

米国における衛星通信分野の 研究開発等の動向

平成 29 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	米国衛星通信市場の動向	1
1.1	衛星を活用したサービス市場の動向	1
1.2	周波数資源をめぐる議論.....	2
1.3	米国政権移行の影響	3
1.4	注目されている技術と開発目的.....	4
2	米国衛星通信事業者における新たなサービス及び研究開発の動向	7
2.1	航空機内向け通信サービス	7
2.1.1	概要	7
2.1.2	関連企業の動向	9
2.2	天然資源開発向けの通信サービス	10
2.2.1	概要	10
2.2.2	関連企業の動向	12
2.3	船舶向けの通信サービス.....	13
2.3.1	概要	13
2.3.2	関連企業の動向	15
2.4	バックホールやIoT利用向けの通信サービス.....	17
2.4.1	概要	17
2.4.2	関連企業の動向	19
3	米国宇宙企業の最新の動向	20
3.1	OneWeb.....	20
3.1.1	概要	20
3.1.2	最近の主な動向	21
3.2	SpaceX	26
3.2.1	概要	26
3.2.2	最近の主な動向	27
3.3	Laser Light Communications.....	30
3.3.1	概要	30
3.3.2	最近の主な動向	33
3.4	Bridgesat.....	35
3.4.1	概要	35
3.4.2	最近の主な動向	37
3.5	LeoSat	38
3.5.1	概要	38

3.5.2	最近の主な動向	41
3.6	Boeing.....	42
3.6.1	概要	42
3.6.2	最近の主な動向	45

図表

図表 1:	世界の衛星を活用したサービス収益動向	1
図表 2:	ViaSat 作とされている VHTS についての資料.....	4
図表 3:	SSL が製造した Eutelsat 65 West (Q・V 帯検証用の機器搭載)	5
図表 4:	乗客向け通信サービスを導入している航空会社数(地域ごと)	8
図表 5:	政府・軍向けと石油・天然ガス向けの FSS 需要比較	11
図表 6:	ブロードバンド通信サービス搭載の艦船数(業種ごと)	14
図表 7:	衛星を活用したバックホール基地局数の動向予測.....	17
図表 8:	OneWeb が開発中のユーザーターミナル.....	20
図表 9:	OneWeb が Exploration Park 内に建設予定の衛星製造施設(完成イメージ)	22
図表 10:	SpaceX の Ku 帯ビームの操縦可能サービス範囲案	27
図表 11:	SpaceX の衛星配置案	29
図表 12:	SpaceX が利用を検討している周波数帯と用途.....	29
図表 13:	Laser Light Communications の HALO 概念図.....	31
図表 14:	Laser Light Communications の地上セグメント計画図	32
図表 15:	Laser Light Communications のネットワーク概念図	33
図表 16:	LeoSat の衛星設置目安図	39
図表 17:	LeoSat の衛星群ネットワーク概念図.....	40
図表 18:	Boeing の NGSO 衛星ネットワーク概念図	44
図表 19:	Boeing の NGSO 衛星群の打ち上げ計画.....	45

1 米国衛星通信市場の動向

1.1 衛星を活用したサービス市場の動向

米国の衛星事業者らを代表する衛星産業協会 (Satellite Industry Association: SIA) が 2016 年に発表した報告書によれば、衛星を利用したサービスから得られた収益は 2010 年以降、上昇傾向にあり、2015 年の世界全体の収益は 1,274 億米ドルであった。このうち約 42% (約 510 億米ドル) は、米国が占めている。引き続き、消費者向けサービス分野の衛星テレビ、ラジオ、ブロードバンド通信などが全体収益の 8 割以上を占めており、この分野の 2014~2015 年の一年間の成長率は 3% であった¹。

図表 1: 世界の衛星を活用したサービス収益動向



出典: SIA²

消費者向けサービスの中でも、衛星テレビから得られる収益は、衛星サービス全体から得られる収益の 77% を占めており、2014~2015 年の 1 年間でも 3% 成長する等、持続的な成長が見受けられる。一方で SIA によれば、衛星ラジオと衛星ブロードバンド通信サービスの 2014~2015 年の成長率はそれぞれ 9% と 8% であり、特に米国市場での利用者が目立った。特に衛星ブロードバンド通信市場については、米連邦通信委員会 (FCC) が 3 年前から Hughes や ViaSat の衛星通信サービスのパフォーマンス評価を始めた事に代表されるように、市場の成熟が進んでいる。周波数の再利用や、スポット・ビームやオンボード・プロセッサ等の関連技術の発展、大容量衛星通信システム (High Through-put Satellite: HTS) の普及等がこれを後押ししており、スループットにかかる費用も減少傾向にある。加えて今後は、衛星通信の主要な課題の一つである

¹ <http://www.sia.org/wp-content/uploads/2016/06/SSIR16-Pdf-Copy-for-Website-Compressed.pdf> (p.11-12)

² <http://www.sia.org/wp-content/uploads/2016/06/SSIR16-Pdf-Copy-for-Website-Compressed.pdf> (p.11)

レイテンシの問題を軽減・解消すべく、より低いレイテンシが見込める低軌道(LEO)衛星システムを用いた通信サービス提供の計画が複数あり、これも同市場の成長を支えると期待されている³。

また固定衛星業務(FSS)の管制サービスや地球観測サービスも、2014~2015年の1年間でそれぞれ15%と10%上昇しており、SIAは特に地球観測市場における新規プレイヤーの参入や企業間の提携増加、法人向けの衛星画像サービスへの投資増加等に注目している⁴。

1.2 周波数資源をめぐる議論

米国の衛星通信事業者らにとって、引き続き地上通信事業者らとの周波数をめぐる交渉が大きな課題となっている。2014年10月にFCCが24GHz帯以上の帯域の利用検討に係る情報提供要請(Notice of Inquiry: NOI)を提出して以降、SIAは第5世代移動通信システム(5G)の導入等も鑑み、FCCに対して衛星事業者の周波数利用を保護するよう求める複数の意見書を提出した。24GHz帯以上の帯域についての議論と平行して、C帯に係る議論も行われてきたものの、C帯は既に衛星事業者らが利用しているため、ある程度のプレゼンスを確保できる一方で、24GHz帯以上は未開の帯域も多く、より緊迫した交渉となった。

意見書の中でSIAは、現在の通信環境において、衛星通信が大きな役割を担っていることを強調しつつ、低LMDS帯、中LMDS帯、V帯、60GHz帯、70/80GHz帯、24GHz帯などの帯域に焦点を当て、それぞれの帯域が現在衛星通信事業者らによってどの様に使われており、また将来的にどのような方法での利用が検討されているのかについて、説明を行った⁵。加えてSIAは、FCCに対し、5Gの導入に当たり、各帯域で運用される5Gネットワークの特徴や衛星通信ネットワークへの干渉の度合い、今後導入予定のライセンシング規制についてなど、様々な具体的な質問も投げかけており、これらに対しての具体的で明確な解が出ない限り、安易に5Gの導入を進めるべきではないという立場も取っていた⁶。

しかしながら2016年7月、FCCは全会一致で、24GHz帯以上を5G地上ネットワーク用に開放する事を決定した。FCCは、移動通信、固定通信用におよそ11GHz(うち3.85GHzは免許帯、7GHzは免許不要帯)の高周波数帯域を開放したほか、27.5-28.35GHz帯、37-38.6GHz帯、38.6-40GHz帯を新サービス「Upper Microwave Flexible Use service」の対象とした。また、64-74GHz帯を免許不要の帯域として設定した。また95GHz帯以上については、引き続き一般からの意見募集を続けることを決めた⁷。

このFCCの決定は衛星通信事業者らにとって衝撃的なことと言え、特にKa帯の利用に多大な投資を行ってきた企業にとっては、5G運用開始後に、自社のネットワークにどのような干渉があるのか、また干渉がある場合どのように干渉を最小化できるのかといった検討や配慮が必要となった。また真偽は不明であるものの、米メディアでは、衛星事業者らが5GネットワークとのKa帯共用に反対していたことに対し、トム・ウィーラー

³ <http://www.sia.org/wp-content/uploads/2016/06/SSIR16-Pdf-Copy-for-Website-Compressed.pdf> (p.14)

⁴ <http://www.sia.org/wp-content/uploads/2016/06/SSIR16-Pdf-Copy-for-Website-Compressed.pdf> (p.13-14)

⁵ <http://apps.fcc.gov/ecfs/document/view?id=60001013898>

⁶ <http://apps.fcc.gov/ecfs/document/view?id=60001324794>

⁷ <http://www.fiercewireless.com/tech/fcc-oks-sweeping-spectrum-frontiers-rules-to-open-up-nearly-11-ghz-spectrum>
<https://www.fcc.gov/document/fcc-adopts-rules-facilitate-next-generation-wireless-technologies>

前 FCC 委員長 (Tom Wheeler) が不満を露わにしたという報道もある。ウィーラー前委員長は、5G 配備に関し、米国が他国に後れを取ることを警戒していたと言われており、それが今回の FCC の決定に影響したという分析も見られる⁸。

SIA は、2016 年 7 月の FCC の決定に対しても見解を公表しているが、これは比較的短いものであった。SIA は見解の中で特に 28GHz 帯に注目し、同帯を利用する衛星事業者の活動に対し、地上通信システムが干渉しないか懸念を表明した。28GHz 帯は、すでに英 Avantit Communications Group や英 Inmarsat などの事業者の地上-衛星間の通信に利用が予定されている。また米 EchoStar 等は、周波数の第一次利用が可能である限り、周波数帯域を FSS システムと商用無線通信システムとで共有する事は問題無いとしているものの、具体的な利用方法について、FCC との協議を続けたいと考えている⁹。

FCC の決定が出る前の 2016 年 5 月の時点で、AT&T や Nokia、Samsung、T-Mobile、Verizon 等も 28GHz 帯の利用に関して書面を提出しており、この中で同 5 社は、FSS による 5G ネットワークへの干渉が懸念されるため、衛星地上局の電力束密度 (power flux density: PFD) を調整する等の対応が必要との見解を示していた。またこれら 5 社は、O3b や ViaSat が実施した干渉についての検証は、非一貫性や技術的な限界等の問題があると指摘したほか、SIA の検証に対しても、非常に保守的なパラメーターを使っているとの見解を示した¹⁰。

1.3 米国政権移行の影響

2017 年 1 月のトランプ大統領就任を受け、FCC の委員長はオバマ政権下で委員長に任命されたトム・ウィーラー氏 (Tom Wheeler) から、FCC の共和党委員の一人であったアジット・パイ氏 (Ajit Pai) に変わった。パイ氏は委員時代より、衛星通信サービスのライセンスの簡易化や、5G 導入に向けた取組、AT&T の DirecTV 買収等を支持してきた一方で、の米 Global Star の 2.4GHz 非免許帯 (Wi-Fi 等に利用されている帯域) の衛星インターネット通信 (Terrestrial Low Power Service: TLPS) 向け利用には反対したなどの経歴を持つ¹¹。

パイ委員長の今後の衛星通信関連の動向は不透明であるものの、2017 年 1 月 24 日の同委員長の就任演説では、米国の通信課題として、先端的な通信技術を利用できる国民とそうでない国民が存在していることを挙げ、すべての米国民がデジタル時代の恩恵を享受できるよう、必要なインフラを整備する必要があると語った。米衛星専門メディアの Space News は、パイ委員長は衛星通信関連の明確な発言をしていないとしながらも、オーストラリアやメキシコ等では、全国民にインターネットサービスを提供することを目的とし、衛星通信システムへの投資に注力していることを伝え、パイ委員長の今後の動向に期待感を示した¹²。

⁸ <https://www.spacenewsmag.com/the-bottom-line/fcc-chairman-to-satellite-industry-shut-up/>

⁹ <http://www.sia.org/wp-content/uploads/2016/07/SIA-Media-Statement16-Spectrum-Frontiers-FCC-Rulemaking-FINAL.pdf>

¹⁰ www.fiercewireless.com/tech/at-t-t-mobile-verizon-respond-to-satellite-s-28-ghz-sharing-concerns
<https://ecfsapi.fcc.gov/file/60001840902.pdf>

¹¹ <https://www.engadget.com/2016/07/13/what-you-need-to-know-about-the-fcc-s-5g-vote/>

¹² <http://spacenews.com/trumps-fcc-chairman-favors-simpler-satellite-licensing-rules/>

1.4 注目されている技術と開発目的

米衛星専門調査会社の Satellite Market Research は 2017 年 3 月、最近の衛星市場で注目されている技術や開発目的についてまとめた記事を発表した。ここでは、この記事で紹介されている技術やサービスについて紹介する¹³。

- 次世代型 HTS (VHTS)¹⁴**…仏 Thales Alenia Space の関係者によれば、現在 VHTS (Very-HTS) に対する顧客の関心度が高まっている。VHTS とは、複数の企業が現在開発を行っている HTS の後継とも言える次世代型の衛星であり、Q・V 帯 (40/50 GHz) や W 帯 (70/80GHz)、光通信技術等を活用し、テラビット通信を実現するものと見られている¹⁵。VHTS は、既存の移動体通信と同等の通信キャパシティを衛星通信が求められた際に、この需要に対応するために開発されており、膨大な容量の通信を行うことができると同時に、手頃な価格でユーザーに通信サービスを提供する事を目指したものである。欧 Eutelsat や米 ViaSat などは、2020 年頃の VHTS 打ち上げを目安として開発を進めていると言われている。

図表 2: ViaSat 作とされている VHTS についての資料

Mobile Connectivity: market foothold with existing assets		
BRING FIBER-LIKE CONNECTIVITY IN MOBILITY		
IN-MARKET PROPOSITION	INDUSTRIAL TRANSLATION	TIMING
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Deliver streaming-like experience for IFEC ▶ 1 Mbps / passenger for 50% of passengers 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ VHTS satellites ▶ 1 Terabyte satellite 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 2020-21
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Deliver on-the-move fiber-like Connectivity for ground transportation 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ VVHTS ▶ Flat terminals 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 2025-2035+

Pave the way by leveraging our existing assets in Aero (172° East, 10° East, 117° East, KA-SAT), selectively invest to improve coverage, and seek partnership deals with stakeholders for each vertical

出典: Space News 記者の Twitter¹⁶

例えば欧 Airbus Defense & Space とドイツ航空宇宙センター (DLR) は、2015 年 10 月に VHTS についての論文を発表しており、開発途上にある Q・V 帯や光通信技術を利用する事により、フィーダリ

¹³ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar17.pdf> (p.9-18)

¹⁴ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar17.pdf> (p.9)

<https://runwaygirlnetwork.com/2016/07/01/stormy-days-as-satellite-industry-adapts-to-shifting-demand/>
<http://www.satellitetoday.com/publications/st/2016/08/03/eutelsat-expects-return-growth-two-three-years/>

¹⁵ http://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2016/39/matecconf_csc2016_03008.pdf (p.7)

¹⁶ https://twitter.com/pbdes/status/747358872701177856/photo/1?ref_src=twsrc%5Etfw

リンク用の地上局数を大幅に削減しつつ、VHTS を通してテラビット毎秒規模の通信が可能となるとの見解を示している。この論文では、2つのコロケートされた HTS を活用し、自由空間光通信 (free-space optical communication) を実現するソリューションが提示されており、天候リスクへの対処として、複数の光通信地上局を設置したり、光ファイバーネットワークをバックアップ用として整備することが提案されている。このソリューションは、2025~2030年頃の技術で実現が見込まれているが、課題の一つは、アナログとデジタルの光変調 (optical modulation) のそれぞれの長所と短所のバランスを取りつつ、システムに導入することとされている¹⁷。

Thales Alenia Space の関係者によれば、通信のカバー範囲や市場の成熟度、リスク度合い等によって、複数のタイプの VHTS が開発される可能性があるという。また同社では、VHTS 用の新型のスペースゲート (space gate) ソリューションも開発しており、これは VHTS 導入の際に想定されている、地上セグメントの価格高騰に対処するため案の一つとされている。

- **Q・V 帯の利用検討**¹⁸...VHTS の開発等も背景に、Q や V 帯 (40~50GHz) 等の衛星通信用の利用検討も始められており、例えば仏 Thales Alenia Space が航空機内向けの通信サービスにこれらの帯域の利用の検討を始めているほか、米カリフォルニア州パロアルトに本社を構える SSL は、Q・V 帯の検証用の機器を搭載した Eutelsat 向けの衛星 (Eutelsat 65 West) の製造を完了している。SSL の担当者によれば、同社が現在開発に力を入れている分野は、Q・V 帯、小型衛星、光通信とレーザー技術である。

図表 3: SSL が製造した Eutelsat 65 West (Q・V 帯検証用の機器搭載)



出典: Satellite Market Research (SSL からの引用)¹⁹

¹⁷https://www.researchgate.net/publication/284169338_Next_Generation_High_Throughput_Satellite_System_Based_on_Optical_Feeder_Links

¹⁸ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar17.pdf> (p.10-11)

¹⁹ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar17.pdf> (p.11)

現時点ではこれらの帯域に対応可能な衛星・地上機器の大量製造にまで至っていないため、手頃な価格でこれらの帯域を活用したサービスを提供するには、今後さらなる投資が必要とされている。Q・V帯は、今後はまず静止軌道(GEO)衛星システムによって活用されていくと見られており、その後中軌道(MEO)やLEO衛星による利用も進むと考えられる。例えばBoeingは2016年6月にFCCに対し、C帯とV帯を活用する1,300機のLEO衛星群を構築する案を提案しており、Boeingの関係者によれば、伝播損失が少ないMEOやLEO衛星と、高い周波数帯域の相性は良いため、今後更に注目が集まる可能性がある。

