衛星事業における小型衛星の動向と我が国の今後の展開

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構　加藤（かとう）　松明（まつあき）

1. はじめに

「SpaceX社が52基のスターリンク衛星を打ち上げた（2021年5月）」*1、「低軌道衛星通信サービスを目指すOneWebがソフトバンクグループやEutelsat等から資金調達した（2021年5月）」*2のような衛星事業に関するニュースをメディア等で目にすることが最近増えた。なぜ今、SpaceXやOneWebといった探査・科学ではない宇宙事業が注目を集めるようになってきたのか、これまでの宇宙開発の常識とは何が異なっているのか。本稿では、このような疑問に対し、小型衛星の動向や衛星開発の特徴から説明するとともに、小型衛星に対する我が国の取組みについて紹介する。

2. 小型衛星の動向

まずは、インターネット上で公開されている資料を参考に近年の小型衛星の動向について理解したい。本稿では、Bryce Tech社が発行している小型衛星に関する調査結果（Smallsats by the Numbers 2021）を紹介する。なお、小型衛星とは何かという点について少し補足しておきたい。小型衛星について世界共通の定義はなく、例えば、NASAの“Small Spacecraft Technology Program”では180kg以下の衛星を“small spacecraft”としており、さらに質量に応じて、100−180kg級を“Minisatellite”、10−100kg級を“Microsatellite”など、細かな分類が行われている*3。宇宙市場に特化したコンサルティングを行うEuroconsultでは500kg以下、今回紹介するBryce Tech社では600kg以下を小型衛星としている。

2.1　小型衛星の打ち上げ動向

ここ10年間の打ち上げ機数の動向を図1に示す。小型衛星の打ち上げ機数は年々増加の一途をたどっており、2011年の打ち上げ機数が39機だったのに対し、2019年には約10倍の389機に増加している。2020年にはSpaceX社のStarlink、Oneweb社の小型衛星が打ち上げられ、小型衛星の打ち上げ機数は1,200機程度と大幅に増加している。600kg以上の衛星の打ち上げ機数がこの10年の間で100機から200機程度で安定しているのに対し、Starlink、Onewebというメガコンステレーションによるけん引があるにせよ、この機数の大きな伸びは小型衛星が持つ宇宙事業への期待の高さを表しているものと考える。

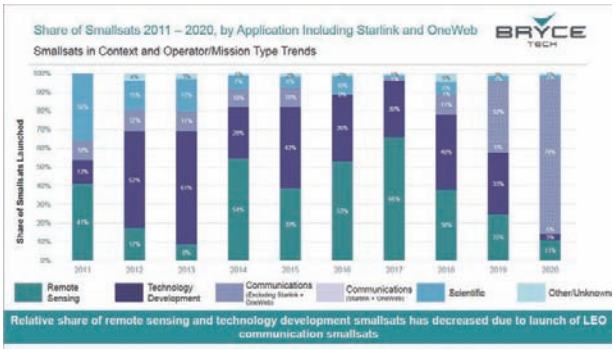
■図1.　衛星打ち上げ機数の動向（Bryce Tech社資料（https://www.brycetech.com/reports）より抜粋）

2.2　小型衛星のミッションタイプ

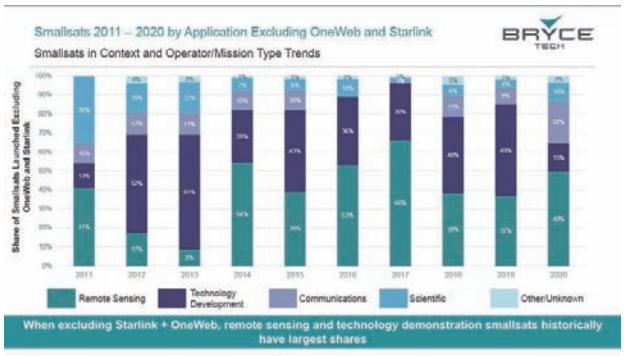
小型衛星がどのようなミッションに適用されているかについてのトレンドを図2に示す。2019年からStarlink、OnewebのLEO通信コンステレーションが打ち上げ始められたことにより通信向けの割合が激増し、小型衛星活用の主たる領域となっているが、これらのLEO通信用コンステレーションを除いた活用割合（図3）によると、リモートセンシングと技術実証への活用が50％以上の割合を占める形で推移している。地球上のあらゆる地点をカバーすることが可能な人工衛星をリモートセンシングに活用することは小型衛星に限らず一般的であるが、小型衛星を群として配備することで、観測の網の目を細かくすることのメリットを得るという考え方は理解できる。また、少なくとも割合の10％、多い時には60％を超える割合となっている技術実証への活用は、後述する小型衛星の短期開発、低コストという特徴を

