宇宙技術の変遷と将来展望

電子システム事業本部 宇宙システム事業部長
蒲地安則

1. まえがき

2008年の宇宙基本法の成立，2009年の宇宙基本計画の制定によって，宇宙開発はこれまでの“研究開発主導から高い技術力の上に立った利用ニーズ主導に転換”することが示され，我が国は新たな“宇宙利用”時代に入った。また，2013年１月に改訂された宇宙基本計画では，宇宙利用の拡大と自律性の確保が基本方針として定められるとともに，国民生活の質の向上，産業の振興を含めた６つの基本理念が示され[1]，いよいよ国を挙げての本格的な宇宙利用の時代が始まっている。我が国は長い年月を費やして欧米へのキャッチアップを目指して宇宙技術の開発に取り組んできたが，今後は蓄積してきた技術を活用し，宇宙の利活用に資する技術開発，及び宇宙分野における産業化が求められる新たな段階にきている。

本稿では，宇宙事業をとりまく環境について述べたあと，それらの事業環境に対する当社の取組み，今後の宇宙利用にかかわる技術や事業の展望について述べる。

2. 宇宙事業をとりまく環境

2.1 宇宙開発の歴史と環境変化

我が国の宇宙開発の歴史は，ロケットは東京大学によるペンシルロケット発射が行われた1950年代，人工衛星は我が国初の人工衛星“おおすみ”の開発が始まった1960年代にさかのぼる。以来，約60年にわたり宇宙科学研究所（現JAXA ISAS），宇宙開発事業団（NASDA，現JAXA）等を中心とした国による宇宙開発が進められてきた。ロケット分野では，大型衛星の打上げに対応可能なH-IIAロケットやH-IIBロケット，2013年９月に試験機が打ち上げられた小型衛星向けのイプシロンロケットなどの開発に成功し，高い信頼性と成功率を誇っている。衛星分野では，用途に合わせて通信・放送，測位，観測等の様々な分野の衛星を製造・開発できるまでに技術を高めてきた。

その宇宙開発の歴史の中で，大きく４つの環境変化があった。第一に，1988年に国際宇宙ステーション（ISS）計画への参画が決まり，一定規模の予算（年間400億円規模）が投入されることになって政府の宇宙関連予算の構造が大きく変動した。第二に，1990年の日米衛星調達合意（スーパー301条関連）によって政府の実用衛星（気象，通信・放送衛星等）の公開調達が義務付けられ，宇宙開発機関は研究開発衛星に特化せざるを得ず利用省庁との連携が弱くなるとともに，我が国の実用衛星市場は技術，価格等で先行する米国メーカーに席捲（せっけん）されることになった。第三に，1998年のテポドン発射を機に安全保障気運が高まり情報収集衛星の導入が決定し，気象衛星に続く国家インフラとなったことである。これら３つは全て外部要因による市場環境の変化だが，第四の環境変化は，自国の政策として2008～2009年に宇宙基本法／基本計画が制定され“開

図１．当社宇宙事業の全体像

発”から“利用”への大きな転換がなされたことではないかと考えている。

2. 2　宇宙産業の市場規模

我が国の宇宙産業規模の大部分を占める宇宙関連政府予算は，年度によって増減はあるもののおおむね年間3,000億円規模で推移している。2009年策定の宇宙基本計画では“5年間で2兆5千億円の経費が必要”と宇宙予算規模の倍増を目指したものの，2013年に改訂された宇宙基本計画では国の厳しい財政状況を踏まえ今後も大幅な増加は厳しいとの認識が示されており，当面は横ばい傾向が続くものと思われる。

一方，日本を含む世界の商用通信衛星市場は，20～25機/年の需要で推移しており[(2)]，規模としては安定的な市場と言える。宇宙産業市場は，①通信・放送，②測位，③観測の3分野に大別されるが，通信・放送分野は58％と最も多くの需要が見込まれる市場である[(3)]。当社としても主戦場と位置付けているが，欧米メーカーがひしめく極めて厳しい市場であり，技術開発競争が進んでいる分野である。