- **衛星の軽量化**²⁰…現在、多くの衛星事業者らが打ち上げ費用や運用コストの削減を目的とし、衛星の軽量化を目指している。こういった企業らの注目を集めている技術の一つは、ソフトウェア・デファインド・ラジオ(software define radio: SDR)である。この技術を用いれば、ソフトウェアを活用してモジュレーションや波形、信号を変化させることが可能と言われており、衛星の軽量化に励んでいる企業らにとっては、大きな可能性を秘めた技術と言える。例えばEutelsatや欧州宇宙機関、Airbus Defense and Space等がソフトウェア制御衛星(software-driven satellite)の開発に力を入れている。

また、次世代型のデジタル信号プロセッサ(Digital Signal Processor: DSP)も、革新的な技術と言われており、数百ギガヘルツを管理することが可能であるほか、より複雑な多重送信(multiplex)や、衛星ビームのコントロールが可能となるという。DSPも、衛星重量の軽量化のための主要なソリューションの一つとして見られている。

衛星を軽量化しつつ、従来と同等、もしくはそれ以上の通信場フォーマンスを実現するためには、太陽光発電や電気推進(electric propulsion)技術の開発も必要となる。例えばBoeingは、これらの技術を用いて、衛星の運用コストの削減を目指しているほか、衛星それぞれの寿命の延長も目指している。またSESは、すでに軌道上に電気推進能力を擁する衛星を25基保有しているほか、NASAと共同開発したロールアウト・ソーラー・アレイ(Roll Out Solar Array)の開発も続けている。またThales Alenia Spaceの関係者によれば、VHTSの実現にも、電力関連技術の開発が重要となる。

- **レーザー・クロスリンク技術**²¹…英Surrey Satellite Technology Limited (SSTL)の関係者によれば、現在の関連する研究開発分野で注目されているものの一つは、レーザー・クロスリンクの開発である。レーザーを活用した自由空間光通信を実現する事ができれば、周波数資源の枯渇の問題が解消できるほか、レーザー・トランスミッターは比較的小型で、軽量で開発が可能である。例えば欧州宇宙機関は、EDRS(European Data Relay Satellite System)と呼ばれる、欧州初の衛星光通信技術のプロジェクトを実施している。

²⁰ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar17.pdf> (p.9-18)

²¹ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar17.pdf> (p.12)

- **衛星寿命の延長**²²…衛星の寿命引き延ばしを目的とした技術開発も行われており、例えば軌道上で衛星にエネルギー補充を行う方法や、老朽化してきた衛星にタグボートの様な小型の宇宙船を連結し、衛星の管制等を行う方法が検討されている。
- **衛星製造の速度、効率の向上**²³…SpaceX や OneWeb 等が計画している非静止軌道(NGSO)衛星群等の開発を行うには、何千とも言われる小型衛星を、限られた時間で効率よく製造する必要がある。例えば SSL や Boeing 等は、3D 印刷技術を衛星製造に応用し、部品の大量製造やコスト削減、開発中の宇宙探査機の内部構造の最適化を図っている。また自動システムを活用した、衛星の試験や打ち上げの効率化も目標とされている。

2 米国衛星通信事業者における新たなサービス及び研究開発の動向

2.1 航空機内向け通信サービス

2.1.1 概要

欧州の衛星専門コンサルティング会社の Euroconsult の調査によれば、航空機内で乗客が利用した通信サービスの経済規模は、2015 年に 7 億米ドル規模に達し、2025 年までに 54 億米ドル規模にまで成長すると見込まれている。2015 年末までに、世界の 72 の航空会社の 5,300 機(ビジネス用ジェットは 1 万 9,700 機)に乗客向けの通信サービスが導入されており、通信サービスが搭載されている民間航空機の数は 2014 年末から約 21%増加した。Euroconsult は、2025 年までに 2 万 3,100 機(世界の航空機の 62%)に乗客向け通信サービスが搭載されると予想している²⁴。

²² <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar17.pdf> (p.12-14)

²³

²⁴ <http://www.prnewswire.com/news-releases/prospects-for-in-flight-entertainment-and-connectivity-market-2016---total-revenues-expected-to-nearly-54-billion-by-2025-a-23-cagr-over-the-10-year-period---research-and-markets-576703371.html>

図表 4: 乗客向け通信サービスを導入している航空会社数(地域ごと)



出典: Euroconsult²⁵

航空機内利用向けの通信サービス市場の成長を支えている大きな要素の一つは、Ka 帯や Ku 帯に対応した大容量衛星通信システム(High Throughput Satellite: HTS)開発である。2018 年までに Ka 帯と Ku 帯に対応している HTS 衛星の伝送速度は、全体でそれぞれ 1,500Gbps(2015 年の約 3 倍)と 285Gbps(2015 年の約 5 倍)になると予想されている。HTS の開発加速に伴い、各社がより多くの民間航空機に通信サービスを搭載するほか、これまでサービスを提供してこなかった航空会社も、導入を検討していくと予想される²⁶。

現在、民間航空機向けに機内通信サービスを提供しているのは、主に米 Gogo、米 Panasonic、米 Global Eagle Entertainment (GEE)、仏 Thales Group、多国籍業界団体 SITA、スイス OnAir、米 ViaSat の 6 社である。これに対し、複数の機材製造業者や衛星事業者が 2017 年までに市場への参入を目指しており、実際に参入が本格化すれば、競争が激化すると見られている。しかしながら、機内通信サービスの提供には膨大な初期投資とサービス提供責任が伴うため、企業らにとっては、安定した利益計上が課題となるが、利益を計上するためには衛星容量の安定化が必須となる²⁷。

2015 年に Gogo と GEE が民間航空機 1 機にサービスを提供して得た平均年間収入(annual revenue per commercial aircraft: ARPA)は、12 万 5,000~13 万 5,000 米ドルであった。一部の予測では、次の 3~5 年の間に、ARPA は 25 万~30 万米ドル規模に達すると言われている。これは今後通信サービスを提供可能な航

²⁵ <http://www.euroconsult-ec.com/shop/satellite-communications/13-prospects-for-in-flight-entertainment-and-connectivity.html>

²⁶ <http://www.prnewswire.com/news-releases/prospects-for-in-flight-entertainment-and-connectivity-market-2016---total-revenues-expected-to-nearly-54-billion-by-2025-a-23-cagr-over-the-10-year-period---research-and-markets-576703371.html>

²⁷ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar16.pdf> (p.44)

空機数が増え、また利用可能な周波数帯域が増える事により、一人一人の乗客の機内でのデータ消費量が
増える事が見込まれるためである²⁸。

これまでの予測に比べ、航空機内利用向けの通信サービス市場の成長規模は近年拡大する傾向にあり、
これは主に Ku 帯や Ka 帯を利用する VSAT (Very Small Aperture Terminal) ソリューションの導入が今後加
速していくと見られているためである。米 Panasonic や米 GEE 等の民間航空機に通信ソリューションを提供し
ている大手企業も、VSAT ソリューションへの関心を示しているところであり、Euroconsult の予測によれば、
2015 年に 2.0Gbps であった VSAT システムの通信キャパシティは、2025 年までに 120Gbps にまで増加する
予定である²⁹。また民間航空機向けの機内通信サービスの提供拡大に関しては、アンテナを含む通信機器
の能力向上も不可欠であり、特にアンテナは重要となる。2015 年時点では、Panasonic、ViaSat、Aerosat、
Tecom の 4 社が主に民間航空機向け機内通信サービスの提供に特化したアンテナ技術の開発を進めてい
る³⁰。

機内通信サービスのみならず、スマート・プレーン (smart plane: スマートな航空機の意)、もしくはコネク
テッド・エアクラフト (connected aircraft: つながった航空機の意) の概念も開発段階にあり、通信サービス
を利用して飛行管制の最適化を実現させる動きもある。スマート・プレーンやコネクテッド・エアクラフトの概念
は、次の数年でより具体的になると見られているが、これらの概念が一般化された場合、より多くの通信サー
ビスプロバイダが参入してくる可能性がある³¹。

2.1.2 関連企業の動向

- **米 Gogo**…Gogo は 2016 年 3 月と 11 月にそれぞれ、Intelsat と機内用 Wi-Fi サービス提供を目的
とした衛星 Intelsat Epic と Intelsat 29e の利用契約を交わした。Gogo はこれらの衛星を用いて、北
米航路向けのサービス拡大を目指す予定である。Intelsat Epic に関しては、いずれ OneWeb が構
築を目指している低軌道 (LEO) 衛星群と連結される。Intelsat 29e については、2017 年に Intelsat
32e の運用が始まるまでの中継ぎ的な位置付けであり、Intelsat 32e の運用が始まれば、Gogo のサ
ービス提供は欧州や中東、アジアで拡大される予定である³²。

また Gogo は、70Mbps (既存の機内向け通信サービスの 4 倍) の実現を目指して、「2Ku」と呼ばれる
新技術の導入も急いでいる³³。一方で、米航空会社の American Airlines は 2016 年 2 月、Gogo の
Wi-Fi サービスは ViaSat 等の類似企業が提供するサービスよりも劣っているとして、Gogo に対して
訴訟を起こした。American Airlines は後ほど訴訟を取り下げたものの、ViaSat のサービス利用にも
乗り出しており、Gogo にとっては経営上の痛手となっている³⁴。

²⁸ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar16.pdf> (p.44)

²⁹ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar16.pdf> (p.44)

³⁰ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar16.pdf> (p.44)

³¹ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/mar16.pdf> (p.44)

³² <http://www.satellitetoday.com/telecom/2016/11/17/gogo-boosts-flight-wi-fi-capacity-intelsat-29e/>

³³ <http://money.cnn.com/2015/11/12/technology/gogo-wi-fi-plane-speed/index.html?iid=EL>

³⁴ <http://fortune.com/2016/11/10/american-airlines-viasat-wifi/>

- **米 ViaSat**…ViaSat は 2017 年末までを目途に、同社の既存の衛星 ViaSat-1 の 2 倍の通信容量を擁すると言われている ViaSat-2 の打ち上げを目指している。この衛星の利用が始まれば、北米でのサービスを改善するだけでなく、中南米へのサービス提供も開始される予定である³⁵。

ViaSat は近年、大統領専用機エアフォースワンやその他の政府専用機へのサービス提供を決めたほか、American Airlines との契約もまとめている。また Virgin America 等が利用している Airbus A320 向けの Ku・Ka 帯ハイブリットアンテナについて、米連邦航空局 (FAA) から認可を受けた。2020 年を目途に利用が予定されている Ka 帯衛星 ViaSat-3 の開発も進められている³⁶。

2.2 天然資源開発向けの通信サービス

2.2.1 概要

2014 年以降、石油価格が下落傾向にあり、また米国のイランに対する制裁解除などによって、天然資源市場が不安定化していることもあり、同市場向けの衛星通信サービスへの投資、特に新規の資源探索・掘削施設や業務への投資は停滞している。一方で、既存の施設のオペレーション効率を上げるための投資は引き続き行われており、この背景には、探索や掘削の効率向上を目的としたビッグデータ等の情報分析技術の導入があるほか、海上の施設で勤務する従業員向けのインターネットサービスや遠隔医療サービスの導入を求める声が高まっていることなどが挙げられる。米 Space News の 2016 年 3 月の報道によれば、天然資源開発事業者らの中には、長期間にわたり家族や友人と離れて業務にあたる従業員に対してインターネットサービスを提供し、優秀な人材を採用・維持する事を検討している者もいるほか、遠隔医療サービスを導入して従業員の生活の質を向上させたり、病人の空中搬送に係る費用等の節約を検討している者もいる³⁷。

石油価格の下落を受け、2016~2017 年も天然資源開発事業者向けの衛星通信サービスへの投資は停滞する可能性がある一方で、米コンサルティング会社 Frost & Sullivan によれば、天然資源開発事業者らによる衛星通信サービスへの投資額は、2014 年の 3 億 5,720 万米ドルから、2020 年には 4 億 5,990 万米ドルまでおよそ 28%ほど増額される見通しである。また同社は、投資の多くは北米企業から行われると見ている

³⁸。

2016 年 4 月に米衛星専門調査会社の Northern Sky Research が発表した記事でも、2013 年から発動されている米国の自動歳出削減措置 (sequestration) や中東からの米軍の撤退により、米国政府や米軍の衛星通信関連プロジェクトの予算が縮小されており、2011 年以降、相対的に石油や天然ガス業界からの FSS

³⁵ <http://apex.aero/2017/01/18/viasat-boeing-upcoming-viasat2-satellite-launch>

³⁶ <http://atwonline.com/connected-aerospace/bringing-wi-fi-airline-passengers-will-boost-satellite-business>

³⁷ <http://www.businesswire.com/news/home/20150715005923/en/Research-Markets-Global-Offshore-Oil-Gas-Satellite>

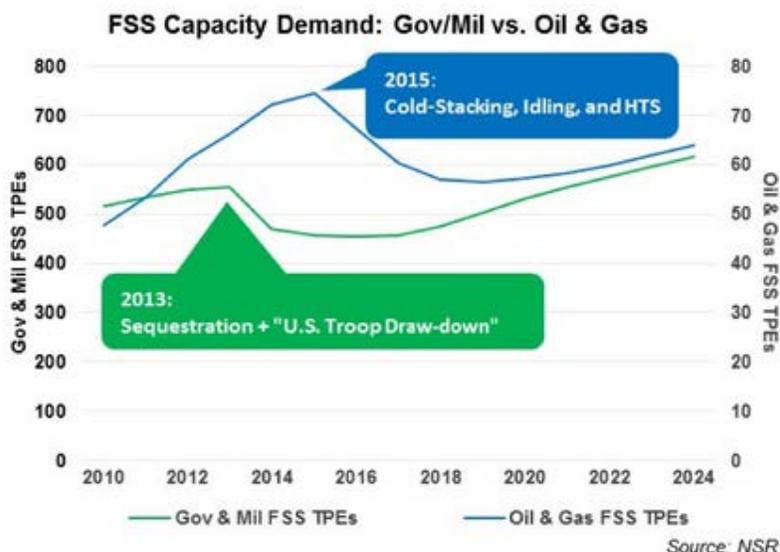
<http://spacenews.com/is-that-a-satellite-in-your-gas-tank/>

<http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/may16.pdf>

³⁸ <http://www.offshore-mag.com/articles/2015/11/offshore-oil-and-gas-satellite-communications-market-to-steadily-increase-report-claims.html>

に対する需要が高まっていることが分析されている。下記の図は、米国政府や米軍からのトランスポンダ（Transponder equivalent: TPE）需要と、石油や天然ガス業界からの TPE 需要を比較したものであり、2011年頃を境に後者の需要が前者を上回ったことを示している。Northern Sky Research は、天然資源業界は石油価格の下落を受け、これまでよりも効率的で、革新的な業務や意思決定の方法の模索を行っており、特にビッグデータを活用した迅速な意思決定を行うことで、掘削や生産の費用を下げようとする動きがあると分析している³⁹。

図表 5: 政府・軍向けと石油・天然ガス向けの FSS 需要比較



出典: Northern Sky Research⁴⁰

一方で、2016年10月に発表された米衛星業界専門誌 Via Satellite の記事では、石油や天然ガス事業者にとって衛星通信はまだ高価なものである、という米コンサルティング会社 IHS の分析が紹介されている。同社によれば、2014~2015年の石油価格の急落により、石油・天然ガス開発企業が出す研究開発費は、15~20%ほど削減された。また企業の中には、すでに導入済みの衛星通信サービスのパフォーマンスが天候によって不安定になる事を重く見て、海中光ファイバーネットワーク(sub-sea fiber optic network)や、民間用の沖合無線通信ネットワークへの転向を計画している者もいる。他方、HTSの普及により、衛星通信の料金が徐々に下がれば、石油や天然ガス市場への衛星通信導入が活発化する可能性があるという Via Satellite は見ている。特に、O3bの中軌道(MEO)衛星群の通信ネットワークは、石油や天然ガスの探索・掘削用の沖合施設もカバーしており、今後の天然資源開発市場での成長が見込まれている⁴¹

2016年3月に発表された、海上通信向けの VSAT 市場についてまとめた報告書によれば、VSAT は違法漁業等の探査活動、レスキュー活動や対海賊オペレーション等への活用が検討されている。世界的な海上

³⁹ <http://www.nsr.com/news-resources/the-bottom-line/is-energy-the-next-post-surge-gov-mil-market/>

⁴⁰ <http://www.nsr.com/news-resources/the-bottom-line/is-energy-the-next-post-surge-gov-mil-market/>

⁴¹ <http://interactive.satellitetoday.com/via/october-november-2016/in-the-oil-and-gas-recovery-satellite-will-rise/>

通信向けの VSAT 市場は、2017~2021 年の 3 年間で、13.74%の年平均成長率(Compound annual growth rate: CAGR)を達成する見込みであり、VSAT の運用で得られる収入の多くは、VSAT の配備や維持、衛星通信事業者からの通信料等が考えられ、特に近年では、石油や天然ガス事業者、政府組織、艦船事業者等に対する Ka 帯、Ku 帯、L 帯、C 帯、HTS 等の利用が市場を支えている⁴²。

2.2.2 関連企業の動向

- **ITC Global**⁴³…2015 年 3 月に Panasonic が買収した中堅の衛星通信事業者 ITC Global(テキサス州ヒューストン)は、2016 年 3 月、西アフリカ地域を中心に進められている大規模な海底石油掘削プロジェクトに従事する艦船(FPSO)2 隻に、衛星通信サービスを提供する契約を受託した。この艦船を保有する Saipem は、イタリアの大手石油・天然ガス開発事業者であり、ITC Global に通信を委託している FPSO は、2 つの C 帯安定アンテナシステム(stabilized antenna system)を搭載し、5~10Mbps の通信を実現する。また ITC Global は、2015 年 12 月にも、コンゴやアンゴラ、赤道ギニア周辺で活動する FPSO にも通信サービスを提供する契約を獲得している。
- **RigNet**⁴⁴…テキサス州ヒューストンに本社を構える通信事業者の RigNet は、エネルギー市場を対象としたサービス提供を行ってきたが、石油価格の低下等を受けて、新事業の開拓を開始している。同社は、引き続きエネルギー市場を主要ターゲットとしていく予定であるが、同市場の縮小により、業績の悪化やリストラ、更には同社全体の組織改革にも直面したため、今後は他分野の事業を拡大することを検討している。