*1　https://jp.techcrunch.com/2021/05/18/2021-05-17-spacex-launched-52-more-starlink-satellites-to-orbit-on-saturday/
*2　https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2021/20210513_02/
*3　https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/small_spacecraft_technology_state_of_the_art_2015_tagged.pdf

生かすものと理解できる。



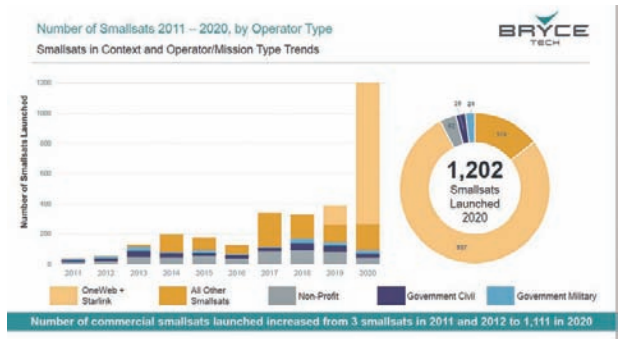
■図2. 小型衛星のミッションタイプの動向（Bryce Tech社資料（https://www.brycetech.com/reports）より抜粋）



■図3. 小型衛星のミッションタイプの動向（Starlink, Oneweb除く）（Bryce Tech社資料（https://www.brycetech.com/reports）より抜粋）

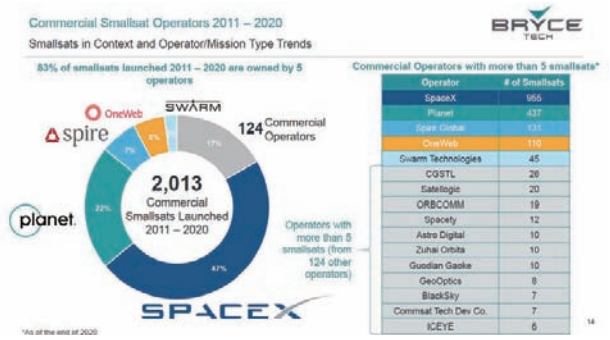
2.3 小型衛星のオペレータ

小型衛星のオペレータについて、政府系・非政府系（商用等）ごとの打ち上げ数を図4に示す。政府系の民生・軍用の衛星が安定的な打ち上げ機数を維持しているなか、



■図4. 小型衛星のオペレータタイプごとの機数（Bryce Tech社資料（https://www.brycetech.com/reports）より抜粋）

Starlink、Onewebなどの商用オペレータを含む事業者及び非営利団体による機数が増加しており、これまで官の需要で支えられてきた宇宙事業とは異なるトレンドを見せていることが特徴的である。このトレンドの中で、商用小型衛星のプレーヤが保有する小型衛星数について図5に示す。ここでもグローバルな通信カバレッジを実現しようとしているSpaceX社が2019年、2020年の打ち上げにより数としては突出しているが、光学画像サービスを展開するPlanet社、Spire Global社やIoT端末のグローバルなコネクティビティの確立を目指すSwarm Technology社なども数十機から数百機の衛星の軌道上への配備を完了しており、様々なサービス分野への小型衛星の実装が進んでいる。



■図5. 小型衛星のオペレータタイプごとの機数動向（Bryce Tech社資料（https://www.brycetech.com/reports）より抜粋）

3. 小型衛星の特徴

打ち上げ機数、事業への実装などが、商業事業者を中心にここ10年で急速に進展している。この進展の背景について小型衛星のもつ特徴と対比しながら概説する。

3.1 開発費・開発期間・性能

衛星として必要な機能は、数トンクラスの中・大型衛星であっても、小型衛星であっても基本的な違いはなく、その構成は太陽電池パネル付きのスマートフォンを想像していただくと分かりやすい。大きく異なるのは開発費と開発期間であり、数トンクラスの大型衛星では開発費が数百億円に達し、開発期間は5年から長いものでは10年を超えるものもある。一方小型衛星では、中・大型衛星の開発費の1/10以下といわれており、開発期間も2年以下のものが多い*4。