3.　事業や技術の変遷

3. 1　当社宇宙事業の全体像

現在の当社宇宙事業は大きく“衛星システム”と“地上システム”で構成している。その概要を**図1**に示す。このうち衛星システムは“通信・測位・観測分野の幅広い製品群によって，グローバルな社会インフラ構築に貢献”をスローガンに事業を推進している。まず，通信衛星分野では2000年代から欧米メーカーとの競合下で“MTSAT-2”（ひまわり7号機），“スーパーバードC2号機”，シンガポール・台湾向け“ST-2”及びトルコ向け“TURKSAT-4A/4B”を受注した。測位衛星分野では準天頂衛星初号機“みちびき”を開発したほか，2013年3月には4機体制を目指した2～4号機を受注し，2017年から順次打上げに向けて開発を進めている。また，観測衛星分野では“いぶき（GOSAT），GOSAT-2”“だいち2号”（ALOS-2），気象衛星“ひまわり7・8・9号”などを開発し，地球温暖化防止，災害監視，気象予報などに貢献している。現在では，開発中も含め当社が製造を取りまとめた衛星は58機を数える。

地上システムに関しては衛星，ロケット追跡用の地上管制局，天文観測用の光学・電波望遠鏡をグローバルに事業展開している。まず，地上管制局ではJAXA向けに衛星追跡管制用ネットワークシステム，深宇宙探査用64mアンテナ設備等を開発し，人工衛星と管制局のトータルシステムを提供することができる。望遠鏡では1980年代から大型望遠鏡を開発し，一枚鏡としては世界最大級の口径（8.2m）を持つ“すばる望遠鏡”（米国ハワイ），高精度な観測を実現するため高い鏡面精度と指向精度を誇る“ALMA ACA”（チリ）などを納入したほか，口径30mの次世代大型望遠鏡“TMT”プロジェクトへ参画が決まり，宇宙誕生のなぞの解明などサイエンスの発展にも寄与している。

3. 2　当社宇宙事業のあゆみと市場変化への対応

当社は1960年代から宇宙事業に携わり，搭載機器としては1965年に米国TRW社からインテルサットⅢ号機搭載電力機器を受注し，衛星システムとしては1969年に当時のNASDAから電離層観測衛星（うめ）を受注し事業を開始した。当初は国産技術による技術試験衛星開発と海外からの技術導入による実用衛星の開発が中心であった。技術試験衛星に関しては，新規技術の開発・実証を通じて実用衛星における国産化率を高める役割を担った。当社は“きく2号”（ETS-Ⅱ），“きく3号”（ETS-Ⅳ），“きく8号”（ETS-Ⅷ）などの開発を担当した。一方，実用衛星では，気象衛星を日本電気㈱，放送衛星を㈱東芝，通信衛星を当社がそれぞれ異なった米国メーカーの支援を受け開発を行った。通信衛星は“さくら”（CS）に始まる“さくらシリーズ”であり，**2. 1節**で述べた1990年に日米衛星調達合意がなされる