同社が視野に入れているのは、すでに多少見識のある海上や鉱物、機内向け通信サービスの分野で、2016 年前半には、メキシコの通信事業者の Tecnor の買収を完了した。同社は買収前の段階で、48 カ国に陸上や海上、機内向けの通信ソリューションを提供しており、RigNet はこの Tecnor の顧客ネットワークを有効に活用する事を目指している。

- **LeoSat**…フロリダ州ポンパノビーチやオランダのデン・ハーグ等に拠点を構える LeoSat は、78~108 機の LEO 衛星で構成される衛星群を構築し、海洋事業、石油・天然ガス採掘、地質探索等の分野に従事する政府組織や事業者 3,000~5,000 組織を対象とし合計で 1.5Tbps 以上の高速通信サービスを提供する事を目指している(LeoSat の最近の動向については、詳細後述)。

⁴² <http://www.openpr.com/pdf/457430/At-a-CAGR-of-13-74-Global-Maritime-VSAT-Market-to-grow-globally-over-2017-2021.pdf>

⁴³ <http://www.openpr.com/pdf/457864/Global-Maritime-VSAT-Market-to-grow-at-a-CAGR-of-13-74-during-2017-2021.pdf>

⁴⁴ <http://www.satnews.com/story.php?number=468167502>

⁴⁴ <http://www.satellitetoday.com/telecom/2016/08/24/rignet-ceo-assesses-markets-outside-oil-gas/>

2.3 船舶向けの通信サービス

2.3.1 概要

欧衛星専門コンサルティング会社の Euroconsult が 2016 年 11 月した、今後の海上における衛星通信についての報告書によれば、2015 年の海上衛星通信市場では、計 33 万 8,000 ターミナルが利用されたほか、衛星事業者の収益は計 9 億 5,300 万米ドル規模、サービスプロバイダの収益は計 17 億米ドル規模に達した。次の 10 年の間に、海上衛星通信市場は更なる成長を見せると言われており、年平均成長率 (Compound annual growth rate: CAGR) は 5% 程度になるという予測もある。Euroconsult によれば、この成長を牽引するのは次世代型の HTS 通信システムである⁴⁵。

2016 年、海上衛星通信市場には、複数の大手衛星や準ずるサービスが導入され、これには Inmarsat の Global Xpress や Telenor の Thor 7、Intelsat の Epic2 機の打ち上げ等が含まれる。海洋衛星通信に焦点を当てた HTS 衛星の打ち上げは、次の複数年においても想定されており、2020 年には、これらの衛星による通信は 680Gbps に到達すると言われている。特に 2017 年には、フラットパネル・アンテナの導入も予定されている等、技術革新も見られており、衛星通信の価格も低下する可能性がある⁴⁶。

一方で、世界的な石油の供給過多や価格の低下やは、貨物船事業者だけでなく、衛星通信事業者にもネガティブな影響を与えている。例えば 2016 年には、複数の貨物船が退役となった。しかしながら、海洋衛星通信需要は増える傾向にあり、これは艦船の制御の分野の需要が伸びているためであり、これは数年前に見られていた、クルーズ船の乗客向けのサービス需要増加からの変化であると言える。現在、多くの貨物船事業者らが、ビッグデータを活用したアプリケーションの利用を通して、艦船の制御を効率化する事を目指している。これにより、2015 年には VSAT 用のターミナルの数は 9% 増加し、同年末までに 1 万 6,000 ターミナルに達した。海洋衛星通信に利用されている VSAT の C 帯、Ku 帯、Ka 帯を利用した通信は、2010 年は 2Gbps 未満であったが、2015 年には 8.5Gbps になったと言われている⁴⁷。

過去 10 年の間に、民間船舶向けの通信サービスの需要は急速に高まりをみせ、関連技術の開発も進められている。しかしながら、現時点では民間船舶向けの通信サービスで利用可能なのは、インスタントメッセージや Facebook の様なソーシャルメディア、Twitter、YouTube 等でのビデオ視聴、ネットサーフィン、Eメール等の基本的なものに限られており、通信速度も 128~430Kbps に限定されている。もしデータ量を無制限とし、毎秒 2Mbit 程度の通信を保証するためには、船舶の運航業者は月に 2,100~2,700 米ドル (2,000~2,500 ユーロ) 程度を支払う必要がある。毎秒 20~40Mbit でデータ量無制限の陸上通信サービスを利用する場合にかかる月額使用料が数十米ドルであるのと比べると、これは膨大な費用である⁴⁸。

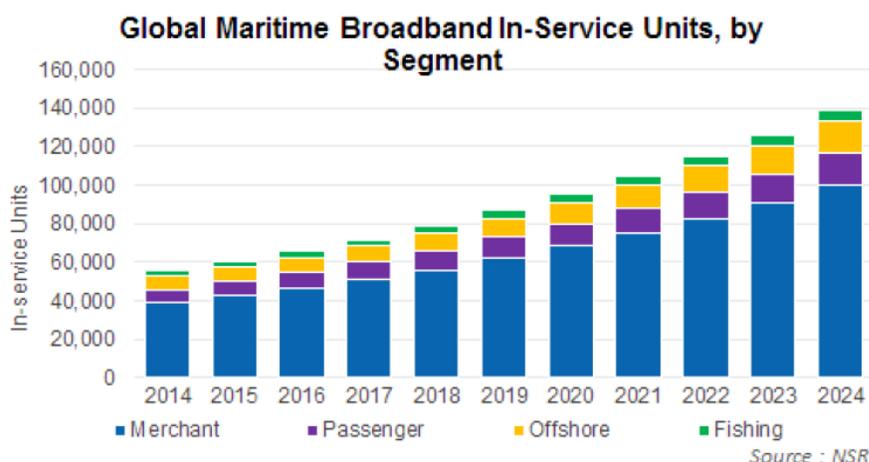
⁴⁵ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/jan-feb17.pdf> (p.28)

⁴⁶ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/jan-feb17.pdf> (p.28)

⁴⁷ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/jan-feb17.pdf> (p.28)

⁴⁸ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/nov16.pdf> (p.9)

図表 6: ブロードバンド通信サービス搭載の艦船数(業種ごと)



出典: Northern Sky Research⁴⁹

現在世界では、6万隻程度の民間船舶が、2国間でやり取りされている物資量の9割を担っていると言われており、その一方で船舶上で利用できる通信サービスやソフトウェア等は、地上で利用するものに比べれば、全般的に技術的に劣っていると分析されており、海上と陸上間の技術的格差を埋めるのは容易なことではない。またソフトウェアの開発者らは、陸上利用向けのソフトウェアを海上利用向けに転用する事が難しい要因として、海上通信ネットワークの整備が遅れていることを上げている。通信ネットワークの整備の遅れにより、ソフトウェア開発者らは、陸上利用向けとは別に、海上利用向けのソフトウェアやアプリケーションを開発するという手間をかけている状況である⁵⁰。

交通運輸網や輸送物資量の拡張・拡大に伴い、船舶において利用可能な高容量通信サービスへの需要は日に日に高まっており、特に輸送貨物の場所のリアルタイムの特定や、貨物の温度管理、燃料消費量の確認、船舶のペーパーレス化等の用途が、こういった需要を高める主な要因となっている。安全面や規制面だけでなくECDISやe-Navigation、VPN、Intranet、SharePoint等のより高い周波数帯域の利用を必要とする新型アプリケーションの台頭も、海上通信サービスの需要の高まりを助長してると言える。また船舶の運航業者の中には、従業員の訓練目的で、高容量の海上通信サービスの整備に強い関心を示している業者もある。従来に比べ、一度の航海に係る期間は短縮化される傾向にあるといえど、家族や友人との定期的な通信を望む乗組員が増えていることも、通信サービス需要を高める一端となっている⁵¹。

移動衛星(MSS)を活用した海上衛星通信サービスについては、VSATをめぐる競争やVSATへの移行が今後も大型貨物船事業者の間で進むと見られている。一方で、中小貨物船の事業者の関心は、基本的な通信をカバーする、より小型で安価なMSSブロードバンド・ターミナルの開発に向いていえる。こういった中小貨物船の事業者向けのサービスは、一加入者あたりの平均売上高(Average Revenue Per Unit: ARPU)は比

⁴⁹ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/nov16.pdf> (p.11)

⁵⁰ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/nov16.pdf> (p.9)

⁵¹ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/nov16.pdf> (p.9)

較的低いものの、サービスの需要が大きいため、今後も MSS を活用した海上衛星通信市場の成長を牽引していくものと見られる。

民間船舶用の衛星通信サービスの提供を目指している事業者の間では、VSAT システムを基盤した Ku 帯衛星の活用も魅力的とみられている。VSAT システムを用いた通信サービスは、月々の料金を固定することができる等、複数のメリットがあるが、現時点では Ku 帯アンテナでカバーできる範囲は限定されており、特に南大西洋や南太平洋地域における範囲は限定されているという問題がある。例えば英 Inmarsat のサービスは、比較的広い地域をカバーしているものの、北極、南極地域のカバー範囲は限定されている。一方で米 Iridium は 66 の衛星によって、北極から南極までのカバーを予定しているが、現時点では Ku 帯以上の高い帯域は対応しておらず、Inmarsat の L 帯システムと同程度のカバー範囲には達していない⁵²。

様々な衛星通信サービスプロバイダが船舶向けのサービスを提供し始めており、VSAT や L 帯システム等の個別の長所・短所を擁するシステムが整備されている中で、船舶の運航業者は、どのサービスを導入するか、検討が難航化する傾向にある。また船舶上の通信システムを、地上にある自社システムの通信システムと接続する場合、船舶の運航業者は大規模な出資を行う必要があり、特により多くの船舶を擁する企業にとっては、大きな決断となる。これらの課題をどの程度早急に解決し、各船舶に通信サービスが提供されていくかが、今後注視する必要があるポイントと言える⁵³。

2.3.2 関連企業の動向

- **米 Iridium**…2017 年に打ち上げられる予定の Iridium Next は、66 の衛星を利用する予定で、既存のシステムにとって代わることが予想されている。Iridium Next によって、L 帯を利用した 1.5Mbps 程度の通信サービスが民間船舶用に提供される予定であるほか、Iridium は、国際海事機関 (IMO) を通して海上における遭難及び安全に関する世界的な制度 (Global Maritime Distress and Safety System: GMDSS) の認定を受けることを目指しており、2017 年の認定が予定されている。1.5Mbps は、VSAT や Inmarsat GX に比べてそれほど速いとは言えないものの、Iridium は、これまで Inmarsat の通信サービスを利用していた船舶の多くが、Iridium Next に移行してくると期待を露わにしている⁵⁴。

また Iridium は 2016 年 9 月、2015 年 7 月～2016 年 6 月のおよそ 1 年間で、同社が販売するグローバル海上通信用の端末 Iridium Pilot を 2,200 個販売することに成功したと発表した。特に 2016 年 3 月以降の 4 か月間での販売個数は、同社史上、最も多い販売個数に達したという。Iridium Pilot は、Iridium が提供している衛星通信サービス「Iridium OpenPort」の利用に必要な端末であり、移動衛星業務 (MSS) の海洋向け製品の中では、急速な普及を見せている製品のひとつである。

Iridium OpenPort は、衛星通信サービスとして利用可能で墨他、VSAT のバックアップソリューション

⁵² <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/nov16.pdf> (p.10)

⁵³ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/nov16.pdf> (p.10-12)

⁵⁴ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/nov16.pdf> (p.9-10)

としても利用可能である。2015年7月～2016年6月の一年間で、Iridium OpenPortの利用者も9%増加している⁵⁵。

- **米 Intelsat**⁵⁶…Intelsat が 2016 年 3 月に発表した海洋衛星通信についてのホワイトペーパーでは、同社が 2015 年に艦船運用業者やクルー事業者に対して行った、最近の海上向け衛星通信サービスについてのアンケート調査の結果が紹介されている。調査結果の内容の例は以下の通り。
 - 艦船ごとの年間 IT 支出の平均は、2 万 3,947 米ほどであり、回答した組織の 58%が一艦船ごとに 1~5 万米ドルの IT 投資を行っている。この中でも、アジアを中心に業務を行っている企業の投資額は、欧州やその他の地域を運航する艦船向けの投資に比べて 5 分の一程度に留まっている。
 - L 帯ソリューションの料金は、1 か月当たり 50~3,500 米ドル程度であり、このうち 0~250 米ドル程度は Iridium やアラブ首長国連邦の Thuraya のバックアップシステムに支払われている。また Ku 帯ソリューションは、月々、一隻辺り 2,750~3,500 米ドルである。
 - Inmarsat の FleetBroadband は、最も多くの回答者(全体の 82%)が採用していると答えた衛星通信ソリューションである。Inmarsat Fleet と FleetBroadband の運用には、月々 750~1,500 米ドルを必要とする。
 - VSAT に関しては、回答者が運用する艦船の約 57%で活用されており、通信ソリューションの中では、二番目に利用が大きいものとなっている。しかしながら、VSAT は常に 100%稼働しているソリューションであるため、海上における主要なソリューションと言える。VSAT の利用料については、種類や提供元によって幅があるが、地域的、もしくは小規模な VSAT システムの運用は、月々、一隻あたり、750~1,000 米ドルとされている。
 - 調査に回答した乗組員の 43%が何かしらのサイバー攻撃を受けた艦船に搭乗したことがあると語った一方で、全体の 90%は、サイバーセキュリティに対する訓練や支持を受けたことが無いと回答した。
- **英 Inmarsat**…船舶向けの衛星通信サービスの場合、通信容量だけでなく、通信速度も課題となっており、地上での通信と同等の通信速度を実現できる通信サービスプロバイダは、現時点では 1~2 社しかいないと言われている。このうちの 1 社である Inmarsat は、3 基の Ka 帯 VSAT 衛星の提供に関して、Boeing と契約している。同衛星 3 機によって構成される新しいネットワークは、船舶向けに 50Mbps の通信サービスを提供する予定である。2017 までには、Inmarsat-5s が Global Xpress と呼ばれる、次世代型のグローバルな通信サービスを提供を開始する予定であるが、256kbps でデータ量無制限とする場合、月々の通信料は 2,300 米ドル強(約 2,200 ユーロ)になると言われている⁵⁷。

⁵⁵ <https://globenewswire.com/news-release/2016/09/06/869512/0/en/Iridium-Leads-Maritime-Market-with-High-Performing-Numbers.html>

⁵⁶ <http://www.intelsat.com/wp-content/uploads/2016/03/futureonautics-maritime-satellite-communications-applications-survey-2016-wp.pdf>

⁵⁷ <http://www.satellitemarkets.com/pdf/pdf2016/nov16.pdf> (p.9-10)

- KVH Industries⁵⁸**…ロードアイランド州ミドルタウンに拠点を構える通信機器製造企業の KVH industries の製品である mini-VSAT ソリューションは、Ku 帯通信を利用している貨物船の 29%に搭載されていることが紹介されている。次点の企業のマーケットシェアは 14%であるため、KVH のシェアはこの競争相手のおよそ 2 倍と言える。C 帯と Ku 帯を統合した場合、mini-VSAT ソリューションのマーケットシェアは 21%ほどとなる。2007 年から運用されている mini-VSAT は、徐々に海上通信分野でシェアを伸ばしており、2012 年以降、トップを記録している。

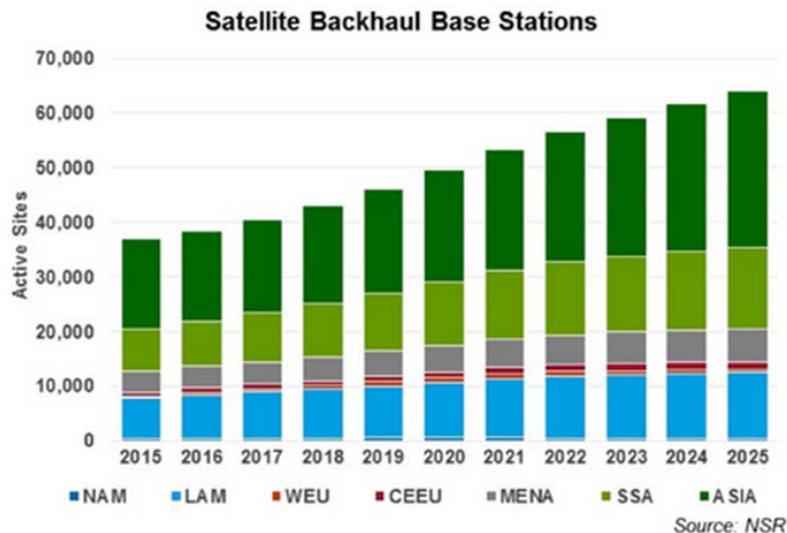
2.4 バックホールや IoT 利用向けの通信サービス

2.4.1 概要

衛星通信のバックホール利用

2016 年 3 月に米衛星専門調査会社の Northern Sky Research が発表した報告書によれば、衛星を活用したバックホール基地局の数は 2025 年までに 6 万 7,000 程度に達すると見られており、これから上げられる収益は 21 億米ドル規模になる。特に現在開発の予定がある、垂直 IP コンテンツ配信 (vertical IP Content Distribution、通信容量のオフロードやコンテンツ・デリバリー・ネットワーク [CDS] へのコンテンツ配信を想定) や、衛星通信料金の低下が、同市場の成長を支える可能性があると分析されている⁵⁹。

