

巻頭論文

宇宙システム利活用の新時代



小山 浩*



外口 靖**



宮前靖彦***

Beginning of New Era for Utilization of Space Systems

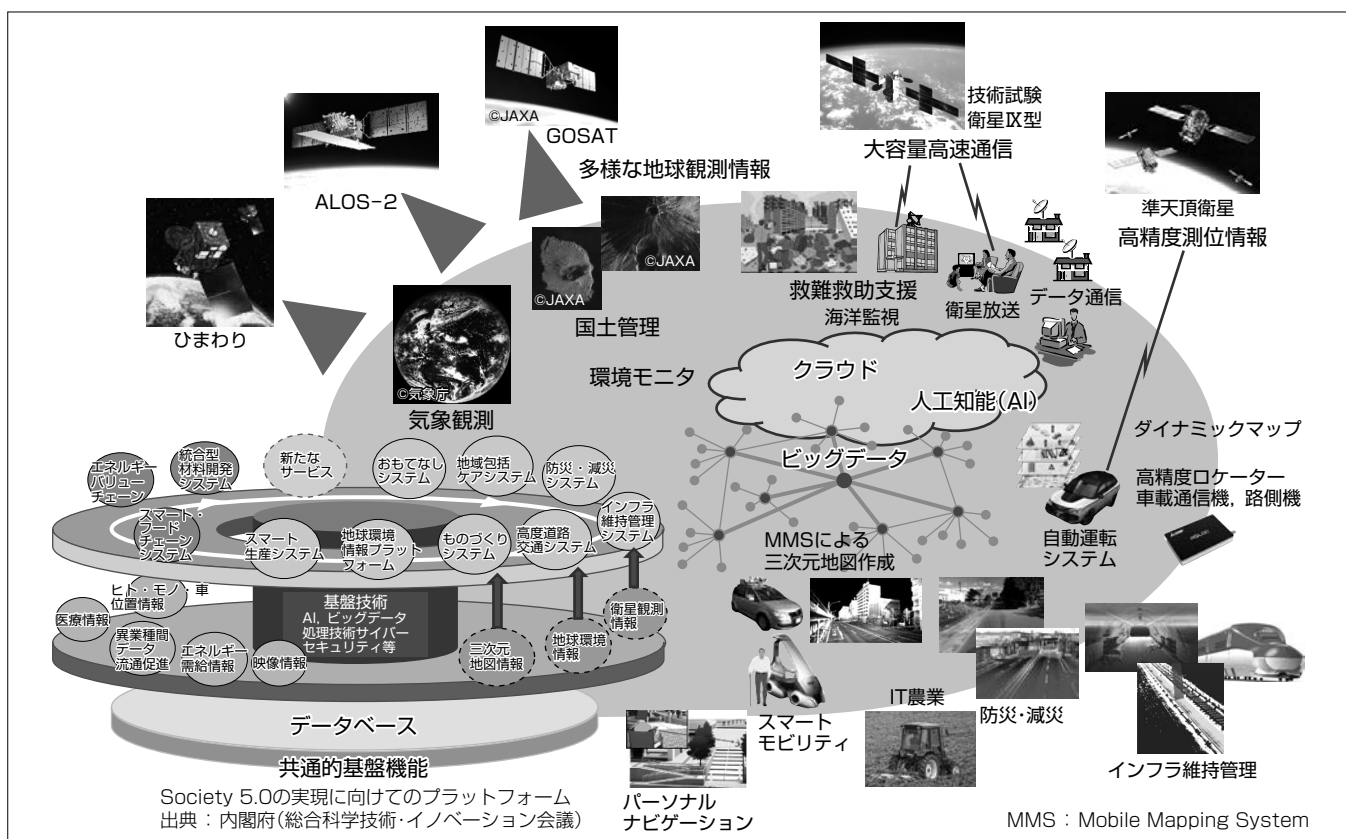
Hiroshi Koyama, Yasushi Toguchi, Yasuhiko Miyamae