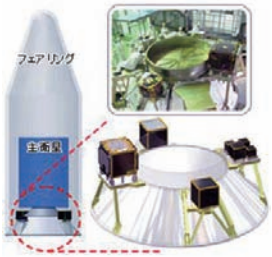
*4 「超小型衛星における国際標準化」、https://www.sjac.or.jp/common/pdf/std/uchu/20210604.pdf

さらに、小型衛星の中でもCubeSatという規格化された小型衛星の登場により、さらなる開発期間の短縮、低コスト化が進んでいる。

小型衛星の性能については、その限られたサイズに必要な機能を詰め込むことから、単体では大型衛星に比較して劣る。しかしながら、2章で示したStarlinkやPlanetなどのように多数の小型衛星により群を構成することによる機能・性能の向上や、進展の著しい地上民生技術、特に半導体に代表されるようなデジタル関連技術の宇宙適用化により、従来の小型衛星と比較にならないほどの高い機能・性能を実現することが可能となってきており、これが小型衛星の活用を後押ししている。

3.2　打ち上げ手段

数トンクラスの通信衛星や気象衛星、大型の地球観測衛星などでは、衛星打ち上げに必要な打ち上げ能力を持つロケットを選択し、1衛星につき1ロケットで打ち上げることが一般的である。一方、開発費の安い小型衛星では、1本あたり数十億円が一般的なロケットを単独で購入することはコストの観点から非現実的であり、いくつかの手段がある。従来は主衛星である数トンクラスの衛星への相乗り（ピギーバック方式（図6））が多かったが、近年の小型衛星の打ち上げ需要の増加に伴い、様々な形態が登場している。小型衛星同士の複数相乗り（ライドシェア型（図7））やコンステレーション構築のために小型衛星専用の打ち上げ形態（図8）などが登場し、複数の小型衛星で打ち上げ費をシェアすることが可能となり、1機当たりの打ち上げコストが低下している。加えて、1打ち上げあたり数億円といった打ち上げ手段の価格破壊を狙う小型ロケットベンチャーやISSを利用した衛星放出サービス事業者なども登場しつつあり、小型衛星の活用に際し大きな制約となっていた打ち上げコストについて、機会の増加と低コスト化が進展し、小型衛星の活用を後押ししている。



©JAXA

■図6.　小型衛星搭載方法：ピギーバック方式の例
（主衛星の空きスペースに搭載）

©ESA

■図7.　小型衛星搭載方法：ライドシェア方式
（多種多様な衛星が所狭しと搭載）

■図8.　Starlink衛星の60機同時打ち上げの搭載方式（弁当箱のように積みあがっている）（Elon Musk氏 2019年Tweetより）

3.3　衛星運用

衛星が打ち上げられた後、所定のミッションを実施するために地上と衛星間のアクセスを確立し、命令の送信や情報の取得・処理を行う必要がある。衛星とのアクセスを確立する機能を担うのが地上局である。また、衛星から得られた膨大なデータを活用可能な形にデータ処理し、いつでも活用できるように保管するためのシステムが必要となる。これらの地上局やシステムを整備し、維持管理するコストは小型衛星を開発する費用と比較しても小さくない。また、無線局免許の取得や周波数調整などの手続きに係る負荷も中・大型衛星と基本的には変わらないため、規模の小さい小型衛星事業者にとって相対的に負担は大きくなる。このような状況の中、クラウドサービスにアクセスするだけで衛星運用ができるサービスコンセプトが公表されており（AWS Ground Station[*5]、Azure Orbital[*6]など）、衛星運用の敷居も下がりつつある状況にある。

＊5　https://aws.amazon.com/jp/ground-station/
＊6　https://docs.microsoft.com/ja-jp/azure/networking/azure-orbital-overview

