

巻頭論文

宇宙利用の技術動向と事業展開  
—世界の衛星リーディングカンパニーを目指して—



関根功治\*



小山 浩\*\*



岡田賢二\*\*\*

Technical Trends in Space Based Utilization Business—Aiming the Satellite Leading Company in the World—  
Koji Sekine, Hiroshi Koyama, Kenji Okada

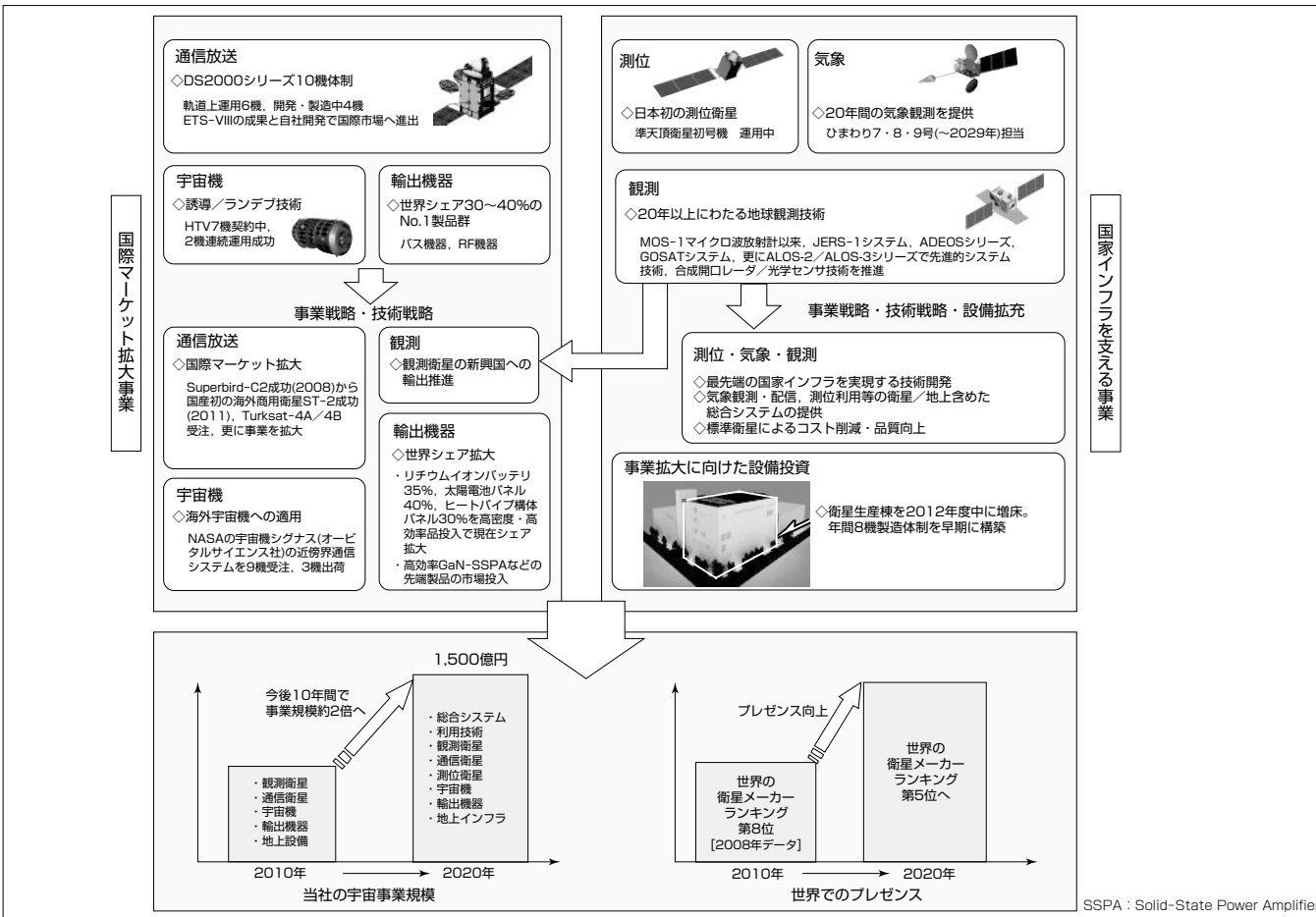
要 旨

三菱電機は1970年代の宇宙開発黎明(れいめい)期から現在まで450を超える国内外の宇宙プログラムに参画し、人工衛星や宇宙機を通して地球観測・通信放送・宇宙輸送・気象観測・測位・天文等の様々なミッションを提供してきた。一方、2008年5月の宇宙基本法制定以降“経済的かつ戦略的な宇宙利用”という新たな方向性が示され、企業としてもより実利用に重きをおいた宇宙インフラを国際競争力のある品質とコストで提供することが求められている。市場という観点で世界に目を転じると、従来型の技術開発衛星や堅調な商用衛星需要とともに、先進国で計画中又は整備中の通信・測位・観測の衛星コンステレーションや経済発展する多くの新興国の衛星需要が大きく伸びているこ