要 旨

現在、宇宙システムの利活用は新たな段階に移行しつつある。国内外での技術革新、IT事業者を中心とした異業種からの新規参入等を背景に、衛星から得られる様々な情報の質の向上、処理データ量の大幅な増加(ビッグデータ化)のトレンドが顕著である。

こうした流れを受け、国内でも、リモートセンシングの分野では、観測情報多様化とともに、高頻度かつ高解像度情報の提供が可能になりつつある。また、衛星測位の分野では、2018年度から準天頂衛星のセンチメートル級高精度衛星測位サービスが開始される。衛星通信の分野でも、高速大容量化の動きが顕著である。

これらの衛星から得られる各種データと様々な地上データを組み合わせることによって、多様な分野での新規ソリューション創出が期待される。内閣府、経団連(一般社団法人 日本経済団体連合会)、COCN(一般社団法人 産業競争力懇談会)が提唱するSociety 5.0で、ロボットやAI等の先端技術をあらゆる産業や社会生活に取り入れることで、サイバー空間とフィジカル空間を融合したモノとサービスを提供する複数のシステムが定義されている。これらシステムの共通の基盤となるプラットフォームとして、各システムに共通するデータベースが位置付けられており、衛星からのデータが重要な構成要素の1つとなる。



Society 5.0の実現に向けたプラットフォーム構築と宇宙システム利用への展開

Society 5.0の実現に向け、衛星観測情報、三次元地図情報等を含むデータベースの整備が進められる。リモートセンシング衛星による地球観測データ、測位衛星である準天頂衛星による高精度測位データを人工知能(AI)、ビッグデータ処理技術等の最新の情報処理技術と融合することによって、防災・減災、インフラ維持管理、道路交通の高度化、地球環境情報の把握、農業・建設のスマート化等に向けた、様々なソリューション創出が期待される。これら各システム間の情報伝達を担う衛星通信に対しても、更なる高度化が要望されている。

1. ま え が き

2017年5月に内閣府で制定された“宇宙産業ビジョン2030”⁽¹⁾では、宇宙システム利活用の加速がIoT(Internet of Things)、ビッグデータ、人工知能(AI)等とともに、成長産業を創出するフロンティアとして位置付けられている。また、同年6月に発表された“未来投資戦略2017”でも、宇宙からの情報をSociety 5.0の実現に不可欠となるビッグデータ基盤として位置付けており、AI等の解析技術と組み合わせつつ、新たなビジネスの創出を図るとしている。

三菱電機は内閣府・宇宙開発戦略推進事務局、宇宙航空研究開発機構のプロジェクトを通じ、種々のリモートセンシング衛星、測位衛星(準天頂衛星)、通信衛星の開発を行ってきた。

本稿では、リモートセンシング、測位、通信の各分野での今後の宇宙システム利活用に基づくソリューションの将来像、それらを支えるために当社が現在開発、整備に取り組んでいる宇宙システムの概要について述べる。

2. リモートセンシング衛星の利用動向と当社の技術

2.1 リモートセンシング衛星の利用動向及びニーズ

宇宙を活用した地球規模の観測によって、国際社会と我が国が直面する大規模災害、資源、エネルギー、気象変動、環境、食糧等の各種地球規模の課題の解決に貢献することができる。

陸域での地震・火山・台風による大規模災害に対する早期災害情報の把握、海洋での流氷、船舶運航に対する安全確保やオイル流出などの海洋汚染に対する監視等、衛星からの広域観測に対するニーズが高まっている。これらのニーズに対応するため、観測衛星には可視光、赤外、電波等を使ったセンサが搭載され、様々な観測要求に対応している。また、高度な観測要求に対応するため、観測衛星では搭載センサ性能の向上だけでなく、俊敏かつ安定した衛星軌道制御や多くの観測データをいち早くユーザーに届ける衛星-地上局間の通信手段、地上に届けられたデータを利用者のニーズに合わせて画像処理する技術に支えられている。また、温室効果ガスの継続モニタリングについては全ての生態系が持続的な活動を続ける地球環境を維持する上で重要な情報を提供している。