図表 7: 衛星を活用したバックホール基地局数の動向予測



出典: Northern Sky Research⁶⁰

Northern Sky Research は、今後の衛星通信システムに関する議論に、無線通信事業者やインターネットサービス・プロバイダーを参加させる必要性を強調している。今後世界の通信需要が更に高まりを見せた場

⁵⁸ <http://www.kvh.com/Press-Room/Press-Release-Library/2016/090116-NSR-Report-KVH-Leader.aspx>

⁵⁹ <http://finance.yahoo.com/news/nsr-report-finds-lower-satellite-190000726.html>

<http://www.nsr.com/news-resources/the-bottom-line/unlocking-cellular-backhaul-via-satellite/>

⁶⁰ <http://www.nsr.com/news-resources/the-bottom-line/unlocking-cellular-backhaul-via-satellite/>

合、CDN や地上通信の混雑を軽減するために、衛星通信を活用するという選択肢はおのずと現れる可能性がある。衛星を活用したバックホールは、特にアジアやサブサハラアフリカ、中欧、東欧地域等の無線通信網が整備されていない場所が多い地域の経済成長を支えるものと言われており、より整備が進んでいる南米でさえ、2G が主流の地域も多く、こういった地域の 4G や 5G 導入に向けて、衛星通信は大きな可能性を秘めている⁶¹。

このほか Northern Sky Research は、近年の AT&T による DirecTV の買収や、Vodafone と Netflix のパートナーシップの締結等に代表されるように、移動体通信市場全体で OTT (Over-The-Top) への関心が高まっていることを指摘している。OTT 分野は 2025 年に向けて更に成長を見せるとされており、同時に 4G から 5G への移行も行われるため、Northern Sky Research は、IP コンテンツ分野の大幅な成長を見込んでいる⁶²。

一方で、無線通信事業者間でも、価格競争が進んでおり、これは衛星事業者にとっても大きな課題となる可能性がある。Northern Sky Research は分析している。現在、HTS 衛星を利用した通信料金は、1GB あたり、1.5～3 米ドル (Mbps で月々 500～1,000 米ドル) であり、LTE と比べれば競争力はあるものの、今後 SDN/NFV の普及や、5G、LTE-U の普及等が加速するに辺り、無線通信システムにおける競争力は高まりを見せると見られる。このため、衛星通信事業者らにとっては、今後数年間の決断や取組が、2025 年以降の長期的な通信業界における立ち位置を決めるものになるため、非常に重要となると Northern Sky Research は提唱している⁶³。

衛星通信の IoT 運用向け利用

米コンサルティング会社 Frost & Sullivan が 2016 年 12 月に発表した報告書によれば、2015 年時点で 2,550 万ユニットの IoT が衛星通信を基に運用されている。この数は未だ少ないものの、今後数年で大幅な成長を見せるとされており、2022 年までの年平均成長率 (CAGR) は約 15.5% と予測されている。衛星通信を活用した IoT は、各国の軍のオペレーション、航空、石油・天然資源採掘、海上輸送の向け通信等のリモート環境での通信が必要な分野に利用されており、S や L 帯が利用されることが一般的である⁶⁴。

また米衛星専門誌 Via Satellite の 2016 年 10、11 月号では、米国やシンガポール、欧州組織の衛星通信を活用した IoT ソリューションの検討状況について伝えられている。この記事によれば、IoT 運用向けの衛星通信に関しては、今後市場規模が成長していくという見方がある一方で、衛星通信にかかる費用が全般

⁶¹ <http://finance.yahoo.com/news/nsr-report-finds-lower-satellite-190000726.html>

<http://www.nsr.com/news-resources/the-bottom-line/unlocking-cellular-backhaul-via-satellite/>

⁶² <http://www.nsr.com/news-resources/the-bottom-line/innovate-or-die-for-satellite-mobile-backhaul/>

⁶³ <http://www.nsr.com/news-resources/the-bottom-line/innovate-or-die-for-satellite-mobile-backhaul/>

⁶⁴ <http://www.prnewswire.com/news-releases/global-satellite-internet-of-things-iot-market-forecast-to-2022-300380409.html>

<https://www2.frost.com/news/press-releases/oil-gas-and-aviation-vertical-markets-spur-adoption-satellite-iot/>

<http://www.businesswire.com/news/home/20161214005797/en/Global-Satellite-Internet-IoT-Market-Forecast-2022>

的に下がらなければ、市場の成長は限定されるだろうとの見方がある。しかしながら、重要な M2M、IoT のバックアップ通信ソリューションとしては、衛星通信には今後も未来があるという見方もある⁶⁵。

2.4.2 関連企業の動向

- **Hughes**⁶⁶…Hughes は 2016 年 10 月、次世代 HTS の移動体通信バックホール向けの利用について検討するホワイトペーパーを発表している。このホワイトペーパーの中で Hughes は、移動体通信事業者が地上の通信網を整備する際、ユニバーサル・サービス提供の観点から、通信・発電インフラが整備されていない僻地にも通信インフラ整備を検討するが、これには膨大な初期投資が必要となるほか、サービス利用によって得られる収入は限定される可能性があると指摘する。このほか、海上の石油掘削施設やリゾート地等では、地上通信を整備する事が不可能な場合もあり、こういった事例では、衛星通信がその長所が十分に生かすことができると Hughes はしている。

Hughes は、既存の衛星では、2G 向けのバックホール利用しか期待できないが、次世代の HTS では、3G、もしくは 4G 通信にも対応可能との見解を示している。また同社は現在開発が活発化している VSAT と衛星通信のバックホール利用の潜在的な相乗効果についても指摘している。

- **Orbcomm**⁶⁷…ニュージャージー州ロシェルパークに本社を構える M2M ネットワーク提供企業の Orbcomm は、コストを抑えた衛星モデムの開発や、より統合化・複雑化されたテレマティクス (Telematics) ソリューションの開発を進めており、すでに 3 つの衛星と 7 つの移動体通信ネットワークを統合した単一プラットフォーム上で、IoT 機器の管制を行うシステム開発を終えている。
- **Numerex**⁶⁸…ジョージア州アトランタに本社を構える M2M 通信ソリューション企業の Numerex は、政府組織や民間企業のリスク管理等の面から、衛星通信ソリューションの開発に力を入れている。同社は既に、米連邦緊急事態管理局 (FEMA) 等に対し、緊急時の物資配送や盗難防止、物資のトラック等々のソリューションを、衛星通信を通して提供している。同社は移動通信と衛星通信のハイブリッド・ソリューションが、今後の IoT 運用において重要との見解を示している。

⁶⁵ <http://interactive.satellitetoday.com/via/october-november-2016/an-internet-of-things-world-where-does-satellite-fit-in/>

⁶⁶ <http://www.hughes.com/company/newsroom/stories/cellular-backhaul-the-killer-app-for-high-throughput-satellites?locale=en>

⁶⁷ <http://interactive.satellitetoday.com/via/october-november-2016/an-internet-of-things-world-where-does-satellite-fit-in/>

⁶⁸ <http://interactive.satellitetoday.com/via/october-november-2016/an-internet-of-things-world-where-does-satellite-fit-in/>

3 米国宇宙企業の最新の動向

3.1 OneWeb

3.1.1 概要

OneWeb は、2012 年に元 Google 社員であるグレッグ・ワイラー氏 (Greg Wyler、現 OneWeb 執行役員) に よって英国王属領セント・ヘリア教区で創設され、その後、米バージニア州アーリントンやフロリダ州ココア等 に拠点を開設している。同社は、648 基の小型衛星で構成される LEO 衛星群を構築し、2020 年を目途に世 界中にインターネットサービスを提供する事を目標としている。また同社は、LTE や 3G、2G、Wi-Fi にも対応 しているユーザーターミナルの開発も行っている⁶⁹。

図表 8: OneWeb が開発中のユーザーターミナル



出典: Telecompetitor (OneWeb から引用)

同社は連携組織が多いことでも知られており、衛星の製造や実験分野で連携している欧 Airbus Space and Defense のほか、衛星の打ち上げ支援を表明している Virgin Galactic、チップ技術分野からの支援を表 明している Qualcomm、OneWeb のサービス提供が始まり次第、利用を表明している印 Bharti Enterprises や メキシコの Totalplay、米 Coca-Cola 等が資金の提供を行っている。

また米 Intelsat や Hughes Network Systems 等の衛星事業者とも、周波数や潜在的な顧客、地上インフラ の共有等の分野での協力で合意しているほか、OneWeb は SIA のメンバーでもある。また、航空機内の通信 サービスプロバイダであるシカゴの Gogo Inc.も、赤道上の GEO 衛星のカバーが難しい北極や南極地域を 飛行する旅客機に対して通信サービスを提供するため、OneWeb のネットワークを使うことを予定している⁷⁰。2016 年末には、SoftBank Group も OneWeb への支援を表明しており、LEO 衛星群構築に向けた追い風 となっている。

⁶⁹ <http://www.telecompetitor.com/oneweb-leo-satellites-aim-to-create-extensive-satellite-broadband-network/>

⁷⁰ <http://spacenews.com/leosat-corporate-broadband-constellation-sees-geo-satellite-operators-as-partners/>

3.1.2 最近の主な動向

- **FCC への米国市場アクセス許可申請(2016年4月)**⁷¹…2016年4月、OneWebはFCCに対し、米国の市場と周波数へのアクセスを求めるとの申請を行った。この申請の中でOneWebは、2017年末~2018年前半を目途に、それぞれ21基と39基の衛星を、欧州のソユーズロケットと、米Virgin GalacticのLauncher One Vehicleによって打ち上げることを明示している。

この申請に懸念を持った米Dish Networkらの衛星放送・通信事業者らは、同年6月にFCCに対し、OneWebやSpaceXにKu帯500MHzの優先アクセスを与えないよう求める書簡を提出した。Dish Networkらは、Ku帯を利用したNGSO衛星群は現実味がなく、また実際にこれらの衛星通信システムが運用された際には、他の事業者の通信に干渉する可能性があり、周波数を利用を許可すべきではないと主張した。

この段階ではOneWebは、初期資金として集めた5億米ドル以上を集められておらず、これもDish Networkらの現実味が無いという指摘の根拠となったと見られる。またSpaceXも、NGSO衛星群の開発を監督しているグウィン・ショットウェル代表(Gwynne Shotwell)が、同計画については詳細について評価・検討中と発言したこともあり、計画の実現性が懸念されるようになった。

これに対しては、SpaceXと、OneWebのパートナーであるIntelsatは反論文書をFCCに提出し、NGSO衛星群の計画は現在も進んでいるとの見解を示した。Intelsatは、OneWeb以外のNGSO FSSシステムの提供を計画している企業らも、間もなくKu帯の利用計画をFCCに提供し始めるだろうとし、FCCに対し、同帯域を衛星群向けに維持するよう要請している。またIntelsatは、Dish Networkらが主張している5Gと放送衛星間の周波数共用は不可能であるとの見解を示している。

- **衛星製造施設の建設計画発表(2016年4月)**⁷²…2016年4月、OneWeb Satellites LLC (OneWebとAirbus Space and Defenseのジョイント・ベンチャー)は、フロリダ州のNASAケネディ宇宙センターに併設されている航空宇宙産業拠点Exploration Park内に、新しい衛星製造施設を建設する事を発表した。Exploration Parkは、NASAと、フロリダ州の航空宇宙分野のプレゼンスを高める事を目的とした州政府機関Space Floridaが運営している299エーカー規模の産業拠点で、2016年3月からは、宇宙航空分野の民間企業の誘致も活発化している。この拠点内では、フロリダ州が課する個人所得税や固定資産税、事業税、一部の法人税が免除されるなど、誘致企業にとっての複数のインセンティブが用意されている⁷³。

⁷¹ <http://oneweb.net/press-releases/2016/oneweb-to-seek-access-to-the-u-s-market>
<http://spacenews.com/dish-network-battles-oneweb-and-spacex-for-ku-band-spectrum-rights/>
<https://techcrunch.com/2016/04/19/oneweb-will-mass-produce-historic-number-of-satellites-with-new-florida-factory/>

⁷² <http://oneweb.net/press-releases/2016/oneweb-satellites-unveils-the-worlds-largest-high-volume-satellite-manufacturing-facility>

<http://oneweb.net/press-releases/2016/oneweb-announces-1.2-billion-in-funded-capital-from-softbank-group>
<https://techcrunch.com/2016/04/19/oneweb-will-mass-produce-historic-number-of-satellites-with-new-florida-factory/>

⁷³ <http://www.explorationpark.com/why.htm>

OneWeb が建設を予定している施設は、衛星市場でも初となる、10 万平方フィートを超える、衛星の大規模製造施設であり、2017 年中には開所の予定である。OneWeb はこの施設に対し、8,000 万米ドルを投入するほか、フロリダ州政府からも 1,750 万米ドル規模の支援や、Space Florida からも支援を得る予定である。最初の 900 基については、50 万米ドル以下の費用で、150kg 以下の比較的小規模のものを製造予定であるが、これらの衛星は、より大きいサイズの衛星よりも高いパフォーマンスを実現する予定である。OneWeb は、この施設で、一週間あたり 15 基の衛星を製造する事を目指しており、この施設からは 250 の直接雇用が生まれる予定である。

図表 9: OneWeb が Exploration Park 内に建設予定の衛星製造施設(完成イメージ)



出典: Space News(OneWeb より引用)⁷⁴

この施設では、最初は OneWeb 用の衛星が製造される予定であるが、その後は他の企業や政府機関から委託を受けて衛星製造を行う予定であり、OneWeb の収益となるだけでなく、フロリダ州に大きな経済効果を生み出すことも期待されている。施設には製造ラインのほか、機器の試験設備や、製造状況や生産効率を上げる事を目的としたデータ収集の機能も整備される予定である。

- **ITU 会合での Ku 帯保護の主張(2016 年 6 月)⁷⁵**...OneWeb のトニー・アザレリ規制・政策担当副代表(Tony Azarelli)は、国際電気通信連合(ITU)の会議の際に、GEO 衛星が利用するための Ku 帯の保護を主張した。この OneWeb の主張は、Ku 帯を利用するその他多くの衛星事業者らによって支持された。
- **FCC への LEO 衛星群の計画提出(2016 年 7 月)⁷⁶**...2016 年 7 月、FCC は、OneWeb が WorldVu Satellite Limited 名義で FCC に対し、720 基の LEO 衛星群を用いて、米国内にも FSS 通

⁷⁴ <http://spacenews.com/oneweb-weighing-2000-more-satellites/>

⁷⁵ <http://spacenews.com/boeing-proposes-big-satellite-constellations-in-v-and-c-bands/>

⁷⁶ https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-16-804A1.pdf

信サービスを提供する計画があると公式的に報告をしたと発表した。この文書の中で FCC は、以下の米国内の周波数帯に関して、OneWeb より利用案が出ていることを公表した。

- ▶ ユーザーターミナル用…10.7-12.7 GHz (衛星-地上間: NGSO FSS による 10.7-11.7 GHz のゲートウェイ地上局の利用は FCC によって規制されているため、免除が必要となる)、14.0-14.5 GHz (地上-衛星間)
- ▶ ゲートウェイ地上局用…17.8-18.6 GHz (衛星-地上間)、18.8-19.3 GHz (衛星-地上間)、27.5-29.1 GHz (地上-衛星間)、29.5-30.0GHz (地上-衛星間)

また FCC は、OneWeb の計画に反対する意見や、その他コメントについては、8 月中に提出するように求め、反対に対する意見は 9 月始めまでに提出するよう求めた。また FCC は、10.7-12.7 GHz、14.0-14.5 GHz、17.8-18.6 GHz、18.8-19.3 GHz、27.5-28.35 GHz、28.35-29.1 GHz、29.5-30.0 GHz を同様に利用する予定がある事業者に対し、2016 年 11 月 15 日までに報告を行うようにとも発表した。

この OneWeb 対し、SpaceX は 2016 年 8 月、FCC に対して意見書を提出し、周波数資源が限られており、なお且つ衛星からのビームを縮小する等の周波数資源を効率的に利用する技術が複数開発されているにもかかわらず、OneWeb の計画では、そういった周波数資源を効率的に利用しようという姿勢が見られないとの見解を示した。また SpaceX は、OneWeb の計画では、衛星間の通信干渉が発生した場合、OneWeb の顧客に対し、他の衛星への通信に切り替える様な措置が見られないと主張している。また、軌道上のデブリを最小化する様な措置も、OneWeb の計画からは見当たらないため、FCC に対し、OneWeb からもっと情報を集めるべきであると主張した⁷⁷。

- **エリック・ベランガー氏を CEO に任命(2016 年 7 月)⁷⁸**…OneWeb は 2016 年 7 月、エリック・ベランガー氏 (Eric Beranger) を CEO に任命した。ベランガー氏は OneWeb の就任以前には、Airbus Defense & Space において、OneWeb との技術上、運営上の調整を行ってきた実績を持ち、OneWeb と Airbus Defense & Space が共同で創設したベンチャー企業「OneWeb Satellites」の経営も主導してきた。
- **衛星群の初期デザインレビュー完了(2016 年 7 月)⁷⁹**…2016 年 7 月、OneWeb は、およそ 700 基の衛星で構築される予定の衛星群の初期デザインレビューを完了した。同社は同年 8 月中に衛星製造に向けた契約を締結し、最初のパイロット衛星 10 基の製造を Airbus Defense and Space の施設で開始する予定である。このパイロット衛星は、2017 年後半、もしくは 2018 年初頭に打ち上げられる予定であり、残りの衛星の製造が始まる前に、軌道上で試験運用される予定である。

⁷⁷ licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=1146264

⁷⁸ <http://oneweb.net/press-releases/2016/oneweb-announces-appointment-of-eric-beranger>

