

生田 宏二郎  
K. Shōda

伊藤 浩式  
K. Itō

栗山 義雄  
Y. Kuriyama

ここ数年、当社は主要な宇宙開発分野、すなわち地球観測、通信放送、宇宙インフラなどの分野におけるコア技術の戦略的育成に努力してきた。折しも、1994年7月宇宙開発委員会がわが国の宇宙開発に関する長期ビジョンを公表した。この報告書は、わが国の宇宙開発の現状と進むべき方向を明確に示しており、わが国の宇宙開発政策に大きな影響を及ぼすものと考えられる。わが国の宇宙開発は時代の変化、需要の多様化、国際社会におけるわが国の役割に対応し新たな段階を迎えている。

ここでは、このような時代と社会情勢の変化のなかで当社が宇宙開発にどのように取り組んでいるかを述べる。前述の主要な三つの宇宙開発分野で当社が取り組んできた技術開発のなかからミッション技術を主体にその動向を概説する。

For a number of years, Toshiba has been making strategic efforts to develop core technologies in the major domains of earth observation, communications and broadcasting, and space infrastructure. A long-term vision for Japanese space development was published last July by the Space Activity Commission, clearly pointing out the current status of Japan's space development activities and the future directions that should be taken. This has had a significant influence on Japanese government policy related to space development, which has moved into new areas in accordance with social changes such as the diversification of demand and Japan's changing role in the global community.

This paper briefly introduces the long-term vision for Japanese space development, then describes the activities of Toshiba and future prospects in this field in the midst of the changes taking place, focusing on the development of mission technologies in the above-mentioned domains.

## 1 まえがき

新世紀の宇宙時代に向けてわが国が目ざすべき宇宙開発の目標について、宇宙開発委員会の長期ビジョン懇談会においてまとめられた結果が1994年7月に報告された。その内容は宇宙開発の諸ミッションを包含する幅広いものであり、各ミッション分野での目標と開発の進めかたを示すものである。

ここでは、これらの目標を踏まえて必要とされる技術の動向や当社の取組みについて概説する。

## 2 わが国の宇宙開発の目標

前述の長期ビジョン懇談会の報告のなかで、ここでは個別分野の開発の進めかたとして示されている目標のいくつかを紹介する(図1)。

- (1) 地球観測・地球科学 地球観測・地球科学は、地球環境の保全に貢献し、人類の生存を守るための重要な手段の一つであると位置づけ、各国の計画の整合性をとった“全地球観測システム”を構成することが望ましいと

され、わが国の目標を次のようにかかげている。

- (a) 2010年ごろに全地球観測システムを構成する衛星の1/4程度を分担する。
  - (b) 衛星による観測データを円滑・迅速に提供するための世界的な情報ネットワークの構築へ貢献する。
  - (c) 2020年代の完成を目ざして、地球環境モデルの作成と衛星・地表双方の観測データの利用による環境変動を予測するシステムの構築へ貢献する。
  - (d) 観測データの商業的利用への環境を整備する。
- (2) 宇宙科学 M-Vロケットによって打ち上げる中型衛星の計画的・継続的なミッションとして、地球周辺空間、月、火星、小惑星などの探査、金星、火星などの大気および電離層の観測、また地上からの観測と連携をとった天文観測が挙げられている。

これらのミッションに加えて2000年初頭以降に、H-IIロケットおよびその発展型などによる大型の衛星・探査機の打上げにより太陽、木星以遠の小惑星などの科学探査、また静止軌道などからの大型天文観測衛星計画が挙げられている。

分野	開発項目	1995	2000	2010	2020-
地球観測・地球科学	低中高度軌道衛星による地球観測	地球観測システムの構築		観測センサ高性能化・精度向上・継続的観測	
	静止衛星による常時地球観測	気象衛星による継続的観測 低中高度軌道衛星と連携した地球観測運用(気象を含む)			
	地上システム	準実時間伝送・物理量抽出		実時間伝送・地球環境モデル化・地球環境予測	
宇宙科学・月探査	太陽系科学	地球周辺、惑星間空間などの科学探査/月内部、惑星などの初期の網羅的探査		新探査技術による探査領域拡大/木星以遠惑星の本格的な科学探査	
	スペース天文学	天文観測衛星の展開/静止軌道・太陽周回軌道での大型天文観測衛星/無人月面観測・実験システム・大型天文観測衛星と月面天文台			
	月探査	月周回衛星による月面観測/月面移動探査機着陸と探査/土壌試料採取/無人月面観測・実験システム/月面システム(無人・有人)			
通信・放送・測位	固定通信	大容量・超高速デジタル網(同報)		高機能衛星通信システム(同報)	
	移動体通信	海上移動体通信(静止衛星) パーソナル通信(静止衛星)・移動体ISDN・パーソナル通信(非静止衛星)			
	テレビジョン放送	統合デジタル放送(ISDB)・広帯域ハイビジョン・立体ハイビジョン・超高精細度テレビジョン			
	移動体音声放送	移動体デジタル音声放送			
	測位	GPS補完システム(GPSオーバレイ)		民事測位システム	
宇宙環境利用・有人活動	宇宙環境利用	宇宙ステーション・低中高度無人プラットフォーム		有人支援型プラットフォーム・次世代宇宙ステーション	
	太陽エネルギー利用	部分システム宇宙実証実施(JEM, 小型衛星など活用)/太陽エネルギー利用高度化			
	宇宙有人活動の展開	ステーション技術開発, 蓄積/有人・無人技術の融合した宇宙技術の開発・蓄積/国際的な有人活動の構築への貢献			

