

## 宇宙利用・無線技術による 安心・安全・快適な社会への貢献

Space Use and Wireless Technologies to Contribute Secure,  
Safe and Comfortable Society



関根 功治\*  
Koji Sekine



小山 浩†  
Hiroshi Koyama

### 要 旨

第5期科学技術基本計画(2016年)の閣議決定によって、サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)の高度な融合によって“超スマート社会”と“地球規模の課題の解決”を目指す“Society5.0”の指針が明確化された<sup>(1)</sup>。

背景には計算機・通信・半導体・遺伝子工学・アルゴリズム・ロボティクス・材料等の要素技術の革新を反映し、IoT(Internet of Things)、AI(Artificial Intelligence)、機械学習、5G(5th Generation)、自動運転、宇宙空間利用に代表される実利用が世界的に加速している状況がある。

Society5.0では①国及び国民の安全・安心の確保と豊かで質の高い生活の実現、②地球規模の課題への対応と世界の発展への貢献、③持続的な成長と地域社会の自律的な発展の三つの大きな指針が掲げられている。

これに対し、三菱電機が持っている観測衛星・防災ソリューション技術・高精度測位信号生成技術・気象衛星開発などの宇宙利用・インフラ構築技術や、通信干渉を監視する施設、自動運転のための高性能車載ミリ波レーダモジュールなどの無線利用技術によって、“安心・安全の確保と質の高い社会”の実現に貢献することができる。また温室効果ガス観測技術衛星や衛星搭載マイクロ波放射計による継続的な地球全体の温室効果ガス観測や水循環の物理量観測によって“地球規模の課題解決”に貢献している。“持続的成長”に関しては、今後本格化する5Gや移動体通信に対応するための通信衛星への取り組みや、2020年代の国際協力プログラムである月周回ステーションGatewayや月面基地、さらに火星実利用への技術貢献が期待できる。



### 宇宙利用・無線技術によって安心・安全・快適な社会の実現に貢献

当社は、観測衛星・防災ソリューション、温室効果ガス・水循環・気象観測、電波監視、センチメートル級測位による“安心・安全な社会と地球規模の課題解決”への貢献、宇宙ステーションに続く国際協力プログラムである月・火星実利用への参画による“持続的成長”への貢献を目指す。

## 1. ま え が き

Society5.0の指針を受け、内閣府と宇宙政策委員会は2017年5月に“宇宙産業ビジョン2030”を発表した<sup>(2)</sup>。その中で、宇宙産業は2010年代以降継続している第4次産業革命を進展させる原動力であり、成長産業を創出するフロンティアと位置付けている。宇宙産業は従来、科学技術や安心・安全のための社会インフラの基盤であるが、別の側面として近年は産業的な観点から、ビッグデータ・IoT・AI・5Gによるイノベーションやネットワークとの結合の重要性が認識されている。観測衛星も通信衛星もセキュリティを担保しつつ、そのスペースノードをコンシューマーノードへネットワーク化することでサービスの相補性や情報を取得するターンアラウンドの向上を図ることができる。と考える。“宇宙産業ビジョン2030”では、民間の役割拡大を通じ、宇宙利用産業も含めた宇宙産業全体の市場規模(現在1.2兆円)の2030年代早期倍増を目指している。

当社は“ライフ”“インダストリー”“インフラ”“モビリティ”の四つの領域での社会課題解決に向けた価値を創出し、Society5.0と持続可能な開発への貢献を目指している。

本稿では“宇宙利用”と“無線技術”に注目し、“宇宙利用”による防災・地球環境監視・高精度測位・自動運転技術等を通じた“ライフ”“インフラ”“モビリティ”の高度化、“無

線技術”を活用した車載ミリ波レーダモジュールやセンチメータ級小型受信端末、将来高速衛星通信による“インダストリー”の持続成長への取組みなどを例に、当社が開発・整備・運用する最新技術について述べる。