⁷⁹ <http://www.telecompetitor.com/oneweb-leo-satellites-aim-to-create-extensive-satellite-broadband-network/>
<http://spacenews.com/one-year-after-kickoff-oneweb-says-its-700-satellite-constellation-is-on-schedule/>

OneWeb の衛星群についての計画が公式に発表されて以降、同社は 5 億米ドル規模の資金を確保しており、また同時に費用の節約に注力している。2016 年 7 月の Space News の報道によれば、OneWeb が当時の段階で契約した業者に支払った費用は、想定 5% 程度であったという。OneWeb の衛星群アーキテクチャ全体(地上局ネットワーク含む)にかかる費用は 35 億米ドル規模になると言われている。同社は既に、米フロリダ州と仏トゥールーズで生産ラインの整備を始めており、フロリダ州の施設では、2018 年より製造を開始する予定である。

OneWeb の構想通りに 900 基の衛星を製造するのであれば、1 万 5,000 台のソリッドステート電力増幅器 (solid-state power amplifiers) を製造する必要があり、これは、これまでに打ち上げられたソリッドステート電力増幅器の数を上回る。また、衛星構造を支えるハチの巣上のパネル (honeycomb panels) を構築するために、大量の部品を接合する必要がある。また、衛星部品の製造で OneWeb の契約を請け負った仏 Sodern は、衛星一基に 2 台ずつ、1,800 台の恒星追跡器 (star tracker) を製造する必要がある。

部品の製造業者に配慮するため、OneWeb は、衛星製造計画を遅らせる事も視野に入れているが、現時点では 2019 年後半までに全ての衛星を軌道上に打ち上げ、順次サービスの提供を始めて収益を出す事を目指している。OneWeb の創設者でもあるワイラー執行役員やその他の幹部によれば、OneWeb が提供する通信サービスの潜在的な顧客らは、サービス提供開始後、できるだけ早い段階での利用を考えているため、製造スケジュールの遅延はできるだけ避けたいという。

衛星製造に携わる予定の請負業者らは、どの程度、製造設備や生産ラインを拡張した方が良いのか、どの程度の投資を行えば良いのか、難しい決断を迫られている。例外的に OneWeb へのエクイティ投資を決めたカナダの MDA Corp. を除いて、多くの請負業者らは OneWeb が構想全体にかかる資本全体の 15% しか確保できていないにも関わらず、OneWeb の提示するスケジュールに間に合わせるため、早期の段階で設備投資を行う必要があり、難しい決断を迫られている。

OneWeb は 2016 年夏の段階で、90 名の従業員を雇用しており、この他にパートナー企業である Qualcomm や Hughes Network Systems、Airbus 等も人的リソースを投入しているため、すでに 300 人前後のエンジニアがプロジェクトに携わっていると見られている。課題は多々あるものの、OneWeb がこのまま計画通りに衛星の製造を行うことができれば、フロリダ州にある同社の製造設備は、今後とも小型衛星を製造する主要設備の一つとして、成長を遂げていく可能性があると言われている。

- **SoftBank Group からの資金提供(2016 年 12 月)**⁸⁰…2016 年 12 月、日本の SoftBank Group が、OneWeb に対し、10 億米ドルを拠出する事を決めた。これにより SoftBank は、OneWeb の株式のおよそ 40% を確保したこととなり、Softbank の部長であるロナルド・フィッシャー氏 (Ronald Fisher)

⁸⁰ <http://spacenews.com/oneweb-satellites-to-settle-in-exploration-park-florida-with-eyes-on-business-beyond-oneweb/>

が OneWeb の取締役会に参加する事が決まった。このほか、2016 年 12 月の資金集めでは、2 億米ドルが集まっており、2016 年末の段階で OneWeb がこれまでに集めた資金の総額は 17 億米ドルであり、25~35 億米ドルと言われている総費用の半分が集まったことになる。ワイラー氏によれば、同社の 2016 年末までの目標額は 15 億米ドルであったため、しばらくは大々的に資金集めは行わないという。

OneWeb は、最初の 10 基の衛星をフランスで、残りを米国で製造する事を目指しており、部品はカナダや英国、その他の国々から輸入される予定である。OneWeb は米国、フランス、カナダにおけるプレゼンスを高めており、フランスの Coface 等の 3 つの政府機関から export-credit financing を受ける予定である。

ワイラー執行役員によれば、SoftBank からの資金提供により、OneWeb が日本での衛星やその部品の製造をしなくてはならないという決まりはない。一方で、SoftBank は他の技術開発組織とのネットワークも擁しているため、OneWeb はこれらの組織から様々な支援を得たいと考えているとワイラー執行役員は語った。SoftBank は米 Sprint の買収のほか、中国の Alibaba の株式所有者としても知られているほか、最近の Arm Holdings の 320 億米ドルでの買収でも知られている。また、また SoftBank の孫正義会長兼 CEO は、トランプ大統領との会談で、米国への 500 億米ドル規模の大規模投資を決めており、OneWeb への投資はこの一環と見られている。

- **Intelsat との条件付き合併(2017 年 2 月)**⁸¹…2017 年 2 月、OneWeb と Intelsat は、株式交換条件付きの合併に合意したを締結した。また同時に、SoftBank が Intelsat に 17 億米ドルを出資することを決め、OneWeb と Intelsat の合併新会社の株式を保有する事で合意した。この 3 社の共同声明では、OneWeb が計画中の LEO 衛星群は、Intelsat の次世代 GEO 衛星群 EpicNG を補完するものとなると期待されており、両者が連携することによって、世界中にユビキタスなブロードバンド・ソリューションを提供できるとされている。このほか同 3 社は、Intelsat の資本構成の改善や、OTT サービスの配信にも力を入れていく予定であるとの見解を示している。
- **衛星の追加製造案についての発表(2017 年 2 月)**⁸²…2017 年 2 月、OneWeb は、当初予定していた 700 基ほどの衛星に加え、約 2,000 基(1,972 基)を追加製造する案を発表した。ワイラー執行役員によれば、SoftBank からの投資や同社の議論を通し、OneWeb の計画をさらに拡大する案が浮上しているという。またワイラー執行役員は、OneWeb の衛星打ち上げが始まり次第、同社の全てを売却する予定があるとの見解も示した。

元々の想定していた 648 基に加え、1,972 基を追加製造すれば、OneWeb の衛星群を構築する衛星の数は、2,620 基に達する。ワイラー執行役員によれば、この追加製造の計画を実際に始動させ

⁸¹ <http://oneweb.net/press-releases/2017/intelsat-and-oneweb-announce-conditional-combination-agreement>
<http://fortune.com/2017/02/27/satellite-internet-oneweb-intelsat-merger/>

⁸² <http://spacenews.com/oneweb-weighing-2000-more-satellites/>

るには、2017 年前半の段階で、元々想定していた約 700 基の衛星の製造や打ち上げに関する目に見える成果を出す必要がある。これは、OneWeb を支えるパートナーや出資者からの要求でもあると伝えられている。最終的にこの追加製造を行うかどうかについての決定は、2017 年までに下されると言われている。

- **FCC への V 帯利用申請(2017 年 3 月)**⁸³...FCC は 2017 年 3 月、OneWeb、SpaceX、Telesat、O3b Networks、Theia Holdings の 5 社より、V 帯を活用した衛星群の構築計画について、公式的に報告を受けていると発表した。これらの企業は、37~50GHz の活用を想定しているという。OneWeb から提出されている計画は、地上 1,200 キロメートルの LEO 上に、720 の V 帯衛星群を構築するほか、MEO 上に 1,280 衛星を打ち上げる旨が提示されており、2017 年 2 月に OneWeb が発表した追加衛星案は、V 帯の利用を検討しているものと見られる。

3.2 SpaceX

3.2.1 概要

SpaceX は、カリフォルニア州ホーソーンに本社を構えており、火星探査プロジェクトや Falcon プロジェクト等の複数のプロジェクトを運用している。こういったプロジェクトの一つとして、同社は 4,000 基の小型 NGSO 衛星を高度 1,200km に打ち上げ、2020 年頃までインターネットサービスを提供する計画を発表している。SpaceX は、Ku・Ka 帯を利用し、各ユーザーに最大で 1Gbps 程度のサービスを提供する事を目指しており、同社が第一陣として打ち上げ予定の 1,600 基の総通信容量は 32Tbps に達するとも言われている。これらの衛星間の通信は、光通信技術を用いて行われるため、柔軟な衛星のルーティングが可能とされている⁸⁴。

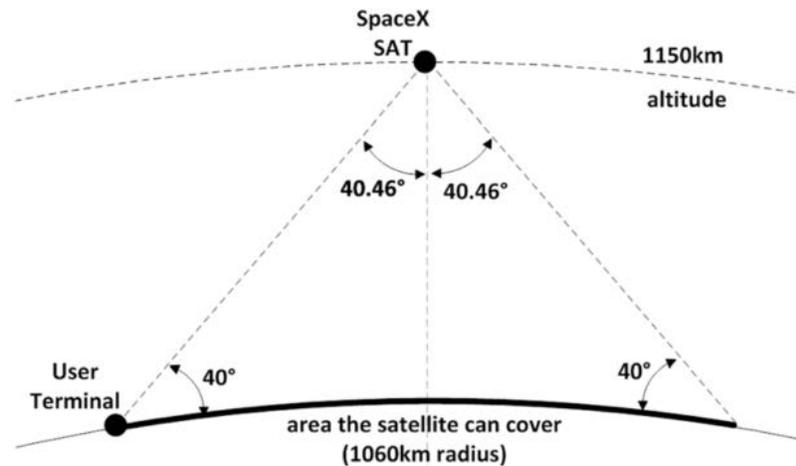
SpaceX は自社内で衛星の製造から打ち上げを担当することを計画しており、総費用は概算でおよそ 100 億米ドルと見積もっている。衛星は 386kg 程度で、地上 1,150~1,275km 地点を周回する予定であり、それぞれの衛星のカバー範囲は 2,120km 程度と言われているほか、寿命は 5~7 年程度である⁸⁵。同社は米 Google と米 Fidelity から 10 億米ドルの出資も得ており、この予算の一部はこの NGSO 衛星群のプロジェクトに投入されるものとみられる。

⁸³ <http://spacenews.com/fcc-gets-five-new-applications-for-non-geostationary-satellite-constellations/>

⁸⁴ <http://www.businessinsider.com/spacex-internet-satellite-constellation-2016-11>

⁸⁵ <http://www.businessinsider.com/spacex-internet-satellite-constellation-2016-11>

図表 10: SpaceX の Ku 帯ビームの操縦可能サービス範囲案



出典: SpaceX⁸⁶

3.2.2 最近の主な動向

- **カリフォルニア州アーバインへの新拠点設置(2016年7月)**⁸⁷…SpaceXからの公式発表はないものの、2016年7月、複数の米メディアはSpaceXがカリフォルニア州オレンジ郡のアーバイン市内に740平方メートル(8,000平方フィート)規模の施設を5年間契約で確保したことを伝えた。SpaceXがこの拠点向けに出した人材募集広告では、衛星群の実現に向けた信号処理、無線周波数集積回路(RFIC)、特定用途向け集積回路(ASIC)等の研究開発に見識のある人材の募集が行われている。
- **ユーザーターミナル開発に係る課題(2016年10月)**⁸⁸…2016年10月、SpaceXのグウィン・ショットウェル代表(Gwynne Shotwell)は、同社が計画しているLEO衛星群構築プロジェクトについて、ユーザーターミナルの費用や価格の課題に直面しており、またプロジェクト全体の具体的な計画やスケジュールについても、まだ検討段階にあるとの見解を発表した。ショットウェル代表によれば、同社としても複数の企業が通信用の衛星群の構築を目指しているのは承知しているが、過去の事例では結局ビジネスとして成功しなかったプロジェクトも多々あるため、SpaceXとしては、慎重に検討を行いながら投資をしていきたいという。

SpaceXは2017年中に、検証用の衛星を打ち上げる予定であり、現在はその製造を行っている。しかしながら、同社にとっての課題は、数百米ドルの価格で各家庭の屋根や庭に設置できる様なアン

⁸⁶ http://licensing.fcc.gov/cgi-bin/ws.exe/prod/ib/forms/attachment_menu.hts?id_app_num=110137&acct=599269&id_form_num=12&filing_key=-289550

⁸⁷ <http://www.dailybreeze.com/business/20160707/hawthorne-based-spacex-leases-office-space-in-irvine>
<http://www.spacex.com/careers/list?location%5B%5D=871>

⁸⁸ <http://spacenews.com/spacexs-shotwell-on-falcon-9-inquiry-discounts-for-reused-rockets-and-silicon-valleys-test-and-fail-ethos/>

テナを開発することであり、この開発が一段落しない限り、それ以降の計画を具体化する事はできない。

また記者からの「SpaceX はいろいろなプロジェクトに手を出しすぎではないか」という質問に対し、同代表は、SpaceX の社員は 5,000 人以上おり、複数のプロジェクトに取り組むのに十分な人的リソースがあることを強調した。その一方で、LEO 衛星群のプロジェクトに携わっているのは 5%以下 (250 人以下) であり、これは同社の火星探査プロジェクトや Falcon プロジェクト等に比べても小規模であるという。

OneWeb 同様、SpaceX も 2016 年夏の段階では、2015 年に Google と Fidelity から得た初期投資の 10 億米ドルしか集められておらず、その計画の実現性に疑問が呈された。これに対しショットウェル代表は、10 億米ドルの投資は、SpaceX 全体への投資であり、衛星群構築プロジェクト単体に対するものではないと弁解した⁸⁹。一方で米 Space News は、SpaceX の人材募集広告等を見ると、すでに試作衛星 2 基の打ち上げ以降の開発を想定していることが分かる指摘している。ショットウェル代表も、SpaceX が衛星群についての最新の情報を逐一公開しないのは、プロジェクトで利用する衛星システムはプロプライエタリなものであり、企業機密に留めたい狙いがあるとしている⁹⁰。

- **FCC に対する衛星群構築計画の報告(2016 年 11 月)**⁹¹…2016 年 11 月、SpaceX は FCC に対し、Ku、Ka 帯を利用して NGSO FSS のサービス提供を検討していると報告した。同報告の中で SpaceX は、4,425 基の NGSO 衛星を打ち上げ、地上 1,110~1,325km 地点の 83 軌道面上で運用する事を発表した。4,425 基のうち初期に打ち上げられる 1,600 基(このうち半分の 800 基の運用を最初に検討している)については、地上 1,150km 地点で 32 の軌道面上それぞれの 50 基を配置して運用するとしている。残りの 2,825 基については、下記の図の様な 4 種類の高度地点にそれぞれ 50~75 基ずつ配置して運用する計画を発表している。

⁸⁹ <http://spacenews.com/dish-network-battles-oneweb-and-spacex-for-ku-band-spectrum-rights/>

⁹⁰ <http://spacenews.com/dish-network-battles-oneweb-and-spacex-for-ku-band-spectrum-rights/>

⁹¹ [http://licensing.fcc.gov/cgi-](http://licensing.fcc.gov/cgi-bin/ws.exe/prod/ib/forms/reports/swr031b.hts?q_set=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number/%3D/SA_TLOA2016111500118&prepare=&column=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number&utm_content=bufferda647)

[bin/ws.exe/prod/ib/forms/reports/swr031b.hts?q_set=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number/%3D/SA_TLOA2016111500118&prepare=&column=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number&utm_content=bufferda647](http://licensing.fcc.gov/cgi-bin/ws.exe/prod/ib/forms/reports/swr031b.hts?q_set=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number/%3D/SA_TLOA2016111500118&prepare=&column=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number&utm_content=bufferda647)

図表 11: SpaceX の衛星配置案

SPACE X SYSTEM CONSTELLATION					
Parameter	Initial Deployment (1,600 satellites)	Final Deployment (2,825 satellites)			
		Orbital Planes	32	32	8
Satellites per Plane	50	50	50	75	75
Altitude	1,150 km	1,110 km	1,130 km	1,275 km	1,325 km
Inclination	53°	53.8°	74°	81°	70°

出典: SpaceX⁹²

また SpaceX は、それぞれ以下の様な周波数帯を利用する事を提示している。SpaceX は、それぞれの衛星が 17~23Gbps のダウンリンクを実現し、レイテンシを 25~35 ミリ秒程度に留める事を目標としている(なお、既存の衛星インターネットサービスのレイテンシは 600 ミリ秒以上である)。

図表 12: SpaceX が利用を検討している周波数帯と用途

<u>Type of Link and Transmission Direction</u>	<u>Frequency Ranges</u>
User Downlink Satellite-to-User Terminal	10.7 – 12.7 GHz
Gateway Downlink Satellite to Gateway	17.8 – 18.6 GHz 18.8 – 19.3 GHz
User Uplink User Terminal to Satellite	14.0 – 14.5 GHz
Gateway Uplink Gateway to Satellite	27.5 – 29.1 GHz 29.5 – 30.0 GHz
TT&C Downlink	12.15 – 12.25 GHz 18.55 – 18.60 GHz
TT&C Uplink	13.85 – 14.00 GHz

出典: SpaceX⁹³

⁹² http://licensing.fcc.gov/cgi-bin/ws.exe/prod/ib/forms/reports/swr031b.htm?q_set=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number/%3D/SA_TLOA2016111500118&prepare=&column=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number&utm_content=bufferda647

⁹³ http://licensing.fcc.gov/cgi-bin/ws.exe/prod/ib/forms/reports/swr031b.htm?q_set=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number/%3D/SA