2.2 当社の観測衛星及び関連利用技術

陸域・海洋観測分野では、2014年5月に陸域観測技術衛星2号“だいち2号(Advanced Land Observing Satellite-2:ALOS-2)”が打ち上げられ、搭載されたL帯合成開口レーダ(PALSAR-2)によって、国土データの蓄積や災害時の状況把握のための観測が始まっている。PALSAR-2は、電波を用いたセンサであり、昼夜を問わず、また台風や火山の噴煙等の大気状態が悪い場合で

も観測できる特長とともに、L帯合成開口レーダとしては世界最高レベルの高分解能(1m)や広域(490km)の観測性能を実現している。またALOS-2は、基準軌道に対して±500mの軌道を保持できる自律軌道制御技術、800Mbpsという高速データ伝送技術等を備えることで高精度な観測データを迅速にユーザーに送る能力を持っている。また、電波を用いていることから昼夜を問わず、また雲や火山の噴煙等にも影響されずに画像を取得することができるため、災害時の状況把握に欠かせないセンサとなっている。また、合成開口レーダは単に画像を取得するだけでなく高き情報を取得することができるため、地震による地盤の変化や火山活動による地面の変化を定期的に把握することで防災・減災に活用されている。

また、現在当社ではALOS-2の後継機である先進レーダ衛星(ALOS-4)(図1)をJAXA(国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構)の下、開発中である。先進レーダ衛星はALOS-2のL帯合成開口レーダを踏襲しつつ、新たにデジタル・ビーム・フォーミング(DBF)技術を採用している。このDBF技術によって分解能(3m)を維持しつつ観測幅をALOS-2の4倍(200km)まで拡大しており、広域災害時に一度に広範囲の観測を行うことができるようになる。また、データ伝送速度もALOS-2の800Mbpsに対し、約4倍の3.6Gbpsを実現し、より多くのデータを一度に配信することで災害発生時の迅速な対処に貢献することが期待される。

一方、光学センサを搭載する観測衛星としては、JAXAの下、先進光学衛星(ALOS-3)を開発している。先進光学衛星は、陸域観測技術衛星“だいち”に搭載された光学センサのミッションを引き継ぐ衛星である。“だいち”に搭載された光学センサと比較して、高分解能かつ広域の撮像を実現する。分解能は“だいち”のパンクロ2.5mに対し0.8mと大幅に向上させつつ、観測幅は70kmと広域化を実現する。先進レーダ同様、高分解能・広域撮像を実現することで、災害監視、海洋観測、地理空間情報の取得に役立つ。

また、環境観測分野では、地球温暖化防止を目的とし、



図1. 先進レーダ衛星(ALOS-4)

主要な温室効果ガスである二酸化炭素・メタンを測定する温室効果ガス観測技術衛星“いぶき(Greenhouse gases Observing SATellite: GOSAT)”を開発した。“いぶき”は、2009年1月に打ち上げられた後、設計寿命5年を大幅に超えて、今なお運用されている。“いぶき”の観測データは、米国、中国、日本を始めとする世界50か国以上、2,500以上の機関のユーザーに配信され、日々活用されている。また、当社では“いぶき”の後継機であるGOSAT-2を開発中で、搭載センサを含む衛星システム及び地上システムの開発を担当している。GOSAT-2に搭載される温室効果ガス観測センサ2型(TASNO-FTS-2センサ)は“いぶき”搭載センサと比較して二酸化炭素の測定精度を向上させるとともに、新たな観測波長領域を追加したことで一酸化炭素の観測を可能にしている。これによって、従来、自然由来の二酸化炭素の区別が困難であったのに対し、一酸化炭素の検出を合わせて行うことで人為発生の温室効果ガスを効率的に観測することが可能になる。また、観測対象地域に雲がある場合、自動的に雲の領域を避けて観測する“インテリジェントポインティング機能”を新たに備えることで、高度な観測が可能となる。さらに同じくGOSAT-2に搭載される雲エアロゾルセンサ2型(Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation/Cloud and Aerosol Imager 2: TASNO-CAI-2)では雲やエアロゾルの観測を行うことで、TASNO-FTS-2(Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation/Fourier Transform Spectrometer 2)が観測したデータの補正を行うとともに、現在環境問題となっているPM2.5の観測が可能である。

