し、有用度別に取り捨選択することができれば、重要度の低いデータを衛星から地上へと送る必要がないため、伝送に必要な電力やペイロードのサイズ自体も抑えることができるという¹⁴⁶。

3.4 Q/V 帯通信

Q/V 帯への衛星事業者らの関心も、引き続き強まっている。これらの高い帯域は、周波数の確保や通信パフォーマンス向上の面で衛星事業者らにとって魅力的であり、近年大規模な投資が行われている Ka 帯の次に、多くの事業者らが投資を行うものとみられている。FCC によれば、これまでに V 帯を活用した衛星コンステレーションに関する申請を行ってきた企業には、以下の様な企業がある¹⁴⁷。

- 米 Boeing
- カナダ Telesat Canada
- 米 Theia Holdings A Inc
- 欧 O3b/SES
- 米 ViaSat
- 英 OneWeb
- 米 SpaceX
- 米 Audacy Corporation¹⁴⁸

¹⁴³ <https://engineering.cmu.edu/news-events/news/2019/12/11-lucia-chipsat.html>

¹⁴⁴ Federally funded research and development centers の略。米国政府のために研究開発を実施する、官民パートナーシップを基盤とした研究開発センターのこと。 <https://www.mitre.org/centers/we-operate-ffrdcs>

¹⁴⁵ <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/6/13/experiment-to-demo-cloud-technology-in-space>

¹⁴⁶ <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/6/13/experiment-to-demo-cloud-technology-in-space>

¹⁴⁷ <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2019-SatSymp/Presentations/106%20-%20NGSO%20Large%20Constellations%20FCC-USA.pdf>

¹⁴⁸ ただし、Audacy Corporation は 2019 年、事業停止に陥っている。 <https://spacenews.com/audacy-shuts-down/>