とがわかる。

当社の事業規模は世界の衛星メーカーランキングで第8位(国内では衛星・ロケットを含め宇宙産業全体で第1位：2008年)であるが、これら国内外の動向を的確にとらえ、衛星単体の開発・提供だけではなく衛星を利用した総合システム開発を推進し、今後10年で世界の衛星リーディングカンパニーの一員としての地位を築いていきたいと考えている。

本稿ではこれら宇宙事業推進の核となる通信・観測・測位の宇宙三大利用事業に対する当社の取組みや今後の技術開発の状況を国際市場動向とともに述べる。



SSPA : Solid-State Power Amplifier

三菱電機の宇宙システム利用に関する取り組み

当社はこれまで450以上の宇宙プログラムで人工衛星や搭載機器を提供してきた。利用対象は通信放送、気象観測、測位、地球観測、宇宙輸送機等多岐にわたり、国内官需のみでなく国内外の民需へも静止衛星システム、地上システム、搭載機器を供給してきた。今後10年の世界需要は特に各国の宇宙インフラ関連で高い伸びが予想され、衛星を核とした全体システムの構築を中核事業の一つとして進めていく。

### 1. ま え が き

2008年の宇宙基本法制定及び2009年6月の宇宙基本計画制定以降、実利用を前提とする宇宙開発の実現に向け、様々な施策の検討が政府・民間で行われている。一方東日本大震災で地上インフラが喪失した被災地への衛星通信の提供<sup>(1)</sup>や観測衛星による災害状況の迅速な把握<sup>(2)</sup>の有効性が再確認され、両側面での宇宙インフラ構築と利用技術の重要性・緊急度が高まっている。これらの動向は世界の衛星市場でも明確に確認できる。図1に示すとおり2010年からの10年間の衛星打ち上げ予測機数は1,222機(\$194B)であり、過去10年の770機と比較すると約60%増の高い伸びを示している。①安全保障の衛星及び③商用衛星はほぼ横這(よこば)いであるが、②一般の政府系調達衛星が大きく伸びている。これは宇宙先進国における観測・測位等のコンステレーション計画の増大とともに新興国における通信・観測の衛星調達が大きく伸びていることが背景にある。当社としても研究開発衛星や商用衛星及び搭載機器の製品競争力強化・QCD(Quality Cost Delivery)向上によって欧米に伍(ご)していくとともに、日本、アジアを含めた②の需要にこたえるために通信・観測・測位における衛星・利用サービスに関する競争力を向上させ官民連携した宇宙外交とインフラ実現に貢献する。

本稿の2章で、商用静止衛星や先端通信分野での取り組みを述べ、3章で今後の観測インフラとして期待されるALOS-2(陸域観測技術衛星2号)の開発状況とALOS-3(陸域観測技術衛星3号)の計画を述べる。また、日本独自の測位システムとして運用が開始された準天頂衛星初号機“みちびき”の概要と測位補強技術、今後複数機整備による実利用サービスが期待される測位システムへの当社取り組みについて述べる。

### 2. 世界需要における商用衛星利用拡大に向けた取り組み

図2に今後の商用通信衛星の市場予測を示す。今後の世界の商用通信衛星需要は年間平均20機程度継続され、また、衛星規模は大型(14kW超)から中型(8~14kW)・小型

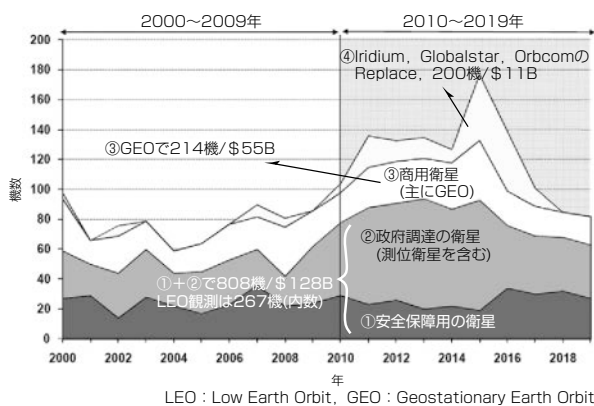


図1. 今後10年間の衛星界需要の推移<sup>(3)</sup>

(4~8kW)までほぼ3等分され、それぞれの規模で競争力を確保することが衛星事業として重要である。当社は(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)のデータ中継衛星(DRTS)、技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)での開発成果をベースに、長寿命化・低コスト化・短納期化・軽量化・マルチミッション化・耐故障性強化・ミッション継続性強化等のバス技術と高精度軽量アンテナ・通信ペイロード技術に関する商用衛星向け社内開発を実施し標準静止衛星プラットフォーム“DS2000”を2003年に確立した。DS2000は12kW級に最適化した中型タイプと8kW級までに対応した小型タイプがありこれらによって図2に示した年間約20機の商用衛星市場の約2/3の14機の小型~中型市場に適用することが可能である。

このDS2000によって国際入札の対象である静止衛星市場への対応を図り、現在までにMTSAT-2(ひまわり7号:国交省), Superbird-C2(スカパーJSAT株), ST-2(SingTel社/中華電信社)の受注及び軌道上の運用、ひまわり8・9号(気象庁), Turksat-4A/4B(Turksat社)の受注を果たしている。