今回述べたALOSシリーズ、GOSATシリーズでは、当社の観測衛星向け標準衛星バスを採用している。多数の打ち上げ実績を持つ当社の高品質・高信頼性・低コスト標準衛星バスに、高性能センサを搭載することで、今後も様々な観測衛星の開発に携わり、安全・安心社会への実現に貢献していく。

さらに、当社ではこれまでの観測衛星にない超低高度(約200km)で地球を周回する“つばめ(SLATS)”を開発し、2017年12月に打ち上げた。衛星の軌道高度を低くするとレーダでは電力を大幅に低減することができる。また光学センサでは小さな口径でも分解能を確保することができるため、小型軽量化・低コスト化が期待できる。しかし、このような超低高度で周回する衛星は空気抵抗の影響によって通常の衛星と比較してすぐに地球に落下してしまうことになる。今回SLATSでは、イオンエンジンを採用することによって、燃料効率がよく長期間超低高度を維持させることが可能となっている。またSLATSでは超低高度環境での衛星に対する様々な影響をモニタすることを計画しており、これらの成果を将来の小型・低コストの超低高度観

測衛星につなげることが期待されている。

3. 測位衛星の利用動向と当社の技術

3.1 準天頂衛星システムの概要

日本独自の衛星測位システム構築の第一歩として2010年に準天頂衛星初号機が打ち上げられた。この初号機の成功実績を基盤に、2017年には後続の準天頂衛星3機の整備が完了した。地上軌跡が8の字を描く準天頂軌道に3機(初号機・2号機・4号機)、静止軌道に1機(3号機)の準天頂衛星が配置され、4機体制の準天頂衛星システムが完成した(表1)。準天頂衛星は、米国GPSの測位信号と互換性のある測位補完機能と、ユーザーがより高精度な測位結果を得られるように誤差補正情報を配信する測位補強機能を持つ。さらに、静止軌道の3号機は、災害情報の通信機能を持っている。準天頂軌道に衛星3機を配置できたことによって、常に日本の天頂付近から信号を配信できるため、高層ビル街や山間部のような電波が届きにくい地域でも、高精度の測位情報を取得できるようになる。

3.2 センチメートル級測位補強サービスの特長

準天頂衛星システムでは、測位補強機能としてセンチメートル級測位補強サービス(CLAS)⁽²⁾⁽³⁾が提供される。従来のGPSの測位精度は約10mであり、信頼性も保証されないが、このサービスは衛星測距データに含まれる各種誤差を補正するデータを準天頂衛星経由で配信することで、高い測位精度(水平/静止: 6cm(95%))と信頼性を実現する。また、測位衛星の異常をリアルタイム監視するインテグリティ監視機能を持ち、測位情報の信頼性を確保することができる。このサービスでは、日本全国約300点の電子基準点網で取得した各測位衛星の観測データを用いて、主管制局で観測データに含まれる各種測距誤差を推定、補正情報及びインテグリティ情報を生成する。これらの情報を準天頂衛星から放送、測位受信機で各測位衛星の測距データを補正することによって、高精度測位を可能にする。