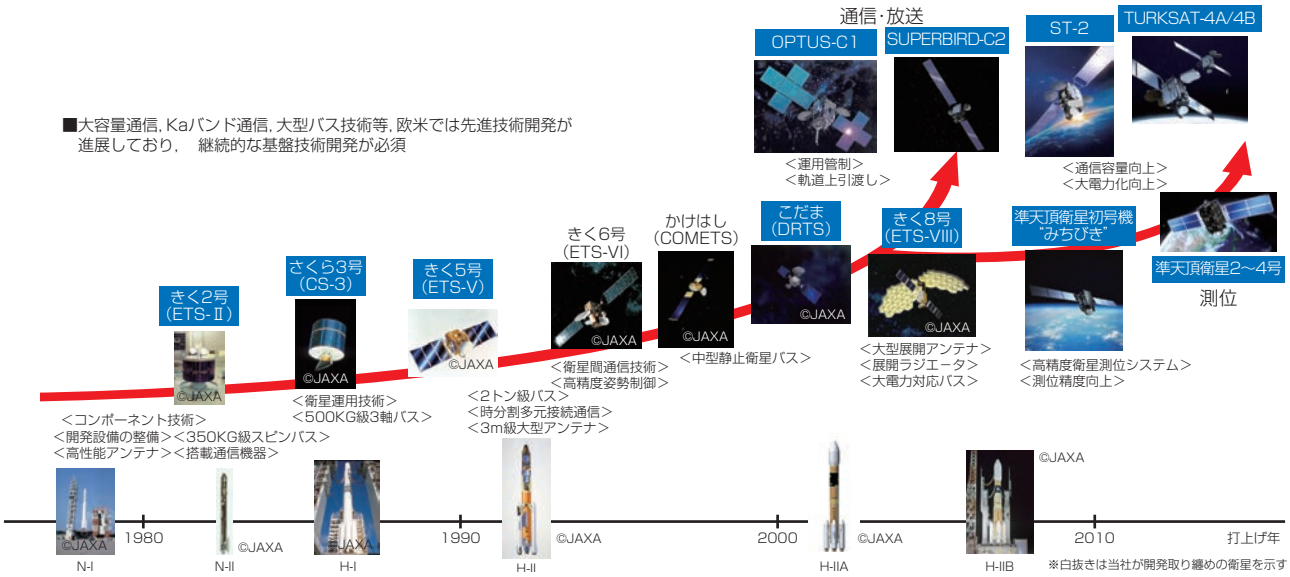

図2．通信・放送，測位分野の技術進展

前の“さくら３号-3a，-3b”（CS-3a，-3b）まで当社が開発を担当した。

2. 1節の市場環境の変化に対して，当社としては次のような取組みで事業規模の確保・拡大を図ってきた。まずISSへの参画に関しては，当社が持っていた電源技術をベースに“日本実験棟きぼう”（JEM）の電源系を担当した。また“宇宙実験・観測フリーフライヤ”（SFU），“おりひめ／ひこぼし”（ETS-Ⅶ）の誘導制御技術をベースに“こうのとり”（HTV（H-Ⅱ Transfer Vehicle））の航法誘導制御系を含む電気モジュールを担当し，一定の事業規模を確保してきた。日米衛星調達合意に対しては，後述する中型衛星市場向け標準衛星バス“DS2000”を開発したほか，1999年に衛星組立て・試験棟を整備して商用衛星市場に本格参入した。その後の宇宙基本計画制定に対しては，新たな国家実利用インフラとなる準天頂衛星システムのプロジェクト化を産業界として提言し，当社としてプロジェクトへの参画を果たした。このように，当社は研究開発衛星で培った技術を実用衛星の分野に応用し宇宙インフラの構築に貢献するなど，市場環境の変化に対応して事業を展開してきた。

当社宇宙事業の売上としては，1990年頃には約100～200億円規模で，研究開発衛星と衛星搭載機器の販売が中心の小規模事業であった。その後，市場環境の変化を捉えた事業展開によって，官需の確固たる事業基盤に加えて商用事業を拡大し近年では800億円を超える規模にまで成長してきた。

事業規模の更なる拡大を見据えた設備投資として2013年３月には衛星組立て・試験棟を増築し，年間生産能力４機から８機への倍増を実現した。加えて，拡販体制の整備に取り組んでおり，2013年７月にシンガポールに海外営業拠点を設置，アジアパシフィック，中東地域を当面のターゲットとして事業拡大を目指している。

3. 3　当社宇宙技術の変遷

3. 2節で述べた事業展開を進める中で，当社は各分野の宇宙技術を蓄積してきた。通信・放送，測位分野では**図２**のとおり，さくら（CS）シリーズ，“きく２号”に始まり，“こだま”（DRTS），“きく８号”の開発を進める中で，熱制御・構造技術，３軸姿勢制御技術，衛星間通信技術，中型静止衛星バス技術などを獲得してきた。特に“こだま”“きく８号”の開発成果をベースに社内開発を加えてDS2000を確立，標準化を推進することで競争力強化を実現した。このDS2000を戦略機種として国内外の商用通信衛星市場に参入し，現在ではDS2000を採用した衛星は16機を数える。更に，標準衛星バスシリーズのラインアップ拡充に取り組んでおり，商用事業の拡大をねらっている。

観測分野では，**図３**のとおり“もも１号”（MOS-1），“ふよう１号”（JERS-1）などの開発を通じて，３軸姿勢制御技術，高精度姿勢制御技術などを獲得してきたほか，光学センサ，電波センサなどの搭載センサ開発によって，高精細，高分解能観測技術を高めてきた。高性能マイクロ波放射計“AMSRシリーズ”は，“AMSR”，“AMSR-E”，“AMSR2”と改良を進め，AMSRシリーズの観測データは世界の研究者に広く活用されている。

また**図４**のとおり，誘導制御技術は前述したとおり“SFU”“おりひめ／ひこぼし”の技術をベースに“こうのとり”の航法誘導制御系として確立し，今後は月面着陸などの技術への応用が期待されている。