## 2. 安心・安全の確保と質の高い社会の実現

### 2.1 地球観測・気象観測による安心・安全の確保

“宇宙利用”で喫緊の実利用が求められている分野が防災分野である。近年は自然災害の発生頻度と規模が深刻さを増しているが、光学センサ(可視及び赤外波長)及び合成開口レーダ(Lバンド等の無線帯域)を搭載する複数の衛星を連携させ、平時は画像の効率的な蓄積と災害予防や減災を目的とした河川・海岸などのインフラ監視を行い、発災時はこれらアーカイブと緊急観測で得られる情報から迅速なプロダクト提供をワンストップサービスで行う(詳細をこの特集号の論文“防災向け衛星観測ソリューション”に示す)。国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)が運用中のALOS-2(陸域観測技術衛星2号)、開発中のALOS-3/ALOS-4<sup>(3)</sup>やセンチネルアジア、国際災害チャータ等の海外観測衛星データも利用し、自然災害の多い日本の安心・安全な社会の実現を目指している。当社が参画しているレーダ観測衛星・光学観測衛星・温室効果ガス観測衛星の代表諸元と系譜を図1に示す。周回観測衛星

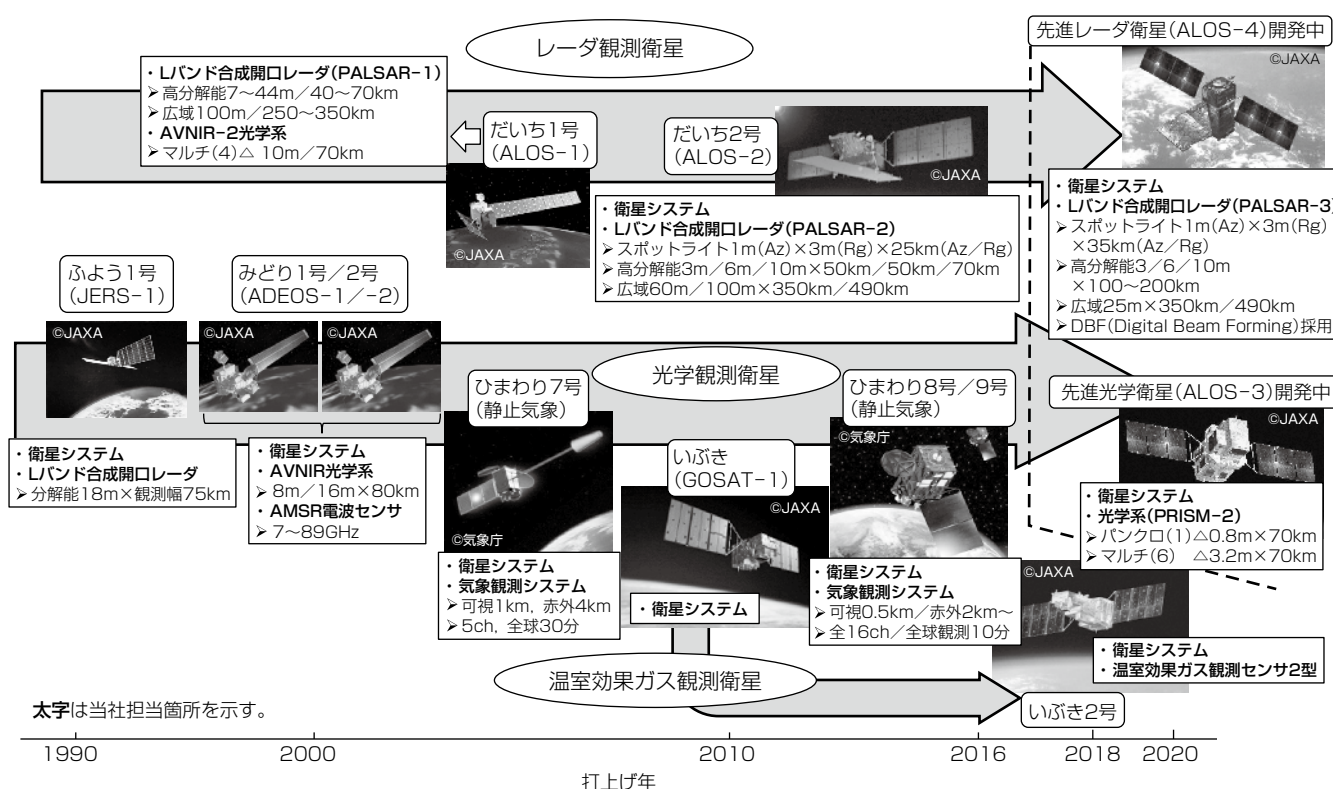


図1. レーダ観測衛星・光学観測衛星・温室効果ガス観測衛星シリーズの性能諸元と系譜

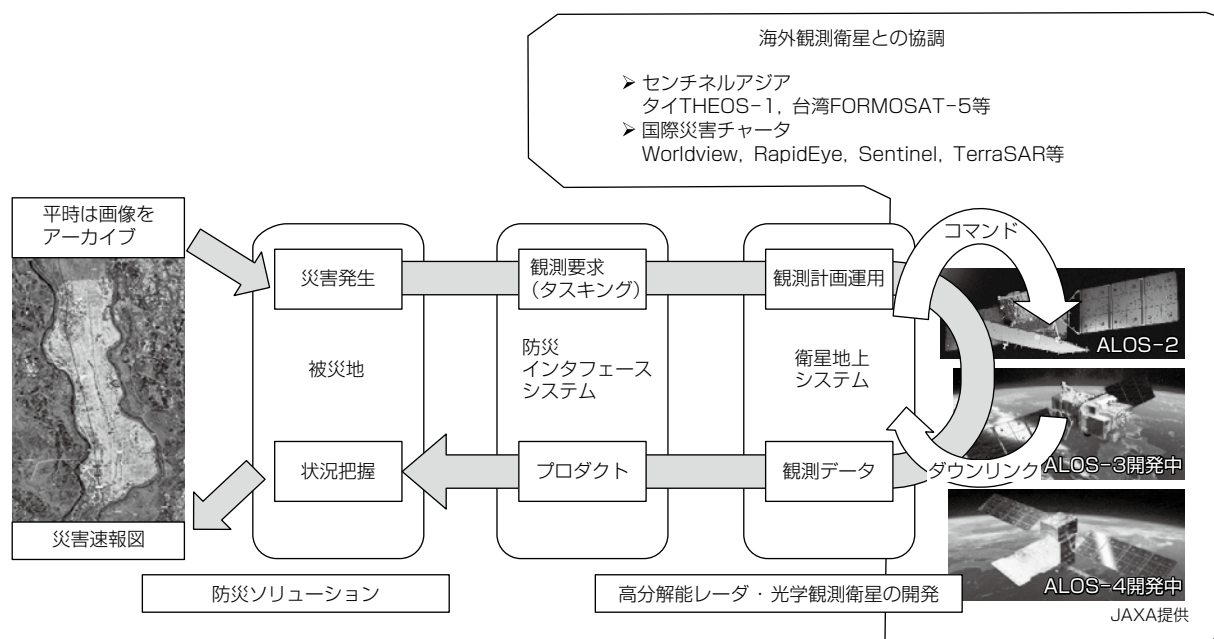


図2. 観測衛星・防災ソリューションのフロー