4. 我が国の小型衛星への取組み状況と今後の展開

4.1　我が国の状況

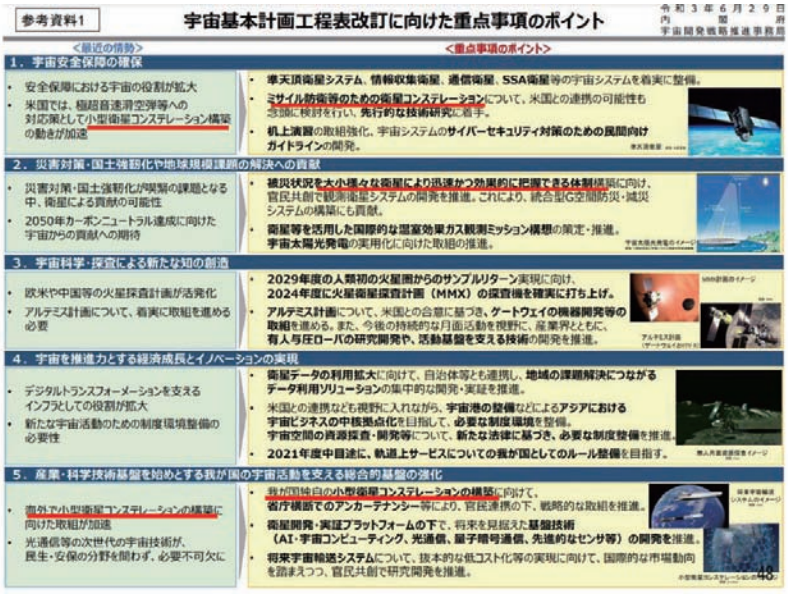
我が国における小型衛星への取組みとしては、2002年に打ち上げられた50kg級の技術実証を目的としたμ-LabSat（マイクロラブサット）の開発をはじめとし、その後、技術実証を行うSDS（Small Demonstration Satellite）シリーズ（SDS-1、SDS-4）の開発、科学観測を行う「れいめい（Index: INnovative-technology Demonstration Experiment）」、小型科学衛星（ひさき、あらせ）の開発が行われた。一方大学では、2002年に打ち上げられた50kg級の千葉工業大学の「鯨生体観測衛星」、2003年に打ち上げられた東京大学、東京工業大学のCubeSatの開発を皮切りに、その後、CubeSatクラス及び50kg級の小型衛星を中心に数多くの小型衛星が開発されてきた。日本の2000年代の小型衛星の活用領域は、技術実証及び科学観測がメインであったが、2008年に民間事業への小型衛星への活用を目的としたアクセルスペース社が東京大学でCubeSat開発に携わったメンバーを中心に設立され、小型衛星の民間事業への展開が開始された。アクセルスペース社は、2013年に民生事業として初めての小型衛星（WINISAT-1）を打ち上げ、その後も、WINISAT-1の後継機で能力を向上させたWINISAT-RやGRUSなど、リモートセンシング事業を中心に小型衛星の民生利用をけん引している。その他にも、SAR衛星のリモートセンシング情報を活用したサービス事業を実施するSynspective社、QPS研究所、「人工流れ星」事業を計画するALE社、3U、6UといったCubeSatを中心に小型衛星を活用した事業実現を目指すArkEdgeSpace社など、民生事業を目的とした小型衛星事業者が次々と登場してきている。また、打ち上げロケットについても、小型衛星に特化したロケットを開発するベンチャー企業としてスペースワン社、インターステラテクノロジ社が登場してきている。また、地上局システムに関しては、従来から衛星運用を手掛けてきたスカパーJSAT社が小型衛星運用へ参入、地上局ネットワークや無線局支援を行うインフォステラ社の設立など、小型衛星の開発、打ち上げ、運用という衛星事業に必須な役割を担う日本の事業者が2015年ごろから活発な活動を開始している。

4.2　小型衛星における今後の展開

最近の小型衛星によるゲームチェンジの状況を受け、小型衛星事業を加速する取組みが始まっている。

①政府の取組み

我が国の政策においても小型衛星、特に小型衛星によるコンステレーションへの注目が高まっている。我が国の宇宙開発利用に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るために策定される宇宙基本計画がある。この具体的な工程を示す宇宙基本計画工程表の改訂に向けた重点事項のポイントが令和3年6月に示された（図9）。この中で、宇宙基本計画の5つの柱に対してそれぞれ改訂に向けたポイン