表1に標準バスDS2000による宇宙利用サービスへの取り組みを示す。

一方、グローバルな衛星通信分野では新たな利用拡大に向け、通信システム高度化が進展している。従来型の固定ビームとスルー・リピータを利用した通信に加え、打ち上げ後のサービスエリアの変更、通信トラフィック変動等に対応し、ビーム形状、回線容量の変更可能なりコンフィギュラブル通信技術や、多数の地域への自在な通信と周波数再利用による広帯域化を可能とするマルチビーム技術(アナログ又はデジタルビームフォーミングと併用)を駆使した次世代通信システムの需要が高まっている。図3に中継器やアンテナパターンがチャネルごとに固定的な従来通信サービスと、マルチビームやデジタル技術(チャネライザ

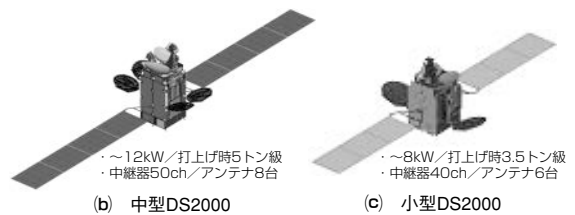
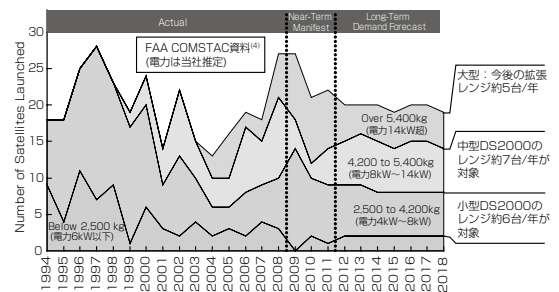


図2. 静止商用衛星の衛星規模別市場と対応するDS2000

やデジタルビームフォーミング)によってフレキシブルな通信システムを提供する次世代通信サービスの比較を示す。

また、表2に従来通信サービスと次世代通信サービスの特徴と必要な通信技術、及び当社のこれまでの取り組みを示す。従来のC/Kuバンド通信サービスとともに今後の市場で需要の高まるKaバンドサービスや移動体サービス(L/Sバンド)に付加価値の高い搭載ペイロード技術の開発によって事業拡大を図る。

表1. 標準バスDS2000による宇宙利用サービスへの取り組み

宇宙利用事業形態(使用回線)	FSS/BSS 固定通信放送 (C, X, Ku, Ka)	移動体通信 (L, S, Ku)	気象観測 (UHF, S, Ku, Ka)	測位準天頂 (L, C, Ku)	衛星間通信 (S, Ka)
対象顧客	国内外 商用・官需	国内外 商用・官需	国内 官需	国内 官需	国内 官需
事業推進に関する要件整理					
提供するサービス・ハードウェアの例	衛星・通信システム, ロケット調達, 衛星保 険, 静止化運用, 顧客 局管制システム	衛星, 通信 システム, 気象センサ, 画像処理, 配信システム	衛星, 通信 システム, 静止化運用, 顧客局管制 システム	衛星, 通信 システム, 静止化運用, 顧客局管制 システム	衛星, 通信 システム, 静止化運用, 顧客局管制 システム
当社による宇宙利用サービス適用例	Superbird-C2, ST-2, Turksat-4A/4B	ETS-VIII (注1), MTSAT-2 (ひまわり7号)	MTSAT-2 (ひまわり7号) ひまわり8・9号	準天頂衛星初号機みちびき, MTSAT-2 (ひまわり7号)	DRTS (注1)

(注1) 図: JAXA提供

### 3. 地球観測による宇宙利用の取り組み

JAXAは陸域観測技術衛星ALOS(Advanced Land Observing Satellite)“だいち”の後継機となるレーダ衛星ALOS-2を開発中及び光学衛星ALOS-3を計画中であるが、当社は主契約会社として衛星・センサ及び全体システムの設計を担当している。ALOS-2はLバンド合成開口レーダ(PALSAR-2)を、ALOS-3は広域でかつ高分解能の光学センサを搭載する衛星である。これらALOSシリーズの優れた特長として、ALOS-2は高分解能モードで3mの分解能と広い観測幅50kmを持ち、ALOS-3も直下視0.8mの高分解能と50kmの広い観測幅を持っている。海外の1mクラスの高分解能観測衛星の観測幅はレーダ・光学とも10~20km程度であり、ALOSシリーズは高分解能と広域観測の両立によって、災害監視・地図作成の観点から非常に際立った優位性を持っていることがわかる。

ALOS-2及びALOS-3の利用目的は、次の4点である。

- ①防災機関における広域かつ詳細な被災地の情報把握
- ②国土情報の継続的な蓄積・更新
- ③農作地の面積把握の効率化
- ④CO<sub>2</sub>吸収源である森林の観測による地球温暖化対策

特に①については内閣府・文部科学省による“防災のための地球観測衛星等の利用に関する検討会”による検討結果を踏まえて、利用要求が設定された経緯がある。

これらの利用目的のためにALOS-2及びALOS-3に求められることは、次のとおりである。

- ①夜間・悪天候でも観測可能なレーダ(ALOS-2)と視認性の高い光学センサ(ALOS-3)を具備
- ②我が国の災害規模を考慮した広域観測 SAR(Synthetic Aperture Radar), 光学とも次のよう