地上システムでは，**図５**のとおり臼田宇宙空間観測所の“深宇宙探査用64mアンテナ”の開発を通じて大型アンテナの高精度駆動制御技術を確立したほか，“すばる望遠鏡”では口径8.2mの世界最大級の大型一枚鏡を実現した。大型アンテナ・望遠鏡分野における国内トップメーカーとして，“ALMA”“TMT”などの国際プロジェクトへ参画し，事業を展開している。

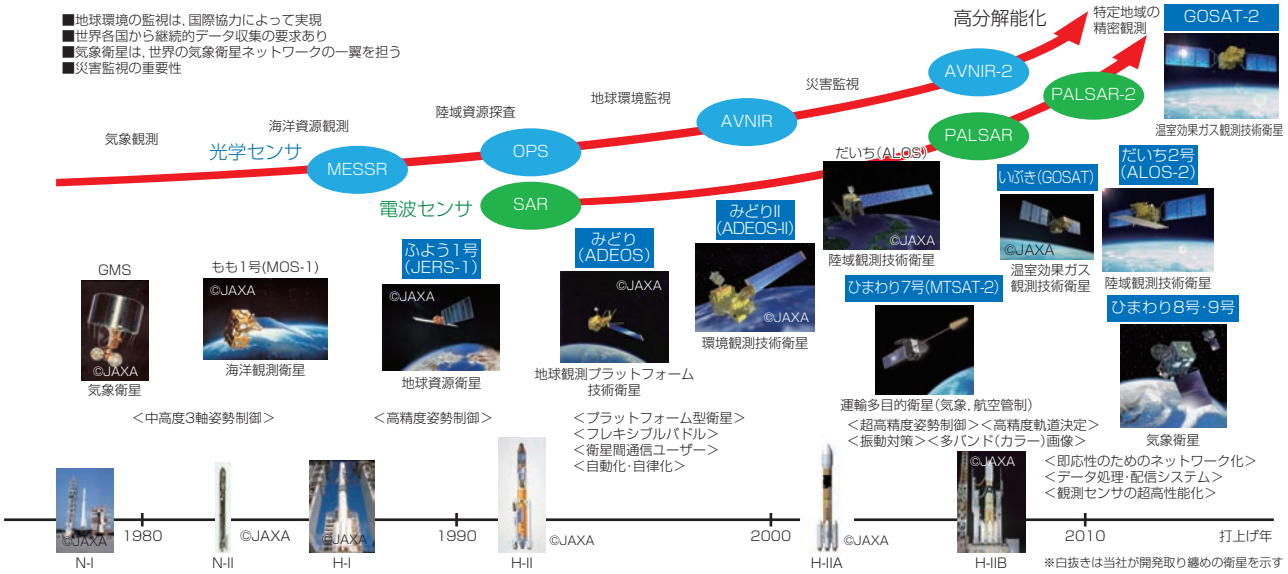

図３．観測分野の技術進展

4. 今後の展望

4.1 宇宙利用の現状

宇宙事業はこれまでの研究開発から宇宙利用の時代となる中で，通信・放送，観測，測位の各分野で宇宙利用が広がっている。

通信・放送分野は，衛星放送，移動体通信，離島通信，非常時通信等，衛星のメリットを活用し，地上の通信インフラを補完する役割として広く普及している。また，同報性，耐災害性，インフラ整備の容易性は地上通信インフラと比較して衛星通信が有利な点であり，特に新興国や離島の多い国では地上インフラに先行して普及しているケースも多くある。

気象衛星としてなじみのある“ひまわり”は，通信衛星と同様に実用化されてから久しく，観測画像は我が国のみならず，アジア・オセアニア地域の国々でも利用されており，気象予報に欠かすことのできない重要な宇宙インフラの一つとなっている。地図作成や地表面の観測等，国土管理情報の取得では，従来の航空機に加えて観測衛星の利用が進んでいる。観測衛星は，初期投資が相対的に大きいものの，広域の画像を安定的に取得できるという大きなメリットがあることに加え，合成開口レーダの場合には昼夜，天候に左右されることなく高品質の画像が取得できるという利点もあり，国内外で商用の衛星画像販売サービスも広がりつつある。

測位分野での利用は，米国の測位衛星システムであるGPS(Global Positioning System)の民生利用開放もあり，我が国では早くから普及している。カーナビゲーションが一般的に利用されているほか，スマートフォンにGPS機能が標準搭載されるに伴い，位置情報が種々のアプリケーションで活用され始めており，その利用は今後ますます広がるとみられている。