- **SIA の執行委員会に SpaceX 関係者が参加(2017 年 1 月)**…SIA は 2017 年 1 月 25 日、2017 年の SIA 執行委員会 (executive committee) の委員長に、SpaceX の政府連絡担当副社長であるパトリア・クーパー氏 (Patricia Cooper) を任命した。クーパー氏は 2014～2015 年には Intelsat の副社長を務め、2007～2014 年は SIA の代表も務めた実績を持ち、それ以前は FCC の衛星競争担当の上級顧問や、米商務省の国際貿易担当専門官等を歴任した⁹⁴。
- **FCC に V 帯の活用案を提出(2017 年 3 月)**⁹⁵…SpaceX は、OneWeb、Telesat、O3b Networks、Theia Holdings 等と同様に、FCC に対し、V 帯を活用した衛星群を構築する計画を提出した。SpaceX は、当初の計画である Ku・Ka 帯を利用した 4,425 基に追加する形で、V 帯を活用した LEO 衛星群 (VLEO) を、7,518 基製造する計画を提示している。

3.3 Laser Light Communications

3.3.1 概要

バージニア州レストン市に本拠地を構える Laser Light Communications は、2012 年に創業された企業である。同社は 2018 年を目途に、無線周波数を利用しない世界初の全光ハイブリット・グローバルネットワーク (All Optical Hybrid Global Network: HALO) の設置を目指している。HALO は光周波を用いた衛星-地上ネットワークとなる予定で、48 の衛星間の 200Gbps 程度の光クロスリンクと、72 の衛星-地上間の 100Gbps の光アップリンク及びダウンリンクで構成される予定であり、データの全体的な容量は 7.2Tbps になる予定である。このネットワークでは、既存の 100 倍ものデータ送信が可能となると言われている⁹⁶。

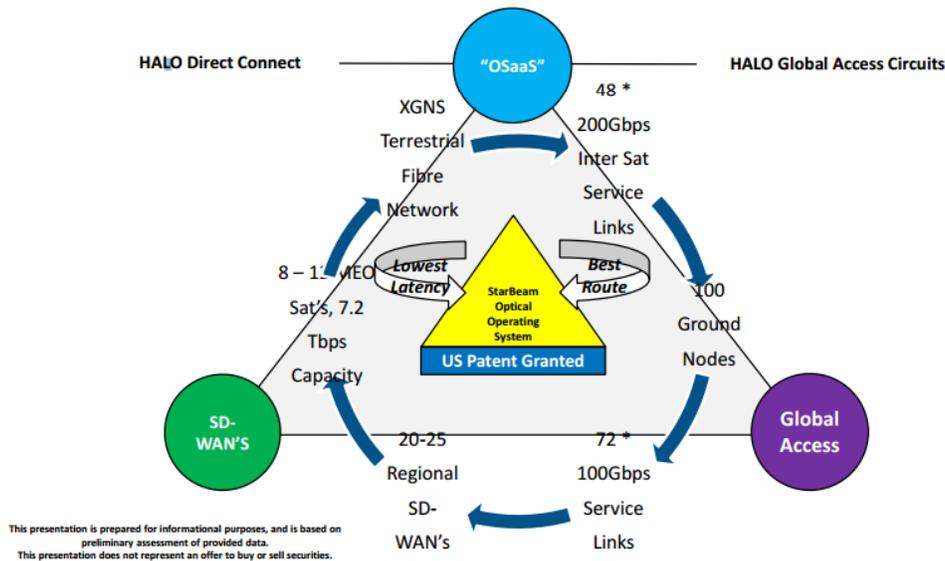
[TLOA2016111500118&prepare=&column=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number&utm_content=bufferda647](https://www.fcc.gov/record/documents/attachments/2016/11/15/16111500118&prepare=&column=V_SITE_ANTENNA_FREQ.file_numberC/File+Number&utm_content=bufferda647)

⁹⁴ <http://www.sia.org/wp-content/uploads/2016/07/SIA-Media-Statement16-Spectrum-Frontiers-FCC-Rulemaking-FINAL.pdf>

⁹⁵ <http://spacenews.com/fcc-gets-five-new-applications-for-non-geostationary-satellite-constellations/>

⁹⁶ <http://www.laserlightcomms.com/newsroom.php>

図表 13: Laser Light Communications の HALO 概念図



出典: Laser Light Communications⁹⁷

HALO 衛星群は、8～12 基の MEO 衛星によって構成される予定で、地上や海中のファイバーネットワークと連結し、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。実際の運用では、100 の POP (Point of Presence) と、パートナーの 1 社である豪 Optus の要する地上ファイバーネットワークを繋ぎ、シームレスな通信を提供する予定である⁹⁸。衛星のネットワークは、世界中の 20～25 のソフトウェア・デファインド WAN (SD-WAN: オーストラリアのシドニー、ブラジルのリオデジャネイロ、南アフリカ共和国のケープタウン、クウェートのクウェートシティ等に設置予定) を拠点とし、PoP に繋ぐ予定である⁹⁹。

Laser Light Communications のネットワークは主に、Space Cable と呼ばれる衛星光通信サービス (Optical Satellite Service: OSS) と地上ネットワークシステム (Ground Network System: GNS) の二つに分けることができる。OSS は MEO 衛星群によって構成され、ネットワーク・オペレーションセンター (Network Operation Centers) や衛星オペレーションセンター、POP などで構成される地上ネットワークシステムにデータを送る。同社の想定では、同社のネットワークで瞬間的にやり取りされるデータ全体のうち、65% は Space Cable を、35% もしくはそれ以下は GNS が担う予定である。同社のロバート・ブルムリー上級運営部長 (Robert Brumley) によれば、同社は 2014 年に FCC に初めて認定を受けた、ハイブリットレーザー光・ファイバー POP を整備する予定である¹⁰⁰。

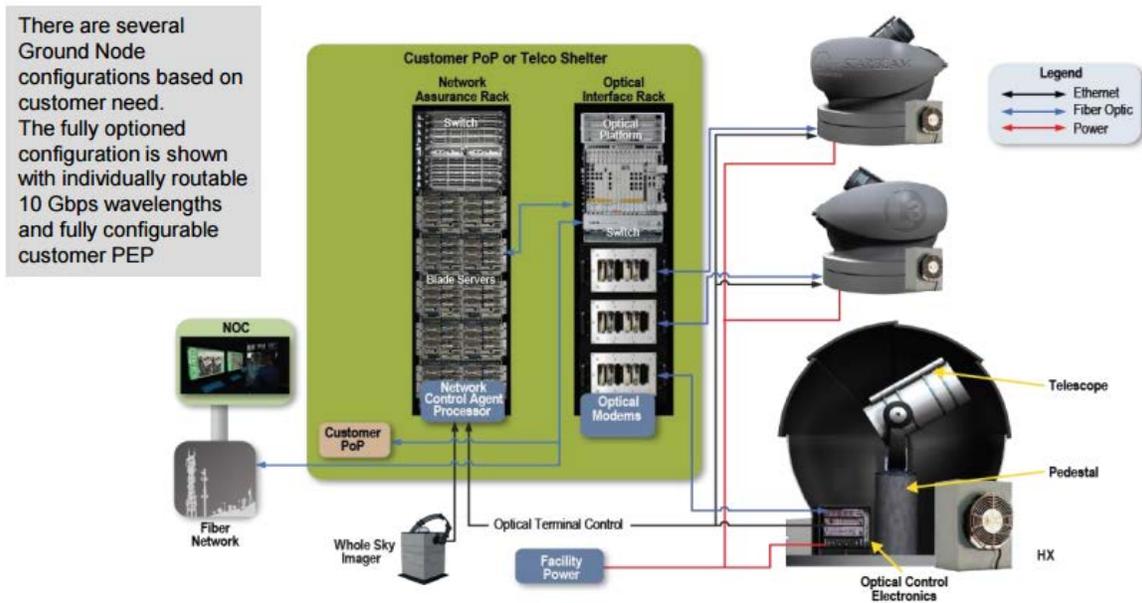
⁹⁷ https://www.ptc.org/assets/uploads/papers/ptc17/PTC17_Wed_TS10_Brumley.pdf (p.2)

⁹⁸ <http://www.laserlightcomms.com/newsroom.php>

⁹⁹ <http://www.laserlightcomms.com/newsroom.php>

¹⁰⁰ <http://www.satellitetoday.com/technology/2014/07/07/laser-light-optical-satellite-test-facility-nears-completion/>

図表 14: Laser Light Communications の地上セグメント計画図



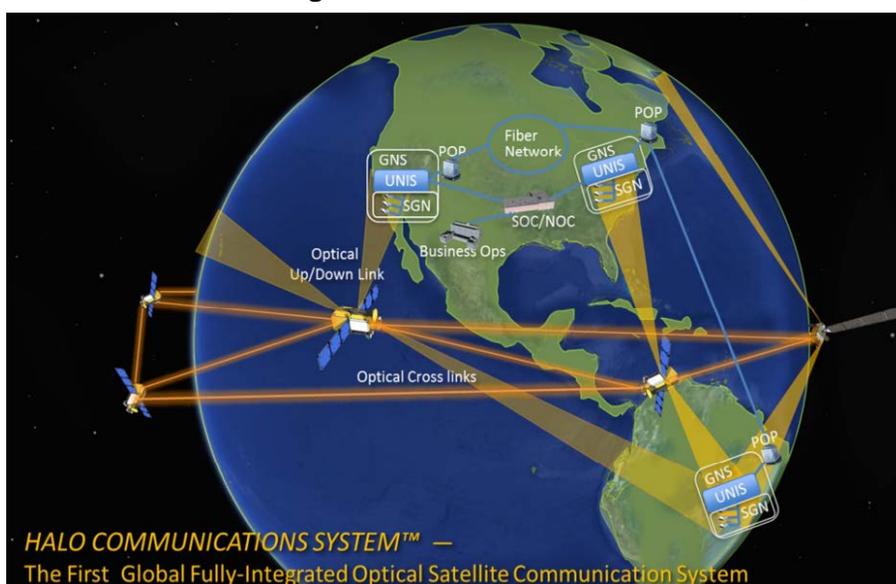
出典: Laser Light Communications¹⁰¹

Laser Light Communications が提供するサービスは、既存の周波数を活用した通信よりも安い運用コストで提供する事が可能と期待されている。新しい光通信システムは、既存の地上ネットワークと衛星をシームレスに統合し、通信混雑や停電、天候からのネットワークへの影響を避けるため、複数のダウンリンク向けの地上局を整備する予定である¹⁰²。

¹⁰¹ https://www.ptc.org/assets/uploads/papers/ptc17/PTC17_Wed_TS10_Brumley.pdf (p.5)

¹⁰² <http://aviationweek.com/awin-only/ball-aerospace-develop-optical-communications-constellation>

図表 15: Laser Light Communications のネットワーク概念図



出典: Laser Light Communications¹⁰³

2014年の段階でLaser Light Communicationsは、24の組織と技術面で連携しており、米国防総省の変革衛星通信システム(Transformational Satellite Communication System: TSAT)プログラムや国防情報システム局(DISA)ほか、欧州宇宙機関(ESA)等が連携組織に挙げられる。なおLaser Light Communicationのほかにも、Thales Alenia Spaceが、EU内の複数の企業と協力し、衛星通信とオンボード光信号処理のための高電力フォトニクス(High Power Photonics for Satellite Communications and On-Bard Optical Signal Processing: HIPPO)と呼ばれる光衛星通信プロジェクトを実施している¹⁰⁴。

3.3.2 最近の主な動向

- **HALO センターの開設(2014年)**¹⁰⁵... Laser Light Communicationsは2014年、バージニア州レストン市にHALOセンター(High Articulation Laser Optic Center: 高アーティキュレーション・レーザー光センター)と呼ばれる施設を開設した。同施設では、高データの衛星-地上通信を担うレーザー通信技術や通信波形、天候の影響、光通信のレイテンシ等を検討する実験を行う予定で、具体的にはLaser Light Communicationsの衛星通信網であるSpaceCableと、地上通信網の両方のトラフィックを観測するとともに、天候を観測し、天候状況に合わせてデータの伝送ルートを変更する技術の開発・試験を行う。このほか、潜在的な顧客や投資家、ベンダー、規制機関の関係者等に技術の実証実験を開示する用途にも利用される予定である。

¹⁰³ http://www.ptc.org/ptc14/images/papers/upload/Presentation_KN_BrumleyRobert.pdf

¹⁰⁴ <http://www.satellitetoday.com/technology/2014/07/07/laser-light-optical-satellite-test-facility-nears-completion/>

¹⁰⁵ <http://www.satellitetoday.com/technology/2014/07/07/laser-light-optical-satellite-test-facility-nears-completion/>

- **Ball Aerospace & Technology Corp.を主要パートナーに選定(2014年9月)**¹⁰⁶…Laser Light Communications は2014年9月、Ball Aerospace & Technology Corp.と同衛星群のデザインや構築に向けた契約を行った。Laser Light Communications にとって、これは最初の他企業との提携であり、Ball Aerospace & Technology Corp.は、Laser Light Communications の主要パートナーとなった。Laser Light Communications は、第一フェーズで8基の中軌道(MEO)衛星を用いた衛星群を構築する予定で、最終的には12基まで増やす予定である。これらの衛星間、及び衛星-地上間の通信は200Gbps規模、全体的な衛星オペレーティングシステムの通信キャパシティは6Tbps規模になると言われており、これは既存の無線ダウンリンクの通信速度より、100倍程度速いスピードである。

Ball Aerospace & Technology Corp.は、コロラド州ブルームフィールドに本社を置く、安全保障分野向けの宇宙船や関連機器の製造を担う企業であり、同社のキャリア・リュートケ副代表(Cary Ludtke: Operational Space Business Unit 担当)は、同社が光通信分野に深い見識や実績を擁していることを強調している。同社はかつて、Microsoft 等が中心となって開発を進めていた通信衛星群 Teledesic と合同で事業を行っていたことがあると共に、国防総省の TSAT プログラムにも貢献したことがある。Laser Light communications のブルムリー部長によれば、同社はパートナーである24組織の中から、15か月間をかけて Ball Aerospace & Technology Corp を主要パートナーとして選出した。

- **豪 Optus との提携(2015年5月)**¹⁰⁷… 2015年5月の米 Satellite Today の記事によれば、世界初の光衛星通信サービス(Optical Satellite Service: OSS)のプロバイダとなる予定の Laser Light Communications は、オーストラリアの通信事業者である Optus Satellite と HALO ネットワーク構築を目指し、パートナーシップを締結した。

Optus は、オーストラリア第二の通信会社で、シンガポールに本社を置く Singtel の傘下企業である。Optus は、他の固定衛星通信サービスプロバイダと同様、静止軌道(GSO)衛星通信と地上通信を併用している。同社は WAN を提供可能であるが、特にオーストラリアの様な広大な面積を擁する国では、カバー範囲やデータレートに課題がある。一方で、Laser Light Communications と連携する事で、オーストラリアやニュージーランド、南極大陸等の広大な地域に、放送、移動体通信、インターネット通信を提供する際のネットワークの信頼度が増すと考えられている。Laser Light Communications にとっても、天候等に通信状況を左右されやすいという課題を持つ光通信のバックアップとして、Optus の持つ地上通信インフラは、非常に重要な役割を担うと考えられる。

¹⁰⁶ <http://www.laserlightcomms.com/newsroom.php>

<http://aviationweek.com/awin-only/ball-aerospace-develop-optical-communications-constellation>

¹⁰⁷ <http://www.satellitetoday.com/technology/2015/05/04/the-speed-of-light-laser-light-and-optus-explain-optical-communications-partnership/>

<http://www.satellitetoday.com/technology/2014/07/07/laser-light-optical-satellite-test-facility-nears-completion/>

- **New IP Agency への加盟(2016年6月)**¹⁰⁸…Laser Light Communications は 2016 年 6 月、ソフトウェア・デファインド・ネットワーク(SDN)やネットワークの仮想化(NFV)などの技術の普及・促進を目指している米 NPO の New IP Agency と提携した。Laser Light Communications は、2018 年を目途に実現を目指している、無線周波数を利用しない 200Gbps の通信ネットワークに、SDN と人工知能技術(AI)を埋め込み、天候不順を事前に察知し、適宜天候が良い地域にあるケーブルや地上ノードに通信ルートを自動で変更する機能を据える予定である。

Laser Light Communications のブラムリー上級運営部長によれば、New IP Agency は業界の中でも実社会に即した標準の策定を目指しており、SDN や NFV の普及のため、衛星事業者だけでなくサービスプロバイダへの支援も行っている組織であるため、加入を決めたという。一度打ち上げてしまった後の衛星の修理や調整は難しいことが予想されるため、Laser Light Communications は SDN を利用して、地上からでもネットワークの最適化や調整を行うことを目指している。

- **データセンタ利用に関する Equinix との提携発表(2016年10月)**¹⁰⁹…2016 年 10 月、Laser Light Communications は、米データセンター企業の Equinix との HALO 実現に向けた提携を決めた。この提携を通して、Laser Light Communications が最初に設置する PoP を、ワシントン D.C 近郊にある Equinix の DC11 International Business Exchange (IBX) データセンターとすることが決まった。このデータセンターを利用して Laser Light Communications は、同社のユニークなレーザー通信ネットワークや SD-WAN 機器の配備や実証実験などを実施することが可能となる。またこのデータセンターを拠点に、世界の他地域への PoP 配備も検討される予定であり、例えば Equinix が設備を要する英国や日本、ブラジル、オーストラリア、中東、欧州などが候補地とされている。Equinix は、世界の 40 か国に 145 以上のデータセンターを要しており、1400 以上のネットワークや 2,500 以上のクラウドや IT サービスの提供に貢献している。