表2. 従来通信サービスと次世代通信サービスの特徴と必要技術、当社の取り組み

	サービスの特徴	必要な通信技術(当社の取り組み例)
従来通信サービス	シングルビームでパターンはエリアに固定(S/C/X/Ku帯等)	・高度鏡面修整技術 ・偏波共用/中継器広帯域(Ku/Cバンド: Superbird-C2, ST-2など)
次世代通信サービス(フレキシブルな通信システム)	マルチビームによる周波数有効利用。必要時に特定ビームへ周波数・電力を集中(L/S/Ka帯等)	・マルチビームアンテナ及びマルチポートアンプ等アナログ技術(Kaバンド: N-STAR a/b, MTSAT-2, Turksat-4A/4B) ・Digital BFN(Beam Forming Network)ペイロード技術
	高利得のビーム走査で任意の地域をサービス	・スキャンングスポット技術によるビーム走査 ・アクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA)技術(“きずな”KaバンドAPAA)
	中継器を任意の帯域を持つサブチャンネルにデジタル処理で分割しルーティング	・マルチキャリア信号を分波/合波して信号の周波数配置を並び替えるチャネライザ技術(社内開発)

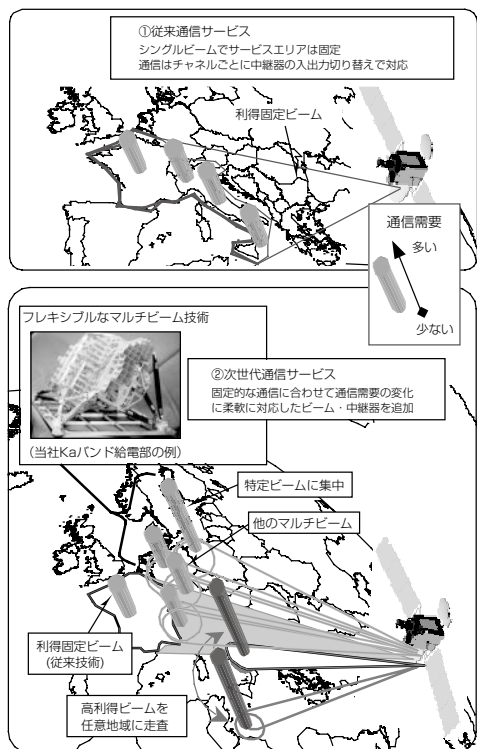


図3. 従来通信サービスと次世代通信サービスの比較



な広い観測幅確保を目標としている。

PALSAR-2の観測幅：モードによって25~490km

光学センサの観測幅：パンクロマティック直下視50km

③②と同時に、できるだけ高い分解能

SAR、光学とも次のような高分解能実現を目標としている。

PALSAR-2の分解能：モードによって約1~100m

光学センサの分解能：パンクロマティック直下視0.8m

④海外衛星等との組合せによる迅速な観測を考慮

⑤“だいち”運用からの継続性と更なる高品質プロダクトの提供

図4に、これらの要求に基づき設定されたALOS-2(レーダ)、ALOS-3(光学センサ)の観測全体システム構成を示す。また表3に主要諸元を示す。ALOS-2、ALOS-3ともにそれぞれPALSAR-2のビーム制御能力及び衛星本体のポインティング性能によって国内の任意の地点を1日以内、平均では12時間以内に観測することが可能である。

ALOS-3は直下視0.8mの高分解能パンクロマティックセンサを搭載しており、後方視センサ/マルチスペクトラルセンサ等と組み合わせて高分解能の地図作成や災害観測に対応する仕様となっている。ALOS-2は現在、詳細設計審査を完了し、2013年度打ち上げに向けてフライトモデル製造の段階である。ALOS-3は予備設計中であり今後の早期プログラム移行が期待されている。

ALOSシリーズは高分解能のレーダと光学センサによって地球観測・災害監視・資源管理等の様々なミッションを果たすことになる。ALOS-2、3のデータはセンチネルアジア(注2)、災害チャーター(注3)等の枠組みを通じて、広くア

(注2) アジア太平洋域の自然災害の監視を目的とした国際協力プロジェクト

(注3) 宇宙機関を中心とする災害管理に係る国際協力枠組み

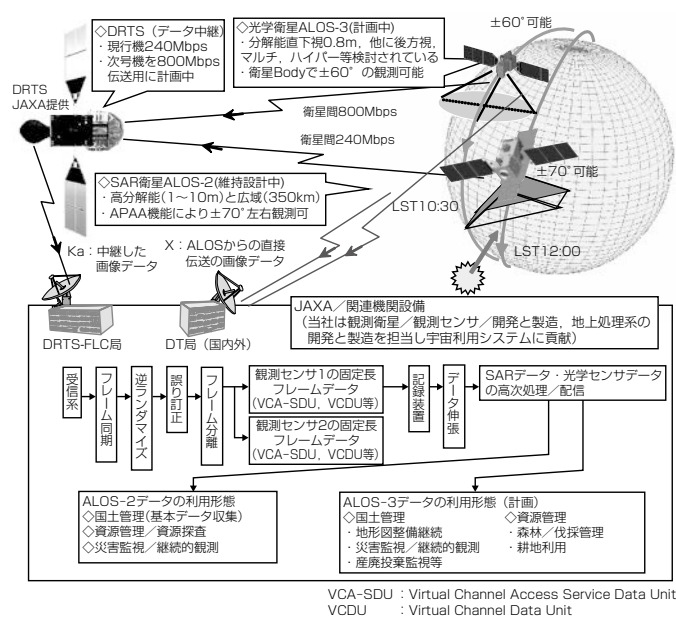


図4. ALOS-2, ALOS-3の全体システムの構成

ジア域を含む各国への貢献が期待されている。新興国並びに発展途上国では、災害情報に加え、地図の整備に必要な国土データ、農産物の作付け予想、森林監視等のニーズも大きい。