4.2 宇宙利用の展望

4.2.1 通信・放送分野

衛星通信の動向としては，Kuバンドが周波数制約上飽和状態にある中で，新規の大容量通信需要を満たすKaバンドマルチビームによるHTS(High Throughput Satellite)が注目されている。Ka帯通信需要は急増する傾向にあり，既に米国では100Gbpsを超えるKaバンド衛星が打ち上げられており，さらにその倍のスループットの衛星の調達を開始している。このような大容量通信を実現するための技術として，衛星バスの大型化，マルチビーム技術，及びフレキシブルペイロード技術が求められている。フレキシブルペイロード技術によって，衛星打上げ後であっても利用者の増減に合わせて各サービスエリアへの通信容量を変更することができる。当社ではそのキー技術となるチャネライザの開発に着手し，2013年に開発を完了している。引き続き，これらの先進技術開発競争が進む市場動向に対応し，商用通信衛星の受注につなげていきたい。

4.2.2 観測分野

観測衛星の画像利用が進んでいるものの，画像データが高価であることから，現時点では官公庁などのユーザーによる利用が中心となっている。また，国内の観測衛星は，陸地の観測を行い災害状況把握などに貢献する“だいち”(2006年打上げ)“だいち２号”(2014年打上げ)，温室効果ガスの濃度分布を測定する“いぶき”(2009年打上げ)，地球規模での気候変動，水循環メカニズムを解明する“しずく”(2012年打上げ)等が打ち上げられ，軌道上で運用されているが，いずれも研究開発を主目的とした衛星であり，限られた範囲での利用にとどまっている。観測データをより実用的に，かつ継続的に利用するためには，単独の衛星では観測頻度が十分ではなく，運用終了後はデータ取得に空白が生じるデータの継続性などの課題があり，複数衛星コンステレーションによる観測衛星インフラの整備が必要

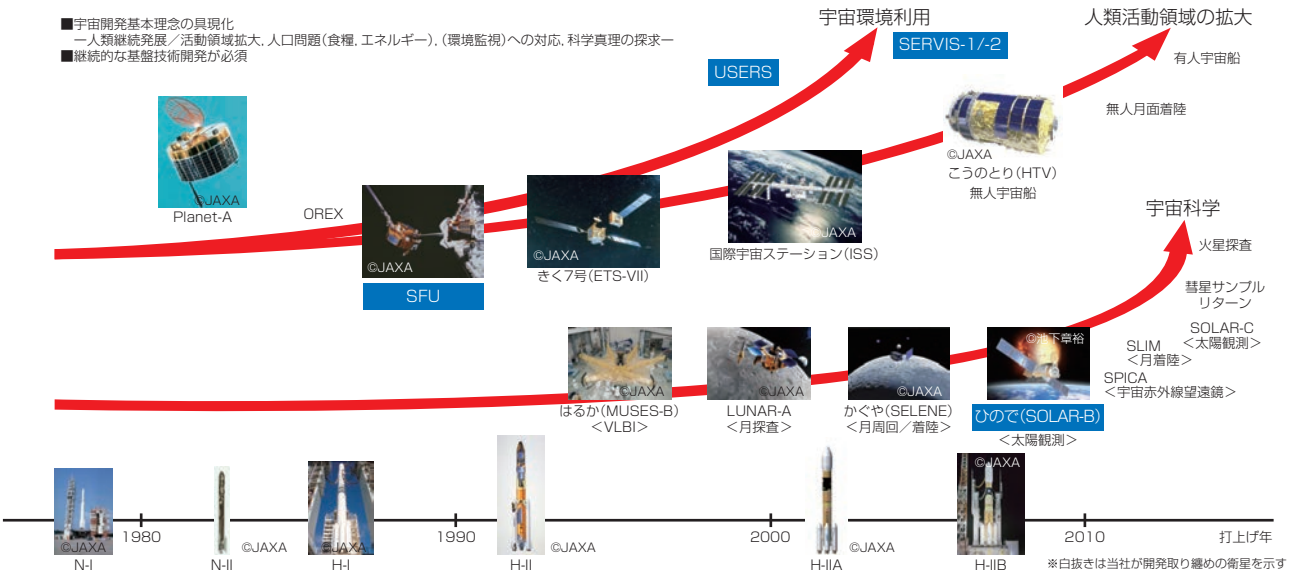

図４．宇宙科学，輸送分野の技術進展

である。政府でも同様の課題認識のもと，複数の衛星による一体的な運用を行う“広域災害監視衛星ネットワーク”の実現に向けた調査検討が開始されており，早期の立ち上げに大いに期待している。