3.3 高精度測位社会実現への取組み

農機・自動車の自動走行といった高精度衛星測位アプリケーションの創出・普及に向けては、同種のサービスを日

表1. 準天頂衛星(2, 3, 4号機)の主要諸元

	2・4号機(準天頂軌道)	3号機(静止軌道)
衛星バス	DS2000	
搭載ミッション	GPS測位補完(L1C/A, L1C, L2C, L5)	
	サブメートル級測位補強(L1S)	
	センチメートル級測位補強(L6)	
	L5S(測位技術実証)	L1Sb, L5S(測位技術実証)
	宇宙環境データ取得装置	メッセージ通信(S, Ku)
発生電力(EOL)	6.3kW(2枚構成×2翼)	
ドライ質量	1.6トン	1.7トン
打ち上げ質量	4.0トン	4.7トン
軌道上寿命	15年以上	

EOL: End Of Life(寿命末期)

GPS: Global Positioning System(全地球測位システム)

本以外の国・地域でも提供するとともに、高精度位置情報を利用するための高精度地図インフラ及び測位端末の整備が必要である。当社は、高精度三次元地図の整備を行うダイナミックマップ基盤企画(株)に出資し、2017年度事業会社化を支援するとともに、欧米を中心とした世界各地に高精度補強サービスを提供するSapcorda社に出資した。また、海外を含む測位端末及びアプリケーションの開発・普及促進のため、伝送フォーマットを国際標準規格に基づき新たに定義、規格提案中である。

いよいよ高精度測位情報を誰もが容易に利用できる時代が到来する。高精度測位情報の利活用を促進させ、新規ソリューションビジネスの立ち上げ、展開を目指す。また、社会インフラとしての性能及び利便性向上に継続的に取り組み、準天頂衛星システムの更なる発展を目指す。

4. 地理空間情報としての衛星利用の拡大

当社はこれまでFKP(Flaechen Korrektur Punkt)方式によるセンチメートル高精度測位サービスを手掛け、このセンチメートル高精度測位技術を利用してMMSを製品化し、高精度移動体測量の事業分野を開拓してきた。そして近年、国内外での自動運転の実用化に向けた取組みの中で高精度三次元地図が、車両に搭載されるセンサの1つに位置付けられ、この整備が進められている。当社は、MMSを利用して収集される高精度三次元点群データを活用したダイナミックマップ(自動走行/安全運転支援を行うため、時間的変化度合いに応じた情報を階層別に構成した高精度三次元地図)(**図2**)普及に向け、その根幹をなす三次元地

図共通基盤データの効率的な整備・維持に向けた技術開発推進に取り組んでいる。

折しも第5期科学技術基本計画(科学技術基本法に基づき日本政府が策定する、2016~2020年度の5か年間の科学技術の振興に関する総合的な計画)で、超スマート社会の実現(Society 5.0)の方針が示され、サービスや事業のシステム化、複数システムの連携、共通的なプラットフォーム(共通基盤)構築の動きが加速している。そして2017年9月には経済産業省と総務省から“認定データバンク制度”創設の方針が打ち出され、2018年度にも関連する法整備が行われる見込みである。このデータバンクは、複数の企業などがばらばらに持っている地図情報やその出典となった計測データ、衛星画像などを集め、このデータの共同利用を通じて新規事業の創出や生産性向上を狙ったものであり、対象のデータとして先に述べた三次元地図共通基盤データも想定されている。なお、この三次元地図共通基盤データはあくまで“基盤”となるものであり、展開を狙うサービスやビジネスに応じて様々な付加価値を基盤上に階層的に積み重ねたものが目的に応じて整備されていくものとする。例えば自動運转向けであれば、道路形状や各種ライン、標識・標示などの基盤データ上に、ランドマーク情報、交通規制情報、事故・渋滞情報、周辺車両からの情報(ドライブレコーダや車両の挙動など)、歩行者情報などが更新頻度などに応じて階層的に構築されることになり、その基となる各種情報が多種多量に蓄積されていくことになるであろう。