図5(a)に当社で実施したALOS-3のシミュレーション画像を示す。多くの地理情報や自動車の台数・形状まで把握

表3. ALOS-2, 3の主要諸元

	ALOS-2	ALOS-3(計画中：諸元は暫定)
衛星外観		
軌道	太陽同期 降交点LST12:00, 高度約628km	太陽同期 降交点LST10:30, 高度約620km
設計寿命	5年(目標7年)	5年
打ち上げ	2013年度	2015年度(計画)
搭載センサ	合成開口レーダ(PALSAR-2) Lバンド 1257.5MHz帯(中心)	・パンクロマティック直下視/後方視 ・マルチスペクトラル ・ハイパースペクトラル(検討中)
観測性能	・スポットライトモード： 分解能3m×1m, 観測幅25km ・高分解能モード： 分解能3m/6m/10mスクエア, 観測幅50km/50km/70km ・広域観測モード： 分解能100m/60mスクエア, 観測幅350km/490km	分解能0.8m, 観測幅50km (パンクロマティック直下視)
特徴	高分解能(大出力, 2次元走査), 広域(マルチビーム), 高機能(偏波観測, インターフェロメトリ), ビームと姿勢により衛星の左右2,000km以上の観測可能。	±60°の衛星Bodyポインティングにより緊急観測性能を大幅に向上。TDI(Time Delayed Integration)によるセンサ感度向上。JPEG2000圧縮方式を採用。
全体システム	・定常時：50分でレベル0画像生成 ・災害時：国内の任意地点を最長でも1日以内(平均12時間以内)に観測が可能。	同左

JPEG : Joint Photographic Experts Group, LST : Local Standard Time

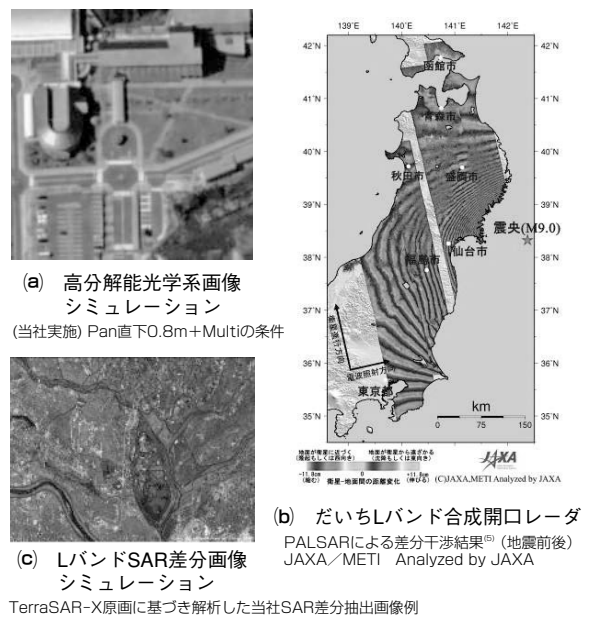


図5. 高分解能光学観測及びSARによる情報抽出

できることがわかる。また、図5(b)に“だいち”に搭載したLバンド合成開口レーダPALSAR(当社も開発参加)で観測した東日本大震災前後の地殻変動(差分干渉処理:インターフェロメトリ)を示す(JAXA EORC(地球観測研究センター)解析)。図中の干渉縞(じま)1サイクル(同一色間)は、衛星に対して約11.8cmの距離変化が大震災前後で生じていることを表す。Lバンド合成開口レーダは、他の周波数に比較して植生の影響を受けにくく、差分干渉処理による地表面の変化抽出に有利である。さらに災害時における短時間での被害算定を実現するために、より簡略な処理である差分抽出画像も有用であり、そのシミュレーション結果を図5(c)に示す。当社も実績のある各画像処理方法を適用し災害監視に貢献する方針である。

また、近年、商用通信衛星に加え、観測衛星に関しても海外における調達需要が増加しており、海外の宇宙機関や政府が調達元となる場合も多い。そのため、単なる衛星・地上設備供給ではなく、長期的な人材育成、技術移転、打ち上げ手段の提供、運用・利用システム構築、支援資金協力等を含むパッケージでの提供要請が顕著である。こうしたパッケージ提案に対し、産学官連携による衛星提供、データ利用提案を推進して行きたい。

#### 4. 準天頂衛星初号機“みちびき”及び測位利用拡大

2010年9月に打ち上げられた準天頂衛星(QZS)初号機“みちびき”では当社は主契約会社として、JAXAの“みちびき”衛星本体の開発と打ち上げ運用を担当した(図6)。