とともに最新の気象衛星開発と安定運用も安心・安全な社会のための重要なインフラであり、ひまわり8号／9号は高頻度・高精度観測によって局所的な気象予報を可能にしている。被災地に対して災害速報図等の防災対応プロダクトを迅速に提供する観測衛星・防災ソリューションのフローを図2に示す。

“宇宙利用”に関しては、ALOSシリーズやDigital Globe社(Maxar社)のWorld Viewなどの高分解能中型観測衛星と並行して、海外では最大200機程度の小型衛星によって観測幅は小さいが高頻度でターンラウンドの早いコンステレーションシステムも稼働している。①Planet社(米, Terra Bella社, Google社協業)の分解能1～3m/約140機(2019年4月), ②BlackSky Global社(米, 欧州Thales Space社協業)の分解能約1m/2021年までに16機(計画最大60機)などが有名である。従来のリモートセンシングが地形・収穫・人工物を画像として利用するのに対し、機械学習を活用して石油備蓄や来店状況等の経済市況のサービス(Orbital Insight社の機械学習)や、さらに米国では安全保障の観点からも重要視されている。これらのスタートアップ企業はファウンダー・IT大手・従来衛星オペレータ・衛星製造企業・政府と提携し、膨大な画像情報からAI・機械学習を用いて“情報”を自動抽出し、経済指標やインテリジェンスを提供する業態へと進化しつつある。

この重要性は“増大する画像データ”という観点からも推測できる。図3にALOS-1～ALOS-4の画像データの伝送レート合計(DT:直接伝送+衛星間通信)を示す。ALOS-2では約1,080Mbpsであったが、ALOS-3及びALOS-4では約3,600Mbpsのデータレートを必要として