4.2.3 測 位 分 野

GPSによる測位は現時点で10メートル程度の誤差があるため，地図上への位置表示や周辺情報の提供等，概略位置を前提としたサービスにとどまっているが，我が国ではより高精度な測位衛星インフラを目指して“準天頂衛星システム”の整備が内閣府によって開始され，当社は衛星システム３機，地上の衛星管制設備などの開発を担当している。この準天頂衛星はセンチメータ級の測位精度の実現が可能で，測位利用が飛躍的に広がるものと考えている。

例えば交通分野では，自車の走行車線が明確に把握できるようになるため，カーナビゲーションによるきめ細かいアシストが可能となり，頻繁に標識確認と車線変更をしなければならない都心部の高速道路もストレスなく運転できるようになる。また，我が国の高齢化の影響として大きな懸念の１つとなっているのが，高齢運転者による自動車事故の増加である。自動車の安全性の向上を目指し，各自動車メーカーで自動ブレーキ機能の開発が進められているが，究極的な解決方法の１つは自動運転機能であろう。昨年，米Google社が開発している自動運転技術が話題となり，我が国でも東京モーターショーで各自動車メーカーがデモンストレーションを実施するなど，動きが活発になってきている。今後，技術開発が更に加速されていくと思われるが，実用化に向けては，自動車と各種インフラの協調が重要であり，路車間通信や高精度測位がキー技術となる。

また，高齢化とともに農村の過疎化も深刻になっている。この労働力不足の解決策の１つとして期待されているのが無人作業化である。センチメータ級の高精度測位を利用することによって，トラクタなどの農機の自動運転が可能となり，人手をかけずに昼夜を問わず種まきや農薬散布，刈り入れ等が可能となる。農機の制御技術や，安全性の確保など，解決すべき課題はあるが農作業の省人化・効率化に大きく貢献することが期待される。

準天頂衛星システムは，2018年度からのサービス開始に向けて開発が進められているが，高精度測位を支えるセンチメータ級測位補強技術は，既に初号機の“みちびき”に導入されている。2010年の打上げ以降，“みちびき”を用いた自動車走行時の測位精度の測定実験のほか，将来の自動運転につながる隊列走行実験，無人トラクタによる稲刈り等の各種実証実験が既に実施されており，良好な結果が得られている。今後も引き続き実証実験が計画されており，それらの実験を通じて各分野への応用が広がることが期待される。

4.3 宇宙インフラ技術開発における課題

宇宙利用の推進には，宇宙インフラの構築・維持を見据えた継続的な技術開発が重要であるが，欧米に比べて我が国における取組みは必ずしも十分ではないのが実状である。海外での官民連携による宇宙インフラ構築への取組み事例として，欧州では事業化を視野にEU内利用要求に基づき，ESA（欧州宇宙機関）主導で研究，開発を実施，事業化機関の立ち上げ・利用を国が“公的”に推進している。通信（Eutelsat），測位（Galileo），観測（Spot）等の各事業は，初期導入期間の後，サービスとして一般化された段階で事業を民営に移行している。また，通信･放送衛星では大型化需要の増加に伴い，欧米各メーカーは政府投資による技術開発・実証をベースに大型衛星への対応を着実に進めつつある。このように欧米では産業化に向けて官民連携による出口を見据えた“研究→開発→事業化→産業化”の一貫した流れと，実利用側から研究開発へのフィードバックのサイクルを加えた仕組みが整備されている。

一方，我が国における測位，観測，通信・放送の各分野

図５．地上システムの技術進展

における状況を**図6**に示す。測位分野では準天頂衛星システムの整備が開始されており，今後継続的なインフラ整備に向けて官民で連携していく。観測分野では，政府で検討されている災害監視などの社会インフラに資する“広域災害監視衛星ネットワーク”構想が検討されているが，現在のところ研究・開発段階にとどまっており，事業化，産業化には至っていない。官民連携によるインフラ実現を進めていきたい。通信・放送分野では，既に事業化・産業化のフェーズにあるが，海外の技術に依存するところが大きく，実利用側から研究開発へのフィードバックが不十分と言える。今後の実用を見据えた次世代技術の研究開発・実証機会の創出が必要と考えている。