図7に示すとおり、“みちびき”は傾斜角 $41^\circ$ 、近地点引数 $270^\circ$ 、離心率約0.075とする軌道を採用することで地上軌跡は日本経度を中心とした8の字を描き、日本における高仰角での可視時間を長くする設計としている。衛星は静止高度では日本で初めて恒星センサ基準の姿勢制御系を採用している。これによって衛星の高精度化だけでなく準天頂衛星コンステレーションに不可欠となる任意の昇交点赤経への衛星投入(全時間ロウンチウィンドウの確保)や図7に示すヨーステアリングによる太陽方向へのパドル正対等の柔軟な運用を実現している。衛星は日本の天頂付近よりGPS(Global Positioning System)と同等の測位信号を送信

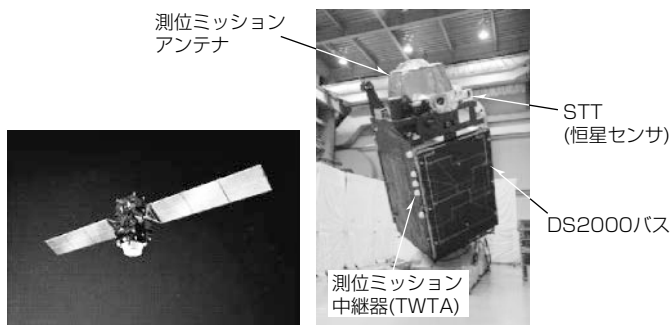


図6. 準天頂衛星初号機“みちびき”(写真・図提供: JAXA)

するため、日本国内の山間部や都心部の高層ビル街でも、他の低仰角GPSと組み合わせてGDOP(Geometric Dilution Of Precision)の優れた精密な測位が可能となる(測位補完)。また、“みちびき”からは測位精度を向上させるための2種の補強信号(L1-SAIF信号, LEX信号)を併せて送信しており、これによってこれまでの数十m程度の誤差であったGPS測位に対し、1m級、更にはcm級の測位精度実現を目指している(測位補強)。

現在“みちびき”の本体及び測位信号の評価を実施中である。図8は高層ビルが多く“アーバンキャニオン”と呼ばれる新宿で、“みちびき”からの補完信号を活用し、測位能力の改善状況を評価した結果を示す。

GPS衛星単独のコード測位の場合、28.5%の測位率であったものが、“みちびき”を併用することによって、70.0%と大幅に測位率が向上し、都心部での測位可能エリアの拡大効果を確認している。さらにGPS単独に比較して高い測位率を実現することによって、カーナビで使用される低コストのジャイロなどの慣性測位の使用時間を大幅に短縮可能であり、実質的に測位率100%を達成することが可能である。

準天頂衛星システムの将来利用に関しては、現在、宇宙開発戦略本部事務局の下に、準天頂衛星システムにかかわるプロジェクトチームである“準天頂衛星開発利用検討ワーキンググループ”が設置され、測位システムの社会インフラとしての利用検討が開始されている。

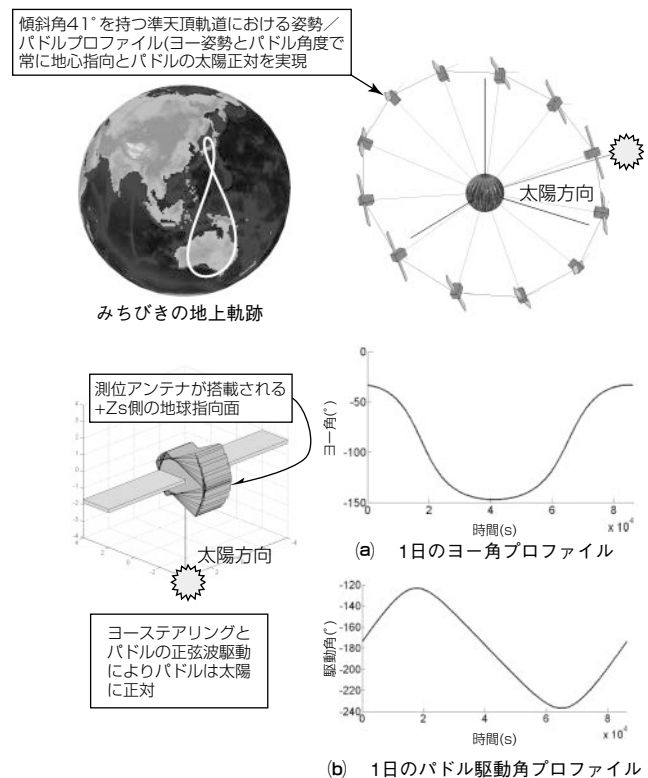
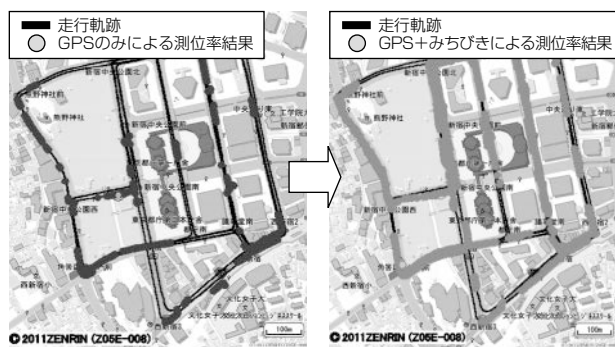