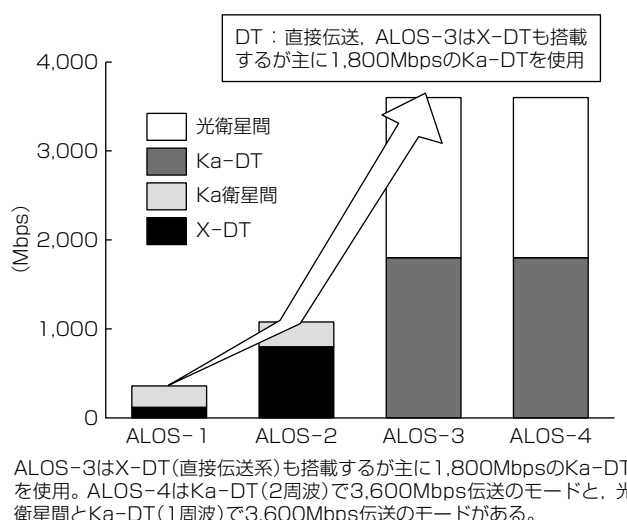


図3. ALOSシリーズのデータ伝送レート(代表値)

いる。先に述べた米国の趨勢(すうせい)からも分かるように、今後観測衛星の高分解能化・観測幅拡大・観測頻度増大(コンステレーションによる機数増)・バンド数拡大がさらに進み中で、“迅速で確かな経済指標や安心・安全のための情報”をユーザーに迅速に提供するには、地上での機械学習・AIに代表される技術革新とともに、情報抽出までオンボードで行ってダウンリンク量を“必要情報”に最適化するためのデジタル処理と衛星側ソフトウェアの高度化も目標となる。

## 2.2 センチメートル級測位システムによる安全・快適性の向上

2018年11月からサービス開始された準天頂衛星システムによるセンチメートル級測位補強サービス(Centimeter Level



Augmentation Service : CLAS)は、自動走行・IT農業・安全運転支援・インフラ監視等への利用が進められている。この分野でも“宇宙利用”と“無線技術”によって、市場拡大が期待される自動化サービス・無人化サービスを、車載ミリ波製品やセンチメートル級測位受信機と組み合わせ、より安全で快適な社会の実現に貢献可能である。

CLASはオープン仕様の衛星配信型の高精度・高信頼度な測位補強システムであり、センチメートル級精度とコンステレーションアベラビリティ0.999以上(サービス開始後半年実績、仕様は0.99)という高い信頼性を2kbpsという少ない衛星配信データで実現する世界初のシステムである。測距誤差の主要因は、①衛星に起因するGlobal誤差(衛星軌道誤差、衛星クロック誤差、衛星信号バイアス誤差)、②地域に起因するRegional誤差(電離層遅延、対流圏遅延)、③ユーザー受信機に起因する誤差(マルチパス、受信機バイアス誤差)の3種類に分類される。これらの測距誤差と各補強方式による補正の比較を図4に示す<sup>(4)</sup>。CLASは高精度・広域性・迅速性・低データレートという利便性を同時に実現するため、ユニークな方式を採用し、①と②の誤差を補正している。図4の中でRTK(Real Time Kinematic)方式は、基準局観測量を用いたコード及び搬送波位相測距誤差の補正による精密解を数秒の初期化時間で推定可能という長所を持つが、課題として基準局からの距離が10km程度という狭域性や基準局の観測データを直接用いるOSR方式(Observation Space Representation : 観測空間表現)に由来する基準局との通信データ量の多さが挙げられる。

PPP(Precise-Point Positioning)方式は広域に配置した複数の監視局受信機の観測データによってSSR(State Space Representation : 状態空間表現)方式を用いて①の衛星に起因するGlobal誤差をユーザー受信機に低データレートで送信するため、RTK方式の課題を低減できる。一方通常は、②のRegional誤差をユーザー受信機側で推定するため、精密解を得るまでの初期化(最初の測位収束時間)に20分以上かかる。CLASはPPP-RTK方式によって両方式の長所を生かしつつ、国土地理院が配備している全国合計1,300局の電子基準点網を利用し、Global誤差だけでなく②のRegional誤差をSSRによって推定することでPPP方式の初期時間が長いという課題も克服している。配信データを更に最小化するために、各誤差のダイナミクスの周波数成分に応じて更新頻度や分解能を更に最適化(例：衛星クロックは5秒、そのほかは30秒周期)し、2kbpsという従来の高精度補強システムの約1/1,000の伝送量の実現と30秒以下の初期化時間を実現している。