このようにセンチメートル高精度測位技術を利用した高精度三次元点群データの活用範囲拡大とこれに加えて多種多量のデータがデータバンクとして集約されビッグデータ化していく流れが見えており、こうした中で当社は、これらのデータバンクを支える基盤システムの提供、その基盤システム等に蓄積されていくビッグデータを効率的に処理して新たなサービスや付加価値を引き出すソリューションの提供に取り組んでいく(**図2**)。この具体事例としては、三次元地図共通基盤データの活用先として自動走行/安全運転支援に向けた高精度三次元地図の整備が先行していて、ダイナミックマップを整備するための“サーバシステム”、AI技術や画像認識技術等を活用してMMS計測データから三次元地図共通基盤データを効率的に整備・維持する“自動図化・差分抽出ソフトウェア”の開発を行っている。

5. 通信放送衛星の利用動向と当社の技術

静止通信衛星市場では、地上での通信需要の急速な拡大を受け、高速大容量通信の需要が高まっている。通信総量拡大と通信単価削減のためにマルチビームの数に比例して通信帯域を拡大できるKa/Ku帯のHTS(High Throughput Satellite)が主流となっており、これに伴い

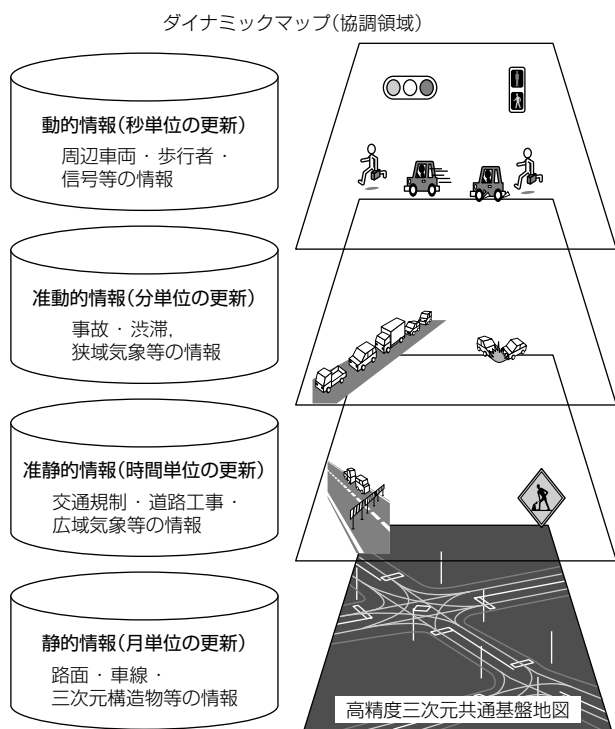


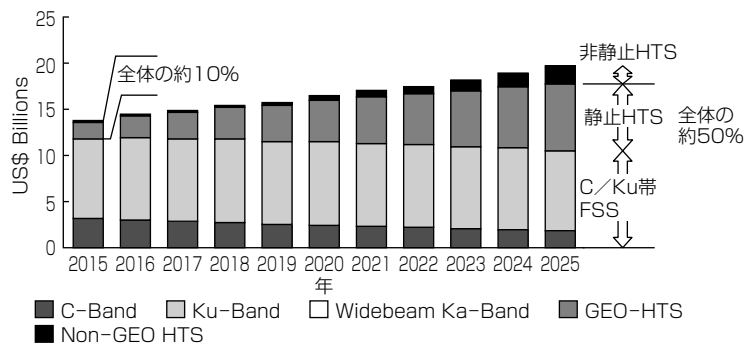
図2. ダイナミックマップの概念図

衛星バスへの大規模ペイロード搭載要求が顕著となっている。同時に化学推進に比較して比推力が5～10倍となる高効率の電気推進をバス系の標準とすることで衛星の搭載推薬を削減し、大電力衛星でも安価なロケットで打ち上げることで初期の資本的支出の最小化を図ることが衛星オペレータのビジネスモデルの基調となっている。