図7. “みちびき”の軌道とヨーステアリング運用(初期軌道要素:  $a=42,156\text{km}$ ,  $i=41^\circ$ ,  $e=0.075$ ,  $\omega=270^\circ$ )



(a) 新宿のGPSのみによる測位 (測位率28.5%) (b) 新宿のGPS+みちびきによる測位 (測位率70.0%)

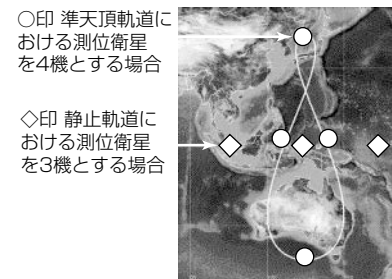


(c) 新宿のGPS+みちびきによるINS測位 (測位率100.0%)

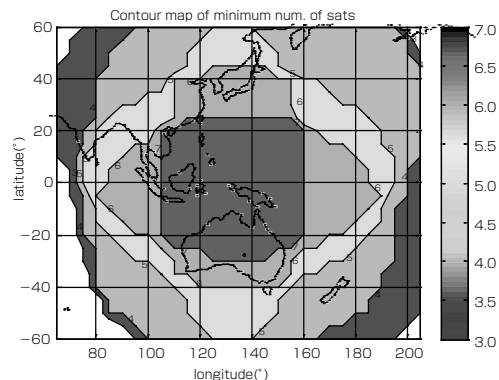
図8. 東京都心(新宿)における測位精度向上結果

この検討チームでは、欧州などの海外動向を踏まえつつ、従来型の測位サービスに加え、緊急時・災害時に使用するための双方向通信(ショートメッセージ)や、警察・消防向けの秘匿コードサービス等の新規機能を衛星・測位端末に追加する案を含め、社会インフラとして整備すべきサービス分野の調査、政策的評価が実施されている。この機能によって、遭難者や捜索者に必要な救難情報・位置情報を伝達することが可能となり、救難活動の確実性、効率性向上に大きく貢献すると考えている。

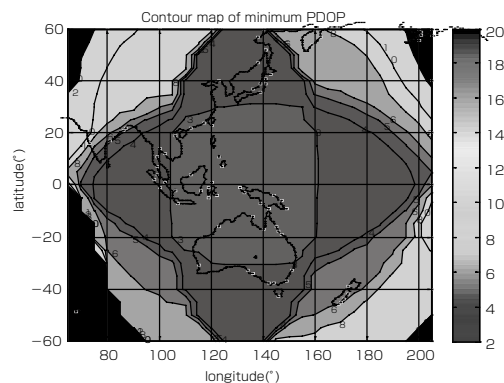
図9に準天頂軌道に4機、静止軌道に3機の測位衛星を整備した場合の衛星可視機数とPDOP(Position Dilution of Precision)の分布を示す。図のとおり日本では7機の測位衛星のうち常時5機が可視範囲にあり、またPDOPも常時5以下が実現可能である結果を得ている。GPSが24機で全球的な測位システムを構築しているのと比較して、7機という少ない機数で日本と同様な経度である東アジア地域に独立した測位システムを提供することができる。準天頂衛星の信号は、多くのユーザーに利用されるように補完サービスではGPSと等価な信号とし、さらに独自の補強信号(LEX)によってcm級の信号を供給する。準天頂衛星の高精度測位による国内市場成長規模は約0.8~1兆円程度と試算されている。その他サービスを含めたサービス範囲拡大によってアジア・オセアニア測位マーケットにおける利用拡大が期待される。



(a) 測位衛星の配置例



(b) 衛星可視機数分布：日本~豪州にかけて常時5機以上 (仰角は東京で常時1機が80°以上, 那覇・札幌で70°以上)



(c) PDOPの分布：日本~豪州にかけて常時5以下であり高精度測位が自立的に可能

図9. 7機の測位衛星の場合の性能評価(他GPSは非使用)

### 5. 宇宙利用システムへの取り組み全体像

4章まで述べたとおり、当社は通信放送や気象観測、測位システム構築に関しては、標準バスDS2000や更なる軽量化・機器統合化・高精度化による衛星バスの競争力確保や先進的な通信系開発によって事業拡大を図っている。観測分野に関しては開発中のALOS-2や計画中のALOS-3等を核とし、高精度化・観測幅拡大・ポインティングによる観測頻度拡大を同時に満足させる高度なシステムの構築を図るとともに、派生事業として新興国の新たな需要にこたえていく。また搭載機器に関しても、国際マーケットの厳しいQCD要求を常に意識することで宇宙事業全体の国際競争力を維持発展させていく。