表1にCLASの主な仕様を示す。

表1. CLASの主な仕様

| 項目                     | 仕様                                                                                                               |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 補強対象のGNSS信号            | GPS : L1C/A, L1C, L2P, L2C, L5<br>QZSS : L1C/A, L1C, L2C, L5<br>Galileo : E1b, E5a<br>GLONASS(CDMA) : L1OS, L2OS |
| サービスエリア                | 日本国及び領海(80万km <sup>2</sup> )                                                                                     |
| 位置精度<br>(オープンスカイ, 95%) | 静止体 : 水平6cm/垂直12cm<br>移動体 : 水平12cm/垂直24cm                                                                        |
| 初期化時間(95%)             | 60秒以下(補強情報取得時間含む)                                                                                                |
| サービス可用性*               | 0.99以上(コンステレーション)<br>(*サービス継続性や日本からの<br>高仰角性を仕様化したもの)                                                            |

GPS : Global Positioning System

QZSS : Quasi-Zenith Satellite System

CDMA : Code Division Multiple Access

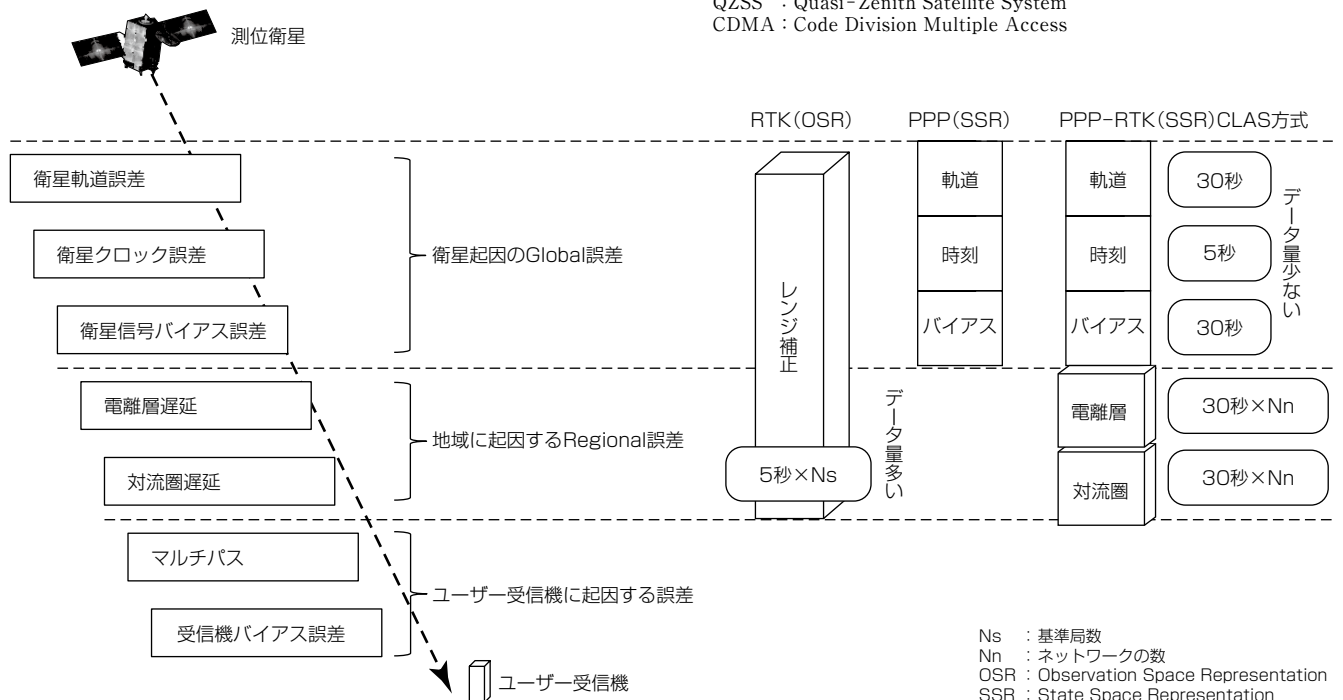
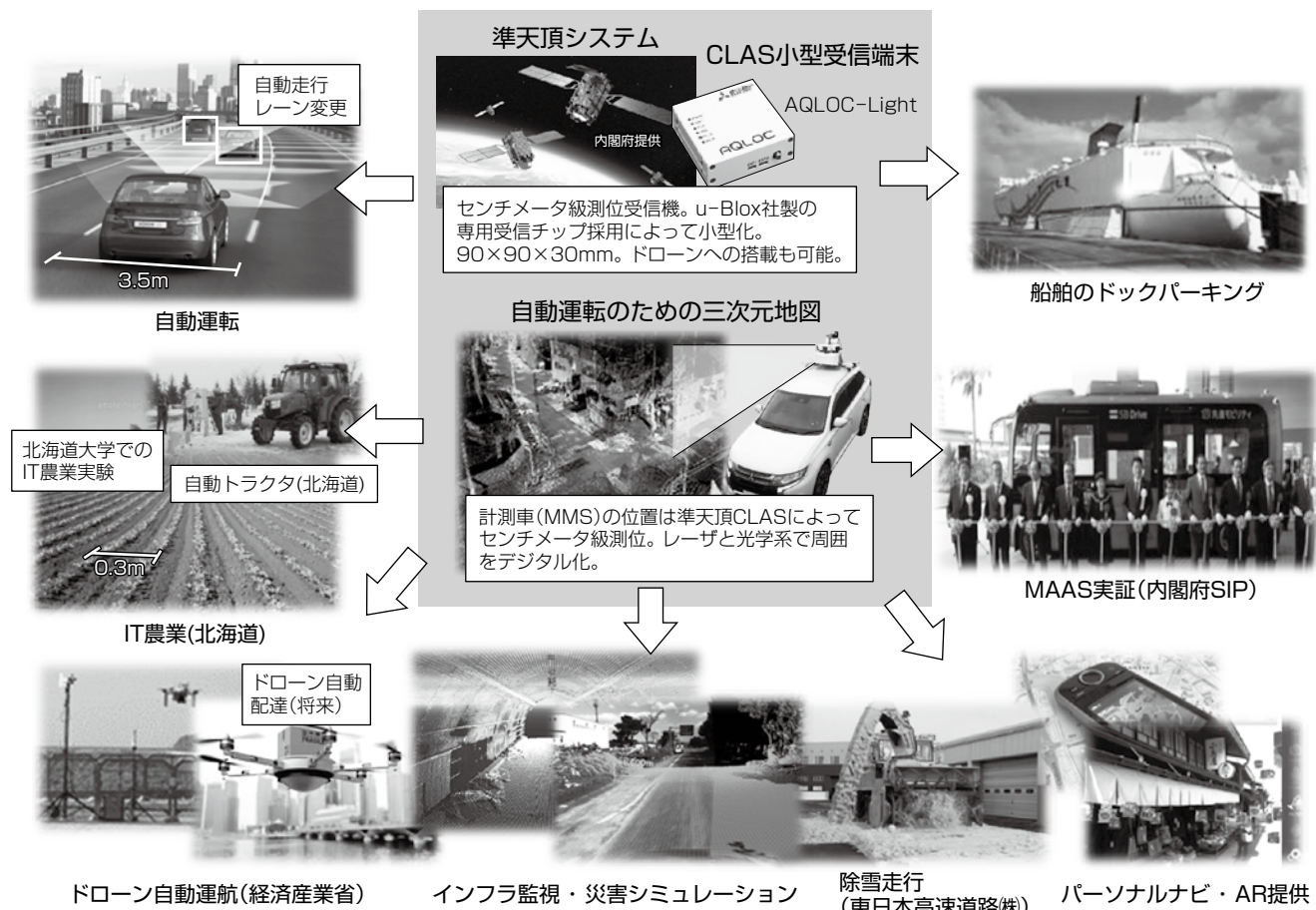


図4. 測距誤差種類と各補強方式の特徴<sup>(4)</sup>



MMS：三菱モビルマッピングシステム、MAAS：Mobility As A Service、SIP：戦略的イノベーション創造プログラム、AR：Augmented Reality