我が国でも，官民連携による“研究→開発→事業化→産業化”の一貫した流れの構築，実利用側から研究開発へのフィードバックのサイクルを加えた仕組みを確立することで，宇宙利用インフラの発展・活性化，及び技術開発の推進につながるものと考える。

4.4　当社事業の展望

当社では，宇宙事業の売上目標として現在の800億円規模から2020年度には1,500億円を掲げて事業を展開している。国内の市場規模の大幅増は期待できない状況ではあるが，次の２つの施策を推進し規模拡大を図っていく。１つは，限られた国家予算の中で日本として持たなければならない宇宙インフラは自前で整備できるよう政府宇宙機関への開発提案及び共同開発を推進する。宇宙インフラの整備によって“産業振興”はもとより宇宙基本計画の基本方針である“宇宙利用の拡大”“自律性の確保”に寄与できると考えている。当社としても，宇宙インフラ整備を通じて標準化，共通化を進め，競争力強化を図っていく。２つ目は国内の技術開発によって競争力を高めた製品を積極的に海外市場へ投入し，世界最先端レベルでの競争を継続的に展開していく。これによって国内外の市場で海外メーカーとの競争を制し，事業規模拡大を果たしていく。

5. む　す　び

当社はこれまで約50年にわたって宇宙事業を展開し，宇宙技術を培いながら，我が国の宇宙開発の一端を担ってきた。これからも宇宙インフラ構築によって国内に新しい需要を創出し，更に海外需要を獲得し，国際競争力のある活力に満ちた宇宙産業にすることで，社会の発展に貢献していく。

参 考 文 献

(1)　宇宙基本計画：平成25年1月25日 宇宙開発戦略本部決定
(2)　FAA Commercial Space Transportation（AST）and the Commercial Space Transportation Advisory Committee（COMSTAC）：2013 Commercial Space Transportation Forecasts
(3)　（社）日本航空宇宙工業会：平成24年度宇宙産業データブック

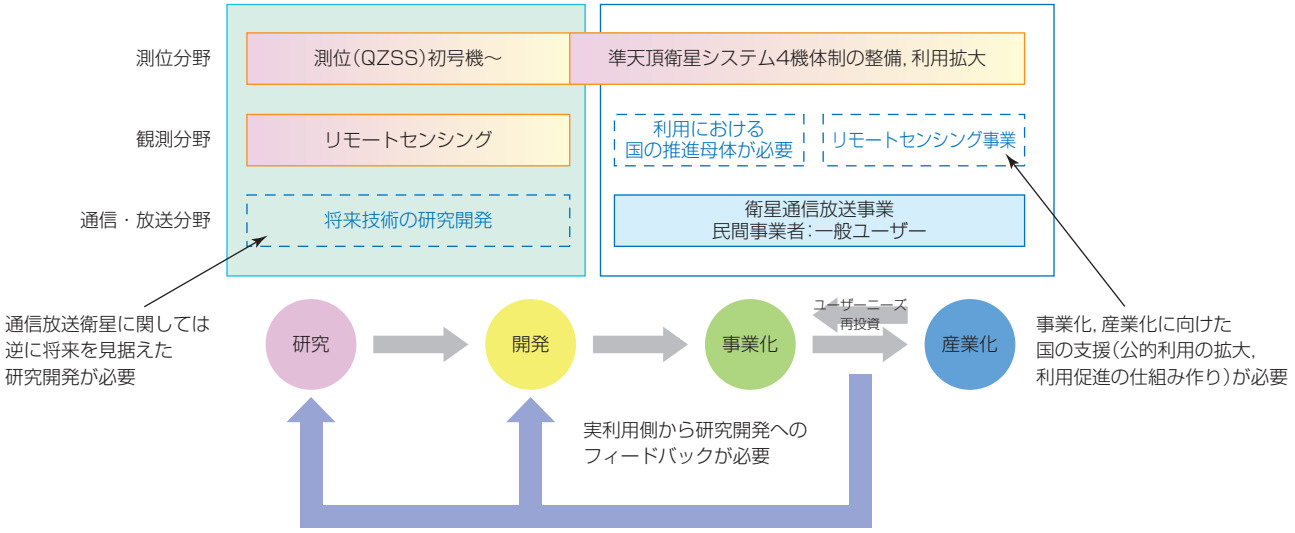

図6．我が国の宇宙インフラの現状