3.4 Bridgesat

3.4.1 概要

BridgeSat は、マサチューセッツ州ボストンに本社を置き、カリフォルニア州サンマテオにも拠点を擁する、スタートアップ企業である。米投資顧問会社の Allied Minds より、投資や事業アイデアの策定支援等を受け、2015 年 3 月に創設された。2016 年 6 月時点では、従業員数は 10 名以下と見られる。BridgeSat は LEO 衛星と地上間のデータ通信を改善する事を目的とした、光通信システムを開発することを目指しており、The Aerospace Corporation (カリフォルニア州 El Segundo に拠点を置く NPO) とパートナーシップを結んでいるほか、Draper Laboratory (マサチューセッツ州ケンブリッジにある非営利 R&D 組織) やマサチューセッツ工科大学のケリー・カホイ教授(Kerri Cahoy: 航空学担当)、同教授の教え子の大学院生等と連携している¹¹⁰。

¹⁰⁸ <http://www.laserlightcomms.com/newsroom.php>

¹⁰⁹ <http://www.laserlightcomms.com/newsroom.php>

¹¹⁰ <https://www.linkedin.com/company/9344694>

<http://www.alliedminds.com/announcements/allied-minds-announces-the-formation-of-bridgesat-inc>

BridgeSat は、LEO 小型衛星群を介した衛星通信ネットワークの通信能力や、地上局の通信能力を強化する事を目的とした光通信システムの開発に力を入れている。同社の通信システムは、大容量になりがちな地球観測データやリモートセンシング・データのリレー伝送を想定したものであり、同社の共同ゼネラル・マネジャーのジョン・セラフィニ氏 (John Serafini) によれば、同社の研究開発は二つのフェーズに分かれている。第一フェーズでは、光ダウンリンクシステムを介した、高周波数帯データ送信 (high bandwidth data transmission) の実現を目指す予定である。このシステムには、コンパクトで省エネの光トランスミッターも含まれており、このトランスミッターはいかなるサイズの衛星にも搭載可能であるほか、BridgeSat の地上管制施設との連携も可能であるという。BridgeSat は 2015 年 9 月、Draper Laboratory とのパートナーシップを結び、地上管制施設の開発を開始した。Draper Laboratory の技術を基にした管制施設は、効率の良いデータ伝送を可能とし、2018 年頃までに 50 のリレー・ノードを含むものとなる¹¹¹。

BridgeSat の研究開発の第二フェーズでは、ダウンリンクのレイテンシを最小化するため、リレー衛星を複数打ち上げ、地上局へのデータ伝送を加速させる予定である。BridgeSat の地上管制システムは、既存の無線通信システムよりもコンパクトになることが期待されており、これは地上に設置される予定の光通信用レーザーは、衛星からのパルスレーザー (pulsed laser) を探知するため、従来の無線通信用のレーザーよりも小型で済むためである¹¹²。

光通信は天候の影響を受けやすい技術であるため、悪天候の場合には天候が良い場所にある地上局を通す等のリスク管理方法を検討する場合もある。しかしながら 2015 年 10 月時点で BridgeSat は、バックアップ用として、新しい地上のファイバーインフラを整備する予定はないとの見解を示した。また The Aerospace Corporation も、過去数年間に亘って、キューブサットを用いたレーザー技術開発や、衛星の高度決定技術 (attitude determination)、衛星管制等に力を入れてきたため、レーザーシステムの開発にはある程度実績があると自信を見せている。同社の担当者によれば、同社は当初、レーザーシステムを用いて 4Mbps データレートの達成を目的としていたが、最終的に 100Mbps にまでデータレートが改善されたことを受け、商用化に乗り出した。2015 年 10 月当時、The Aerospace Corporation は同月中に 100~200Mbps の通信を可能とする小型衛星を打ち上げ、2016 年初頭には 662Mbps を達成する衛星を打ち上げることを予定していた。同社はすでに、2.5Gbps を達成可能な衛星の開発にも着手している¹¹³。

Allied Minds との間で開発方針を定めた後、The Aerospace Corporation と共に技術基盤を開発してきた BridgeSat は、小型衛星向けのレーザー通信技術の開発のほか、高位置で運用する無人機 (UAV) 向けの光通信技術の開発も行っている。UAV 向けの光通信技術は、主に情報・監視・偵察 (ISR) 分野への応用が期待されている。また The Aerospace Corporation は、開発した宇宙技術を深宇宙ミッション (deep space

¹¹¹ <http://www.satellitetoday.com/technology/2015/10/02/bridgesat-plans-optical-network-for-smallsats-uavs/>

¹¹² <http://www.satellitetoday.com/technology/2015/10/02/bridgesat-plans-optical-network-for-smallsats-uavs/>

¹¹³ <http://www.satellitetoday.com/technology/2015/10/02/bridgesat-plans-optical-network-for-smallsats-uavs/>

missions)にも適応する事を考えており、BridgeSat は現在、衛星向けの異なるバス型 (bus configurations) の検討も行っている¹¹⁴。

3.4.2 最近の主な動向

- **地上セグメント開発に向けた人材の登用(2016年3月)¹¹⁵**…2016年3月、BridgeSat は、ジョセフ・キャンペグナ氏 (Joseph Campagna) を運営担当上級副社長に任命した。キャンペグナ氏は、米空軍や Motorola-Iridium Satellite Communications、Orbital ATK など地上システム構築に関わる要職に就いた実績を持ち、BridgeSat では、衛星や高高度無人機 (High-altitude UAV) と地上間の光通信システムの構築を主導する予定である。周波数を使わないこの技術を利用すれば、より大量なデータを効率よく利用できると期待されている。
- **自由空間通信システムの開発を発表(2016年4月)¹¹⁶**…BridgeSat は2016年4月、コロラド州に拠点を置く Surrey Satellite Technology US LLC (英 SSTL の子会社) とパートナーシップを締結し、自由空間光通信システムの開発を進める事を発表した。同システムは、衛星と地上間のセキュアで素早いデータ通信を可能とすると期待されている。同パートナーシップにおいて Surrey Satellite は、BridgeSat の地上ネットワークと接続する、フライト・レーザー・ターミナルユニット (Flight laser terminal unit) を構築する予定であり、両者は合同で、10Gbps のデータ伝送の実現を目指すとしている。

Surrey Satellite が開発を予定しているフライト・レーザー・ターミナルユニットは、1.5kg ほどの重量で、電力は 25 ワット以下になると予想されている。このユニットは、Surrey Satellite の衛星だけでなく、ほかの組織が保有する衛星にも対応できるよう、標準的なインターフェースとなる予定であるが、先端的なエラー修復機能や、スマート・モジュールなどを搭載し、従来の周波数を用いたソリューションよりも、効率的になるとみられている。

- **小型ターミナルの製造に関して York Space Systems と連携(2016年4月)¹¹⁷**…2016年4月、BridgeSat は、小・中規模の宇宙船開発を専門とする企業 York Space Systems (YSS) と、光通信提供向けの小型スペース・ターミナルの製造に関して連携する事を発表した。YSS が開発する予定の小型スペース・ターミナルは、無線周波数用のターミナルよりも軽量でセキュア、安価となることが予想されている。BridgeSat は YSS 主導の Harbinger ミッションに参加し、2017 年後半に光通信システムの実証実験を行う予定である。YSS は、AESV S クラスと呼ばれる現在特許申請中の衛星の大量

¹¹⁴ <http://www.satellitetoday.com/technology/2015/10/02/bridgesat-plans-optical-network-for-smallsats-uavs/>

¹¹⁵ <http://www.bridgesatinc.com/bridgesat-inc-announces-appointment-joseph-campagna-senior-vice-president-operations/>

¹¹⁶ <http://www.parabolicarc.com/2016/05/04/surrey-satellite-bridgesat-develop-freespace-satellite-laser-communications/>

<http://www.bridgesatinc.com/surrey-satellite-bridgesat-develop-free-space-satellite-optical-communications-solution/>

¹¹⁷ <http://www.bridgesatinc.com/york-space-systems-yss-bridgesat-collaborate-bring-optical-communications-capabilities/>

製造プラットフォームを要しており、このプラットフォームは、地上探査や天候観測、通信等の様々な用途に利用される衛星の製造を可能とする。

- **Solers、Orbit Logic との契約締結(2017年2月)**¹¹⁸…2017年2月、バージニア州アーリントンに拠点を構える軍需企業 Solers は、BridgeSat の地上ターミナルのデザインや整備、ハイスループット・データの処理や転送などを担当する契約を交わしたことを発表した。また同月、メリーランド州グリーンベルトに本社を構えるソフトウェア会社の Orbit Logic も、BridgeSat と光通信ネットワークのスケジュール用のソフトウェアを開発する契約を結んだと発表した。Orbit Logic は、STK Scheduler と呼ばれる同社のソフトウェアをもとに、The Mission Planning System と呼ばれるソリューションを開発する予定である。同ソリューションは、2017年後半にも導入される予定であり、ユーザーのダウンリンクを自動で最適化するものとなる。

3.5 LeoSat

3.5.1 概要

フロリダ州ポンパノビーチやオランダのデン・ハーグ等に拠点を構える LeoSat は、78~108機のLEO衛星で構成される衛星群を構築し、海洋事業、石油・天然ガス採掘、地質探索等の分野に従事する政府組織や事業者 3,000~5,000 組織に対し、合計で 1.5Tbps 以上の高速通信サービスを提供する事を目指している。同社は政府組織や事業者のみを対象顧客とし(B2B)、個人向けのサービス提供は行わないことで他社との差別化を図っている。現在 LeoSat は 78 の LEO 衛星の開発に注力しており、衛星の開発用として 2016 年内に 1 億米ドル、2017 年内に 1.75 億米ドルの資金を集める事を目指している¹¹⁹。78 基の衛星の製造や運用で必要となる費用は 35 億米ドル規模と言われており、LeoSat は資金調達面では、ニューヨークに本社を構える投資顧問会社の GH Partners LLC から支援を得ている¹²⁰。

78 基の衛星は、高度 1,400km の極軌道に配置される予定で、MEO と GEO より、それぞれ 5 倍と 25 倍程度地球に近い場所となる予定である。衛星は各軌道面に 18 基ずつ、計 6 軌道面に配置され、それぞれ 4 つの別の衛星と光リンク(optical inter-satellite links: ISLs)で接続される予定である¹²¹。それぞれの衛星は、20Gbps 程度のデータの送受信が可能となる予定で、LeoSat は一つの目安として、ニューヨークと東京間の通信を、レイテンシ 140 ミリ秒以下(地上ファイバーは 250 ミリ秒程度)で実現する事を目指している。衛星の寿命は 10 年程度であり、地上-衛星間の通信には、Ka 帯の利用が検討されている。初期の打ち上げには、SpaceX の Falcon9 が 8 基を、欧州のソユーズロケットが 4 基を担当する予定である¹²²。

¹¹⁸ <http://www.bridgesatinc.com/solers-supports-bridgesats-optical-communications-ground-network/>
<http://www.bridgesatinc.com/orbit-logic-software-used-bridgesat-laser-comm-scheduling/>

¹¹⁹ <http://aviationweek.com/space/leosat-teams-thales-alenia-space-internet-satellite-cost-study>

¹²⁰ <http://spacenews.com/nevermind-the-unconnected-masses-leosats-broadband-constellation-is-strictly-business/>
<https://vsatglobalseriesblog.wordpress.com/2016/05/31/is-leo-the-next-big-thing-for-data-networks/>

¹²¹ <http://leosat.com/fac/>

¹²² <http://spacenews.com/nevermind-the-unconnected-masses-leosats-broadband-constellation-is-strictly-business/>

図表 16: LeoSat の衛星設置目安図



出典: Space News (LeoSat から引用)¹²³

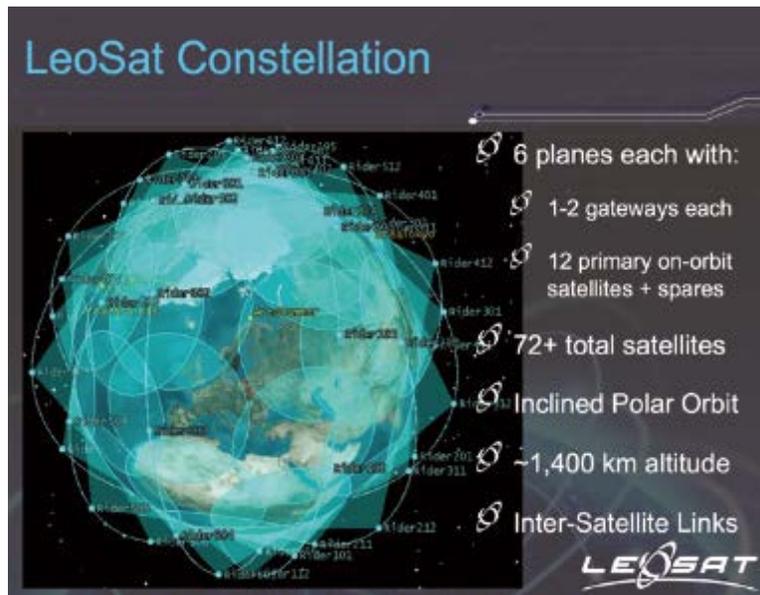
2020 年以降に予定されているサービス運用開始後は、数年間で顧客数は 3,000~5,000 程度になると予想されているが、顧客はそれぞれ、2~3 のトラッキングアンテナ(フェーズドアレイアンテナ)を自費負担で屋上に設置し、最小 50Mbps、最高 7.2Gbps のサービスを受ける予定である¹²⁴。LeoSat で CEO を務めるマーク・リゴレ氏 (Mark Rigolle) によれば、56 基の衛星を打ち上げた段階で収益を得ることが可能であり、この段階では、衛星らは北極と南極のそれぞれから、赤道の北と南 30 度をカバーする予定である¹²⁵。

¹²³ <http://spacenews.com/nevermind-the-unconnected-masses-leosats-broadband-constellation-is-strictly-business/>

¹²⁴ <http://spacenews.com/leosat-corporate-broadband-constellation-sees-geo-satellite-operators-as-partners/>
<http://satcompost.com/cliff-anders-chairman-founder-at-leosat-llc/>

¹²⁵ <http://spacenews.com/nevermind-the-unconnected-masses-leosats-broadband-constellation-is-strictly-business/>

図表 17: LeoSat の衛星群ネットワーク概念図



出典: SatMagazine¹²⁶

LeoSat は O3b や Iridium Next 等と同様、欧 Thales Alenia Space 製の Elite Bus を利用する予定である。2016 年夏の段階で Thales Alenia Space は、LeoSat の衛星の初期デザイン作成を完了し、2017 年内を目途に集められている 1.75 億米ドルが確保され次第、より詳細なデザインの作成を始める予定である。この段階で衛星システムの具体的な構造が確定するため、衛星群を運用するのに必要となるコストや、実際に必要な衛星の数等が判明する予定である。通信方法に関しては、LeoSat は衛星間を光リンクでつなぐことを想定しており、顧客に対しては Ka 帯を利用して低レイテンシの毎秒 100Mbit 以上 (LeoSat は、地上通信の 1.5 倍程度の速度を目安にしている) のセキュアなサービスを提供する事を目指している。衛星の打ち上げは、2019 年頃から始められる予定であるが、2016 年時点で LeoSat の事業計画は遅延気味という情報がある¹²⁷。

リゴレ氏によれば、78 基の衛星群を構成するには、およそ 35 億米ドルの資金が必要になると予想されている。同氏は、LeoSat が建設中の 78 基の LEO 衛星と、OneWeb が建設中の 900 機の LEO 衛星とを比較し、OneWeb が 1 機 50 万米ドル、またはそれ以下で衛星を建設すると公言している一方で、LeoSat の衛星はそれほど低額では建設できないと主張している。これは LeoSat が非常にセキュアで、レイテンシに配慮し、第三者のネットワークを介さないネットワーク構築を目指していたためである。個人を顧客対象としている OneWeb に対し、法人や政府組織を顧客対象としている LeoSat のネットワークには、安定性や安全性が求められることが示唆されている¹²⁸。

¹²⁶ <http://satmagazine.com/story.php?number=1591488704>

¹²⁷ <http://spacenews.com/leosat-corporate-broadband-constellation-sees-geo-satellite-operators-as-partners/>

¹²⁸ <http://spacenews.com/leosat-corporate-broadband-constellation-sees-geo-satellite-operators-as-partners/>

3.5.2 最近の主な動向

- **NSF からの情報請求(2016年6月)**¹²⁹…LeoSat は、極軌道に衛星を配置し、緯度にかかわらず24時間利用可能な高速通信サービスの提供を目指しており、北極や南極地域のカバーにも力を入れる。米 Via Satellite の2016年6月の報道によれば、こういった LeoSat の方針に対して全米科学財団(NSF)が興味を示し、同財団が進めている南極大陸周辺をカバーするブロードバンドネットワークの整備について、LeoSat 側に連絡を取ったという。報道によれば LeoSat 側も NSF との連携に関心を示しており、両者は今後具体的な内容について協議を行っていく可能性がある。
- **衛星開発の第二フェーズへ移行(2016年9月)**¹³⁰…2016年9月、LeoSat と欧 Thales Alenia Space は、LeoSat が計画している LEO 衛星群の開発に関して、第二フェーズに移行する事で合意した。第一フェーズでは、LEO 衛星群と他の Ka 帯サービスの互換性が主に検討され、第二フェーズでは、地上局を含む衛星群ネットワークの具体的なアーキテクチャやパフォーマンス要件、衛星の製造や打ち上げに向けた枠組みが検討される予定である。

LeoSat の衛星群は、78~108基の Ka 帯対応 LEO 衛星によって構成される予定で、対象となる顧客は、大規模法人や政府組織である。同社は現在、Ka 帯を利用している他の GSO や NGSO システムとの干渉に配慮して衛星群のアーキテクチャを構築しており、地上の Ka 帯通信との併用やサポートも想定している。LeoSat のシステムには、衛星間の光通信やギガビット通信、オンボード・プロセッサ、操縦可能アンテナ(steerable antenna)、プリント基板(Printed Circuit Boards: PCB)上の無線通信、EliteBus™ プラットフォーム等の先進的な技術が用いられる予定である。