図5. センチメータ級測位システムによる社会の高度化・自動化

自動走行は、GNSS(Global Navigation Satellite System)の測位衛星群や地上測位システム、CLASシステムなどの宇宙側インフラだけでなく、ユーザー側インフラである三次元地図生成・維持やセンチメータ級測位受信機、車載ミリ波装置、移動体、センサ、IT、アプリケーションを含めたシステムである。図5に当社が開発したCLAS小型受信端末や三次元地図によって社会の高度化・自動化や安心・安全の向上に貢献するためのアプリケーションを示す。当社は衛星から端末・利用形態を含む総合的なソリューション提供を目指している。

### 3. 地球規模の課題解決

Society5.0で定義されている地球規模の課題解決に関しては周回観測衛星による地表・海面・大気観測によって、地球規模の環境変化監視への大きな貢献が可能である。2.1節で示したALOSシリーズによる高精度観測も防災だけではなく土地被覆・氷床・森林・地形変化等の地球環境の変化を光学センサやレーダで定期的にモニタすることで貢献しているが、当社がJAXAと継続的な開発・運用を行っている

表2. AMSRシリーズの性能向上比較

| 周波数<br>(GHz)           | バンド幅<br>(MHz) | 偏波  | 空間分解能 (km) |         |         |
|------------------------|---------------|-----|------------|---------|---------|
|                        |               |     | AMSR       | AMSR-E  | AMSR-2  |
| 6.925<br>(AMSR2は7.3追加) | 350           | V/H | 50         | 43.0    | 35      |
| 10.65                  | 100           |     | 50         | 29.0    | 24      |
| 18.7                   | 200           |     | 25         | 16.0    | 14      |
| 23.8                   | 400           |     | 25         | 18.0    | 15      |
| 36.5                   | 1,000         |     | 15         | 8.2     | 7       |
| 89.0                   | 3,000         |     | 5          | 3.5     | 3       |
| 50.3                   | 200           | V   | 10         | —       | —       |
| 52.8                   | 400           |     | 10         | —       | —       |
| 観測幅                    |               |     | 1,600km    | 1,450km | 1,450km |

AMSR(高性能マイクロ波放射計)シリーズは、“無線技術”によって地表及び大気から自然放射される微弱電波を多周波のマイクロ波(7~89GHz)で受信し、水蒸気量、降水量、海面温度・風速、輝度温度等の水循環に関する地球物理量の観測で大きな貢献をしている<sup>(5)</sup>。表2にAMSR、米国Aquaに搭載したAMSR-E、水循環変動観測衛星しずく(GCOM-W1)で運用中のAMSR-2の主な性能向上比較を示す。近年では気象衛星データとともにAMSR-2の輝度温度による数値気象予報精度の向上や台風の内部構造

| センサ名   | 衛星名            | 2000～          | 2010～  | 2020～ |
|--------|----------------|----------------|--------|-------|
| AMSR   | みどり2号(ADEOS2)  | ■2002～2003     |        |       |
| AMSR-E | Aqua(米国衛星)     | ■2002～2015     |        |       |
| AMSR-2 | しずく(GCOM-W1)   |                | ■2012～ | 運用中   |
| FTS-1  | いぶき1号(GOSAT-1) | 衛星システムを担当      | ■2009～ | 運用中   |
| FTS-2  | いぶき2号(GOSAT-2) | センサFTS-2と衛星を担当 | ■2018～ | 運用中   |

FTS : Fourier Transform Spectrometer

図6. AMSRシリーズ, GOSATシリーズの運用

の観測, 高層水蒸気量による進路予測精度向上への貢献, また水産庁海洋技術室ではAMSR-2の海面水温データによって, ほかの海洋環境データと統合して中長期の漁海況予報に役立てている<sup>(6)</sup>。

当社が開発を担当したAMSRシリーズと温室効果ガス観測技術衛星(いぶき1号は衛星, いぶき2号は衛星及び温室効果ガス観測センサ2型を担当)の運用状況を図6に示す。長期にわたる継続的運用によって地球規模の温室効果ガスや水循環などの環境変化監視に貢献している。