図10は、当社の宇宙利用システムの取り組みの全体像を示したものである。通信放送・地球観測・測位の宇宙利



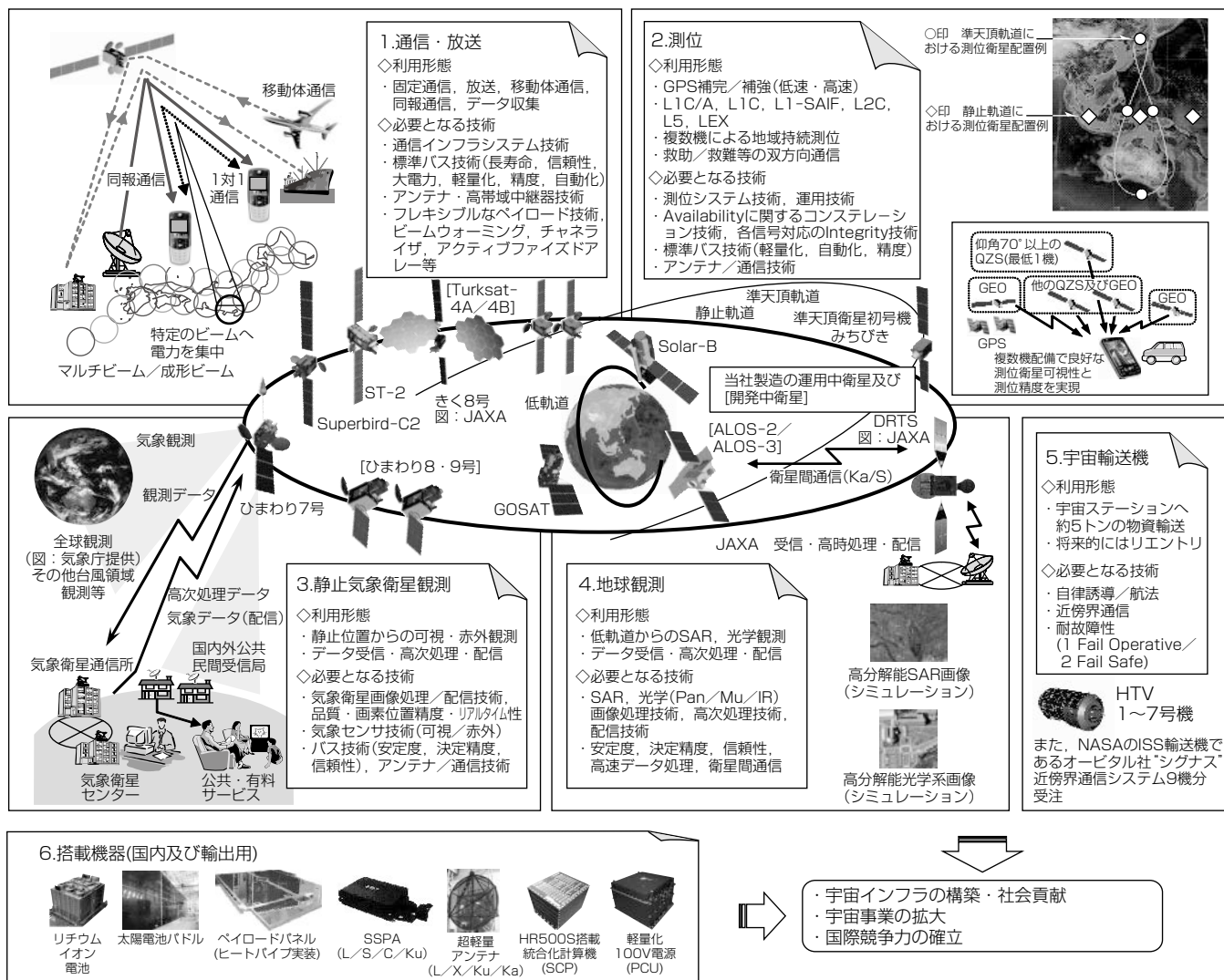


図10. 三菱電機の宇宙利用システムの取り組みの全体像

用に関して保有する基盤技術を活用し、更なる技術開発と事業戦略の両輪によって、国内外の宇宙利用インフラの構築や社会貢献、宇宙事業の拡大、国際競争力の確立を図っていく。

## 6. むすび

宇宙利用の3大分野である通信放送、地球観測(リモートセンシング)、測位における技術動向と当社の開発状況・事業展開について述べた。国内研究開発衛星や継続的需要が予測される商用衛星とともに、大きな伸びが期待される観測・測位等のコンステレーション計画、新興国で拡大が予想される通信・観測の衛星事業に参画し事業を拡大するとともに、非常時における通信・情報供給という宇宙インフラ特有のロバスト性も加味したシステムに積極的に取り組んでいく。

## 参考文献

- (1) JAXAの東日本大震災の災害対策支援の取り組み, [http://www.jaxa.jp/info\\_support\\_j.html](http://www.jaxa.jp/info_support_j.html)
- (2) 宇宙航空研究開発機構, 宇宙利用ミッション本部ホームページ, 人工衛星プロジェクトだいち(ALOS) <http://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos/index.html>
- (3) Satellite to be built & launched by 2019, World Market Survey, Euroconsult社
- (4) 2009 Commercial Space Transportation Forecasts, FAA Commercial Space Transportation (AST) and the Commercial Space Transportation Advisory Committee (COMSTAC)
- (5) 陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)による東日本大震災の緊急観測結果 [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img\\_up/jdis\\_pal\\_tohokuqeq\\_110401-06.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_pal_tohokuqeq_110401-06.htm)