LeoSat は、O3b や Iridium Next 等の他社の衛星群の構築にも携わっている Thales Alenia Space に衛星の製造を委託し、125基の LEO、MEO 衛星を製造する予定である。Thales Alenia Space の擁するロボティクス技術(corobotics: ロボット間の連携の意)は、こういった大量製造・試験を可能とし、また同社は COTS(Commercial Off the Shelf Components)の効率的且つ安全な利用を心得ている。加えて Thales Alenia Space は、近年買収したスイスの RUAG Space のオプトエレクトロニクス事業を活用し、衛星間の光通信ソリューションを社内の技術のみで提供する事が可能となった。この技術は、LeoSat が衛星群を構築する上で重要になってくると考えられる。

- **初の顧客との契約締結(2016年9月)**…2016年9月、LeoSat は、初の顧客として、匿名のグローバル取引を行う金融機関と契約を交わしたと発表した。具体的な顧客名は開示されていないものの、LeoSat の関係者は、サービス提供目安から4年も前の時点で契約を締結できた事を強調している。同社によれば、金融機関やヘッジファンドは、最新技術に関心を持っており、特にビッグデータを運用するための低レイテンシのセキュアなネットワークを欲している¹³¹。

¹²⁹ <http://www.satellitetoday.com/technology/2016/06/14/leosat-responds-nsf-antarctic-broadband-network/>

¹³⁰ <http://www.businesswire.com/news/home/20160913006773/en/Thales-Alenia-Space-Signs-Phase-Contract-LeoSat>

¹³¹ <http://www.businesswire.com/news/home/20160906005657/en/LeoSat-Enterprises-Contracts-Customer>

- **Globalsat Group との戦略合意締結(2016年11月)**…LeoSat は、米衛星事業者の Globalsat Group と戦略合意を結び、LeoSat が Globalsat Group に LeoSat のインフラを提供する代わりに、Globalsat Group が LeoSat に対し、米市場へのアクセスを提供することを決めた。Globalsat Group は、1999 年から南アメリカ地域に移動衛星サービス(MSS)を提供しており、これまでに米国、アルゼンチン、ボリビア、ブラジル等に、データと音声の通信サービスを提供している。対象顧客は、軍需企業、政府、天然資源開発事業者、鉱山事業者、農業事業者、金融関係者、メディア、NGO、観光産業等である¹³²。
- **欧州、アジア市場に見識の深い欧 SES 関係者の登用(2016年)**…LeoSat は 2016 年に、複数の SES 関係者を幹部に迎えた。2016 年 1 月には、オランダ出身のロナルド・ヴァン・デ・ブリゲン氏 (Ronald van der Breggen) を最高商業担当者 (Chief Commercial Officer) に任命した。同氏は通信・衛星分野で 20 年以上の経歴を擁し、これまでに SES で顧客アカウント管理担当の副社長を務めたほか、オランダの通信会社である KPN (後に KPNQwest) において、欧州の新型ファイバーネットワークである EuroRings のデザインやマーケティングを担当した¹³³。

また 2016 年 3 月には、SES でアジア向けビジネス開発担当副社長を務めていたディエドリック・ケルダー氏 (Diederik Kelder) が LeoSat のビジネス開発担当副社長に就任した。欧州やアジア地域におけるビジネスに見識の深い両者の加入は、北極、南極を含む全世界に通信サービスを提供する事を目指している LeoSat の今後のビジネスモデルに大きな影響を及ぼすと考えられる¹³⁴。

3.6 Boeing

3.6.1 概要

カリフォルニア州エル・セグンドに通信用衛星の製造拠点を置く Boeing は、現在 2 つの衛星群の構築計画を進めており、一つは 2016 年 6 月に明かされた高度 1,200km 地点で V 帯に対応した衛星およそ 3,000 基を運用する計画、もう一つは同年 11 月に明かされた高度 2 万 km 以上で Ka 帯衛星およそ 60 基を運用する計画である。両方の案とも、同社による FCC への周波数申請や計画案報告で明らかとなった。

C・V 帯を利用した LEO 衛星群

2016 年 6 月の FCC への報告で明らかとなった計画では、高度 1,000~1,200km に 2,956 基の V 帯に対応した衛星を打ち上げることが提示されている。Boeing はこの計画実施に当たり、2 段階で衛星配備を行う予定であり、最初の段階では、6 年間のライセンスを取得した後、高度 1,200km に 1,396 基の衛星を打ち上げ(赤道 45 度の角度で 35 軌道面を、55 度で 6 面をそれぞれ運用)、残りの 1,560 基の打ち上げの際に

¹³² <http://www.businesswire.com/news/home/20161130005668/en/LeoSat-Globalsat-Group-Sign-Strategic-Worldwide-Agreement>

¹³³ <http://www.businesswire.com/news/home/20160119006716/en/LeoSat-Names-Ronald-van-der-Breggen-Chief>

¹³⁴ <http://www.satellitetoday.com/technology/2016/03/08/diederik-kelder-appointed-leosat-enterprises-svp-corporate-and-business-development/>

は、高度 1,200km の軌道に赤道 55 度の角度で 12 の軌道面を、高度 1,000km の軌道に 88 度で 21 の軌道面を追加する事を想定している。Boeing は FCC に対し、この 2 段階での衛星配備計画を承認するように要請しているほか、この 2 段階のプロセス間では、関連する周波数免許や証券預託要件 (bond-deposit requirement) に変更を加えないように求めている。¹³⁵。なおこの Boeing による計画発表後、OneWeb や SpaceX 等の企業も、FCC に V 帯の利用申請を行っている。

Boeing は、この LEO 衛星群の構築にかかる費用の目安は発表していないものの、脆弱、もしくは重要な衛星システムにはオンボード・バックアップ・システムを整備する事や、デブリの最小化を目指すために衛星にデブリ・ブランケット (debris blanket) を搭載する計画であること等を FCC に提示している。また衛星には、プロペラント (推進剤) タンクを一つだけ搭載する予定で、プロペラントの 9 割は、衛星が高度 500km もしくはそれ以下にまで高度を落とす際に利用される予定である。Boeing は、衛星の寿命についての国際的な目安となる 25 年以内に、衛星を大気圏内に戻すことを想定している。さらに Boeing は、複数の組織と連携してシステムを構築する事が理想であるとの見解も示している¹³⁶。

Boeing が衛星の配備を目指している高度 1,200km 付近は、OneWeb が 700 基の Ku・Ka 帯衛星群の配備を検討している軌道でもあり、2016 年 12 月には OneWeb が Boeing に対し、衛星群の構築にあたって OneWeb と連携する事、さらには干渉を最小化する事を求める書面を FCC に提出した。FCC に対する書面では、Boeing は OneWeb との軌道上での共存は可能であるとの見解を示している¹³⁷。

更に Boeing は、LEO 衛星群の構築に関連し、規制機関らに対し、衛星事業者向けの周波数開放を求める活動を展開している。例えば 2016 年 6 月の ITU の会合では、Boeing の周波数管理システム上級部長であるオードリー・アリソン氏 (Audrey Allison) が 2019 年を目途にした C 帯、V 帯関連の周波数規則の見直しを求めている。同氏によれば、既存の同 2 帯に関する規則は、10 年以上前 (結局実現されなかった、複数の衛星群構築案が出ていた頃) から存在しており、現在の技術や通信情勢に合わせ、見直しの必要がある。なおこの見直しは、2015 年世界無線通信会議 (WRC-15) のアジェンダにも追加されている¹³⁸。

Boeing は、円軌道上で V 帯を利用することを検討しているが、例え衛星放送事業者が同じ帯域を GEO 上で利用しても、干渉は最小限となるとの見方を示している。一方で同社は、5G 導入以降の周波数分配には懸念を示しており、5G 導入後も衛星事業者らが適切な周波数帯を利用できるよう、FCC の配慮を求めている。衛星事業者らは従来より C 帯を利用してきたが、これに対しては地上の無線通信事業者から批判的な意見が挙がっており、WRC-15 では、最終的には衛星事業者らの C 帯の第一次利用が再び認められることとなったが、2016 年 6 月に開催された ITU の会合では、地上通信事業者らからの反対の声が引き続き上がっているとの見解が衛星事業者らから示された。Boeing は現時点では自社の LEO 衛星群では C 帯の利用を想定していないものの、V 帯と合わせて、C 帯の衛星事業者の利用保護を求めている¹³⁹。

¹³⁵ <http://spacenews.com/boeing-proposes-big-satellite-constellations-in-v-and-c-bands/>

¹³⁶ <http://spacenews.com/boeing-proposes-big-satellite-constellations-in-v-and-c-bands/>

¹³⁷ <http://spacenews.com/boeing-proposes-big-satellite-constellations-in-v-and-c-bands/>

¹³⁸ <http://spacenews.com/boeing-proposes-big-satellite-constellations-in-v-and-c-bands/>

¹³⁹ <http://spacenews.com/boeing-proposes-big-satellite-constellations-in-v-and-c-bands/>

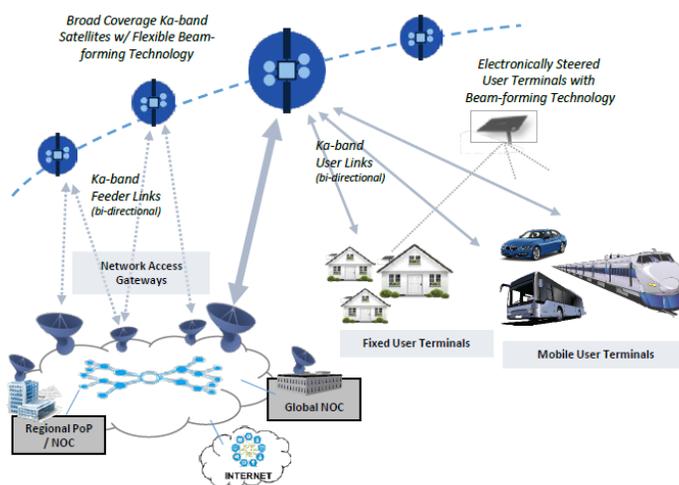
V帯はまだ未開の帯域と言え、地上の5Gネットワークが利用する案も出ているが、BoeingはFCCへの提出文書の中で、同社のV帯を活用した衛星通信システムは、地上ネットワークやその他の衛星事業者とV帯を共用できるとの見解を示している。BoeingはV帯の利用について、個々の衛星からのビームは多数のセルに配分され、それぞれが直径8~11km四方の通信領域をカバーし、これらの領域はそれぞれ、最大で5つの1GHzチャンネルを擁する予定である。米Space Newsは、他の事業者の運用状況等も鑑みると、BoeingのV帯ネットワークは、周波数管理が課題となると分析している¹⁴⁰。

Boeingは、V帯の5GHzを分割する事なく、免許所有者が一括して利用できるように整備して欲しいと規制機関に要請をしている。またBoeingはFCCに対し、8つの規制を修正するように求めており、例えば、FCCの電力密度限界(power flux density limit)についての規制は、ITUのものよりも厳格であるため、緩和を求めている¹⁴¹。

Ka帯を利用したNGSO衛星群

Boeingは、2016年11月にもFCCに対し、60基のKa帯衛星で構成されるNGSO衛星群の構築申請も行っている。同社によれば、この衛星群は世界中にブロードバンドインターネットサービス、および通信サービスを提供する事を目的としたものであり、固定・移動体ターミナルの両方をサービス提供対象としている。このネットワークには、フェーズドアレイアンテナが利用される予定である¹⁴²。

図表 18: BoeingのNGSO衛星ネットワーク概念図



Ka-band NGSO System Overview and Facilities

出典: Boeing¹⁴³

¹⁴⁰ <http://spacenews.com/boeing-proposes-big-satellite-constellations-in-v-and-c-bands/>

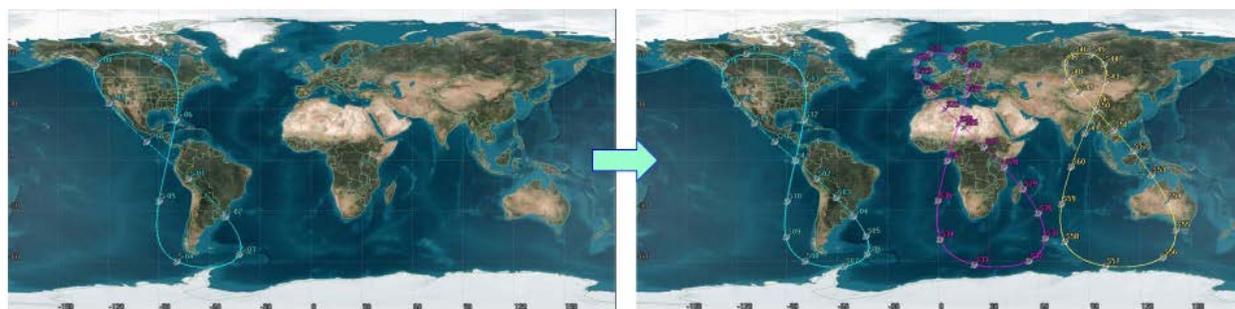
¹⁴¹ <http://spacenews.com/boeing-proposes-big-satellite-constellations-in-v-and-c-bands/>

¹⁴² <https://www.fcc.gov/document/boeing-application-accepted-filing-part>

¹⁴³ http://licensing.fcc.gov/cgi-bin/ws.exe/prod/ib/forms/reports/related_filing.hts?f_key=-289949&f_number=SATLOA2016111500109

Boeing の計画では、第一フェーズで北米と南米をカバーする 10 の衛星を 8 の字型に高度 2 万 7,355~4 万 4,221km 地点に打ち上げ、傾斜 63.4 度で運用する。第二フェーズと第三フェーズでは、それぞれ 30 基と 20 基を追加で打ち上げ、欧州やアフリカ、アジアやオセアニア地域をカバーする予定である¹⁴⁴。

図表 19: Boeing の NGSO 衛星群の打ち上げ計画



Phase 1 Deployment

- 10 satellites
- 1 "Figure 8"
- 10 satellites per "Figure 8"
- Inclination: 63.4 deg; e=0.2
- Argument of Perigee=180 deg
- Altitude: 27,355 to 44,221 km
- +/-6 deg GSO separation angle (α)

Phases 2 and 3 Deployments

- 30 satellites, increasing to 60 satellites
- 3 "Figure 8's"
- 10 satellites per "Figure 8," increasing to 20
- Inclination: 63.4 deg; e=0.2
- Argument of Perigee=180, 220, 240 deg
- Altitude: 27,355 to 44,221 km
- +/-6 deg GSO separation angle (α)

出典: Boeing¹⁴⁵

3.6.2 最近の主な動向

- **FCC に対する衛星事業者の V 帯利用のための周波数要請(2016 年 6 月)**¹⁴⁶...2016 年 6 月、Boeing は FCC に対し、FSS のアップリンク用に、50.4-51.4GHz、51.4-52.4GHz を追加で開放する事を求める書類を提出した。同社によれば、この帯域を開放すれば、5GHz 分のアップリンク用の帯域が確保できるため、ダウンリンク用の 37.5-42.5GHz 帯と合わせて、V 帯衛星の運用が可能となる。

同社によれば、現時点では、連邦政府、非連邦政府の両方で 50.4-51.4GHz、51.4-52.4GHz を活発に利用している組織ないため、衛星事業者らの利用に適しており、V 帯を使った衛星通信サービスが普及すれば、米国の衛星や地上局に関連する先端技術分野におけるプレゼンスが確保できる。現在、同帯域を利用しているのは、地球探査衛星サービス(EESS)や電波天文学等の受動的

¹⁴⁴ <https://www.fcc.gov/document/boeing-application-accepted-filing-part>

¹⁴⁵ http://licensing.fcc.gov/cgi-bin/ws.exe/prod/ib/forms/reports/related_filing.hts?f_key=-289949&f_number=SATLOA2016111500109

¹⁴⁶ [https://ecfsapi.fcc.gov/file/10622181061474/JD_Boeing%20-%20Petition%20for%20Rulemaking%20\(50.4-51.4%20&%2051.4-52.4%20GHz\)%206%2022%202016%20final.pdf](https://ecfsapi.fcc.gov/file/10622181061474/JD_Boeing%20-%20Petition%20for%20Rulemaking%20(50.4-51.4%20&%2051.4-52.4%20GHz)%206%2022%202016%20final.pdf)

なサービスのみであり、干渉のリスクもないと考えられる。WRC-15 では、同帯域を国際移動体通信 (International Mobile Telecommunication: IMT) に使う案も出たが、Boeing は IMT のこの帯域の利用も受動的なものに留まると見ている。

- **FCC への V 帯を利用した LEO 衛星群構築案の提示(2016 年 11 月)**…Boeing は FCC に対し、V 帯のうちの 37.5~42.5GHz を衛星から地上局へのダウンリンク用に、47.2~50.2GHz、及び 50.4~52.4GHz をアップリンク用に利用する予定であると改めて報告している¹⁴⁷。
- **3D プリンターを利用した付加製造への関心(2017 年 3 月)**¹⁴⁸…BoeingSatellite Systems International は 2017 年 3 月、SSL 等の他の衛星製造企業と同様に、3D プリンターを用いて行う付加製造(Additive Manufacturing)に力を入れていると発表した。同社のマーク・ピンワク代表(Mark Spinwak)によれば、同社が 2017 年 3 月時点で打ち上げを準備している衛星には、50~60 の 3D プリンターによって製造された部品が利用されている。付加製造は、製造に係る費用や時間を削減するものとして注目されている。

¹⁴⁷ <http://spacenews.com/fcc-gets-five-new-applications-for-non-geostationary-satellite-constellations/>

¹⁴⁸ <http://spacenews.com/3d-printing-saving-satellite-builders-time-and-money/>