#### 4. “持続的成長”の実現

“持続的成長”のためには地球環境維持を優先しつつ, 先端技術による経済成長を両立させる必要がある。5G等で通信量が飛躍的に増大する時代は目前であるが, “宇宙利用技術”“無線技術”によって占有帯域・電力・質量等の衛星リソースを従来衛星と同一規模に抑制しつつ, 全体通信量を100倍以上に飛躍的に増大できるHTS(High Throughput Satellite), さらにそのデジタル化が始まっている。図7に示すとおり, 供給サイドの全通信量は2023年に20Tbpsを超える予測も示されている。当社は従来型通信衛星(アナログ中規模HTS, 化学推進系)に関して実績を持つが, さらに“①デジタルペイロードによって周波数変換・接続・帯域・覆域・軌道位置をソフトウェアで再構成可能にするSoftware Defined Satellite”“②全電化推進系による打上げ質量削減(静止衛星で化学推進衛星のおおむね1/2)”を組み合わせた新しい通信衛星を早期に実現する必要がある<sup>(7)</sup>。技術試験衛星9号機プログラムでJAXA・総務省と連携してこれらの開発を進め, さらに欧米各社の最新動向も取り入れつつ新規技術の獲得及び事業推進を実施していく。

また宇宙利用の“持続的成長”の別の分野として, 民間運用に移行する宇宙ステーションに代わる2020年代の国際

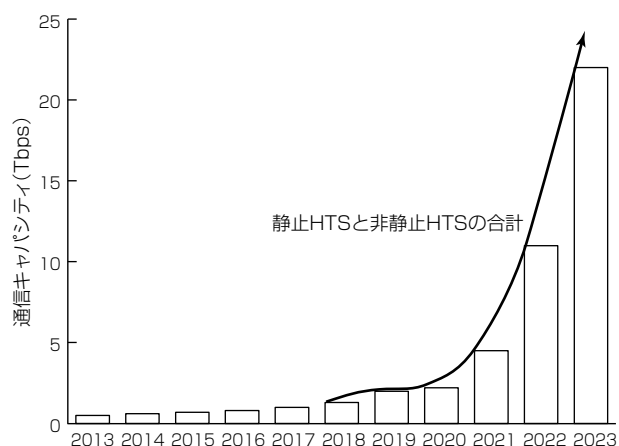


図7. 急拡大するHTSスループット  
(Euroconsult Group, 23<sup>rd</sup> Summit for Satellite Financing @Euroconsult 2019)

協力プログラムである月周回ステーションGatewayや月面基地, さらに火星実利用がある。多くのプログラムで培った無人輸送技術・ランデブ技術, さらに遠隔高速通信, ロボティクス等を活用してこれらのプログラムに貢献する。

#### 5. む す び

Society5.0で示された“国及び国民の安全・安心の確保と豊かで質の高い生活の実現”“地球規模の課題への対応と世界の発展への貢献”“持続的な成長と地域社会の自律的な発展”に対して, 宇宙利用・無線技術を中心に当社が貢献する事業と最新技術について述べた。自動化・無人化・高精度化をキーワードに, 要素技術とともに今後ますます重要となるシステム全体のソリューション構築に取り組んでいく。

#### 参考文献

- (1) 内閣府閣議決定：第5期科学技術基本計画本文  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>
- (2) 宇宙政策委員会：宇宙産業ビジョン2030 (2017)  
[https://www8.cao.go.jp/space/public\\_comment/vision2030.pdf](https://www8.cao.go.jp/space/public_comment/vision2030.pdf)
- (3) 岡田 祐, ほか：広範囲かつ高分解能な地球観測を実現する先進レーダ衛星ALOS-4, 三菱電機技報, 92, No.2, 125～128 (2018)
- (4) 廣川 類, ほか：準天頂衛星システムセンチメートル級測位補強サービス, 三菱電機技報, 91, No.2, 101～104 (2017)
- (5) 野口龍宏, ほか：高性能マイクロ波放射計2 (AMSR2) 観測データの利用と評価—世界に冠たるAMSRシリーズの実績—, 三菱電機技報, 88, No.2, 135～138 (2014)
- (6) 三野雅弘：漁業利用ニーズと水産について, GCOM-Wの成果と後継ミッション利用展望ワークショップ (2017)  
[https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM\\_W/materials/ws\\_shizuku\\_may2017//2-1\\_sanya.pdf](https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_W/materials/ws_shizuku_may2017//2-1_sanya.pdf)
- (7) 関根功治, ほか：静止衛星標準バス“DS2000”の開発と今後の指針, 三菱電機技報, 90, No.2, 115～118 (2016)