搭載通信ペイロードでは、HTS技術と並行してフィルタリング・周波数変換・ルーティングの各機能をデジタル化し、各通信チャンネルの帯域や周波数、接続、アンテナ覆域をコマンドで可変にすることで、打ち上げ後の通信需要変化というリスク又は機会に能動的に対応可能なデジタルペイロードの要求が多くなっている。デジタル化は、通信ペイロードの可変性・柔軟性向上とともに設計標準化の可能性も持っている。すなわち衛星ごとの個別仕様に応じて、数多くの機械的スイッチ・同軸ケーブル・導波管接続で実現する複雑なルーティングや、高度化する周波数非干渉化のために調整難易度の高いアナログの入出力フィルタや周波数変換器で実現しているペイロードの物理的構成をデジタルペイロードによって標準化できる可能性を持っている。静止衛星自体も低高度・中高度の非静止系の通信コンステレーションとの競合や融合が本格化し、衛星バス・通信システムの更なる性能向上とコスト競争力強化が強いられている。

この静止及び非静止のHTSに関する通信サービス需要予測に関して一例を示す。図3は2016年の総務省資料(調査はNorthern Sky Research社実施)によるC/Ku帯固定通信サービス(FSS)、HTS衛星通信サービス(静止及び非静止)の収入予測である。C/Ku帯FSS収入は今後安定しつつも漸減する傾向であるのに対し、HTSサービスの収入が2025年には全体収入の50%近くを占めるとの予測である(2015年時点では既に約10%)。その2025年のHTS収入の約8割が静止衛星、約2割が非静止衛星による供給であるとの図3の予想を踏まえ、まず静止衛星の性能向上(通信性能・大電力・電気推進)とコスト競争力獲得が優先度の高い重要な課題であることが分かる。

このような世界市場・通信技術の大きな流れを踏まえ、2014年度から3年間開催された総務省主催の「次期技術試験衛星に関する検討会」の中で産官学代表者によって次世代通信衛星の重要性と方向性が討議され、2016年4月1日に閣議決定された「宇宙基本計画」の中で、「通信・放送衛星に関する技術革新を進め、最先端の技術を獲得・保有していくことは、我が国の安全保障及び宇宙産業の国際競争力



出典：「Global Satellite Capacity Supply and Demand, 13th Edition」, July 2016, Northern Sky Research
 出典：総務省「ICTが巻き起こす宇宙産業ビッグバン」(平成29年8月8日発表) 公表資料(1)「宇宙×ICTに関する懇談会」報告書：別紙1, P.38を加工して作成

図3. 衛星通信サービスの収益予想

の強化の双方の観点から重要である」と改めて方向付けされた。これらの背景によって技術試験衛星9号機が2016年度予算化され、当社は衛星バス開発、及び総務省担当の次世代デジタル通信ペイロードの開発を進めている。この技術試験衛星9号機の開発を通して「次世代通信衛星」を確立し、2020年代早期に年間2機の商用衛星を受注することによって、当社の宇宙事業全体の売上げ1,500億円を目指している。

6. む す び

リモートセンシング、測位、通信の各分野での宇宙システム利用の動向、それらを支える宇宙システム、提供可能な情報に関して述べた。「宇宙産業ビジョン2030」では、宇宙利用の拡大に向け、衛星データの利活用促進が必要であり、衛星データへのアクセス性改善、衛星データの継続性強化、リモートセンシング衛星や準天頂衛星等の衛星データと地上データを統合した新たな活用事例の創出及び、潜在ユーザーとしての省庁・自治体等との連携による利用拡大と産業化等を目指すことが示されている。

これら動向を踏まえ、宇宙システム利用の裾野拡大、新たなソリューション創出に資する宇宙システムの提供を念頭に、今後の宇宙システムの開発、整備に取り組む。

参 考 文 献

- (1) 内閣府 宇宙政策委員会：宇宙産業ビジョン2030 (2017)
- (2) Cabinet Office：Quasi-Zenith Satellite System Interface Specification Centimeter Level Augmentation Service, IS-QZSS-L6-001 (Draft) (2017)
- (3) Cabinet Office：Quasi-Zenith Satellite System Performance Standard, PS-QZSS-001 (Draft) (2017)