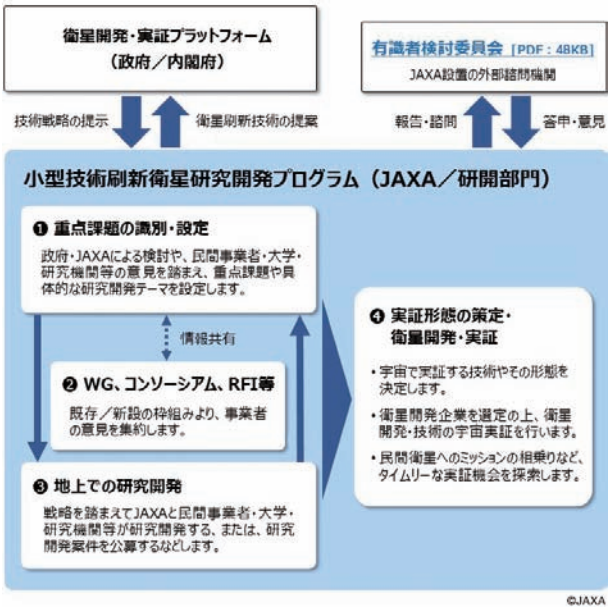
■図9.　宇宙基本計画工程表改訂に向けた重点事項のポイント（筆者が赤字下線を加筆）

トが示されており、複数の領域で小型衛星や小型衛星コンステレーションに関連した内容が明示されている。諸外国での衛星コンステレーションの拡大に対し、我が国としてもその能力を最大限に生かすアプリケーション及び技術を獲得していくことの重要性が増していることを示していると考える。

②JAXA

JAXAでは小型衛星に関連した事業として主に2つのプログラムを実施している。1つは、民間企業・大学等による超小型の人工衛星を活用した新たな知見の獲得・蓄積、将来のミッション・プロジェクトの創出、宇宙システムの基幹的部品や新規要素技術の軌道上実証実験など、軌道上実証機会の提供を行う革新的衛星技術実証プログラム（革新プログラム）である*7。革新プログラムでは、公募により選定された部品・機器の実証テーマを搭載した100kg級の小型衛星、複数の超小型衛星・CubeSatを一度に打ち上げる。革新プログラムは2016年度より開始され、2019年に1号機を打ち上げ、2号機は2021年度中に打ち上げられる予定である。各号機にて新たに宇宙事業に参画する事業者や新たな技術に挑戦する大学などが選定されており、宇宙産業の裾野拡大への貢献が期待される。

もう1つのプログラムは、2021年度より開始した小型技術刷新衛星研究開発プログラムでである。本プログラムでは、我が国の衛星事業の競争力強化を目標に、超小型・小型衛星を活用して挑戦的な技術や衛星開発方法の刷新などにつながる技術を迅速に研究開発・実証することを目的としている*8。前述の革新プログラムとの違いとして、革新プログラムは企業・大学に広く宇宙実証機会を提供することを目的にするのに対し、本プログラムでは国の技術戦略に基づき重点課題を識別し、技術の引き受け手である企業等と連携して研究開発・技術実証を実施することにある（図10）。



■図10.　小型技術刷新衛星研究開発プログラムの取組み概要

5. おわりに

本稿では、宇宙事業の中でも特に注目が高まっている小型衛星及び小型衛星によるコンステレーションについて、世界的な動向とそれを可能とする小型衛星の特徴や状況の変化及び日本における取組みについて紹介した。本稿で説明したとおり、小型衛星の持つ短い開発期間、低開発コストに加え、打ち上げ手段の低廉化や打ち上げ機会の増加、衛星運用のサービスとしての提供により、衛星事業への参入障壁は低くなりつつあり、今後、競争の激化が予想される。この厳しい競争環境の中で生き残るためには、現状の小型衛星の特徴を一新するような斬新な技術及びそれに支えられたイノベーティブなサービスを生み出せるかがポイントになると考えており、JAXAでは、企業や研究機関等、外部機関と連携して成果を生み出し、我が国の宇宙産業競争力向上に貢献していきたいと考えている。

＊7　https://www.kenkai.jaxa.jp/research/innovative/innovative.html
＊8　https://www.kenkai.jaxa.jp/research/sasshin/sasshin.html