図1. 宇宙開発の将来動向 わが国の宇宙開発の主要分野における宇宙技術の将来動向。

Future trends in Japanese space development

(3) 月探査

- (a) 2000年初頭以降における月周回観測や月面着陸探査をはじめとした体系的な無人月探査を計画する。
- (b) 2010年以降2020年代にかけて国際協力による月面天文台などへの発展に対応する関連技術を研究開発する。
- (4) 通信・放送・測位 高度化・多様化の速度が速い需要動向に的確に対応するため、新たに求められる携帯用移動体通信、立体ハイビジョン放送、航空機・船舶・自動車のナビゲーションなどのサービスを適時適切に提供するため、情報の大容量化や携帯用利用者端末の小型化に関する多様な技術についての新技術の開発が必要とされている。
- (5) 宇宙環境利用 微小重力の利用として次の目標が考えられている。
  - (a) 宇宙ステーションの運用開始までは落下塔、航空機、回収カプセル、あるいは米国のスペースシャトルの利用による経験の蓄積と研究体制を構築する。
  - (b) 2000年過ぎの宇宙ステーションの運用開始後は、日本実験モジュール(JEM)の最大限の活用による技術開発と高度化および新技術・新産業の創出へ貢献する。
  - (c) より高度の微小重力環境を必要とする場合のH-IIによって打ち上げられる日本の宇宙往還機(HOPE)や無人プラットフォームなどを活用する。
  - (d) 宇宙環境利用の高度化、多様化に対応するための完全自動化された本格的無人プラットフォームや有人支援型プラットフォームを研究開発する。  
太陽エネルギーを利用するミッションに関しては、国際協力を考慮した研究開発の推進とJEMなどでの実証実験および太陽エネルギー利用の高度化の追求が目

標に掲げられている。

- (6) 有人宇宙活動 人類が宇宙に進出したいと考えることは自然な欲求であるとし、次の目標が示されている。
  - (a) JEMの運用を通じて得られる技術蓄積により、ロボットを利用した有人支援技術、テレサイエンスなどの有人宇宙活動を支援する技術の信頼性を高度化する。
  - (b) 人間が宇宙空間で生活していくための基礎となる閉鎖生体系の技術開発および宇宙医学の研究に対応する。
  - (c) 宇宙ステーションの運用終了後、次世代宇宙ステーションあるいは月面における有人宇宙活動に対処する。

### 3 地球観測技術

人工衛星を利用した地球観測に関する技術の主要なものとして、ここでは観測センサの技術について述べる。観測センサは光学センサと電波センサに大別され、観測波長は紫外域、可視域、赤外域、さらにマイクロ波、サブミリ波、ミリ波などまで幅広い波長の活用が実現あるいは計画されている。

観測センサの主要な性能の一つは分解能であり、これには空間分解能、波長域での分解能および時間分解能が含まれる。空間分解能は地球表面を詳細に観測する目的において重要なものであり、このような目的の代表的なセンサである可視近赤外放射計においては、海洋観測衛星1号(MOS-1)で50mであったものが陸域観測技術衛星(ALOS)では2.5mの計画となっている。波長域での分解能は、地球に関する多様な情報を必要とする観測で重要となるものであり、フィルタ、回折格子、フーリエ干渉計、ファブリペローなどの分光計により実現される。時間分解能とはここでは観測頻度のことを示す。観測センサ側としては観測幅の広域化によりある程度の

頻度向上は望めるものの、大幅な頻度向上のためには複数衛星の配置などの別の方策が必要であろう。

高性能の光学センサを実現するための基礎技術としては、大口径光学系技術、高感受光素子技術、走査鏡などの高精度制御技術、回転機構・光学系保持などの機構技術、素子冷却技術、データ圧縮などのデータ処理技術が考えられる。当社では、これらのほとんどの技術を用いた赤外域のフーリエ干渉方式の温室効果気体センサ (IMG) を衛星探査用観測システム研究開発機構 (JAROS) との契約で地球観測プラットフォーム技術衛星 (ADEOS) に搭載すべく開発しており、現在プロトフライトモデル (PFM) がシステム試験に供されている。

一方、電波センサの実現に必要な基礎技術としては、送受信機、低雑音増幅器、高圧電源などのマイクロ波技術、データ処理などのレーダ技術、フェーズドアレイアンテナ、高精度アンテナなどのアンテナ技術などが考えられる。当社では宇宙開発事業団 (NASDA) との契約で熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 搭載の 14 GHz 帯降雨レーダ (PR) を開発中であり、現在 PFM の製造段階にある。

## 4 通信・放送技術

通信・放送分野での従来の衛星利用の形態は、インテルサットに代表されるグローバルビームによる国際固定通信や、わが国の通信衛星、放送衛星に見られるように日本全土を単一のビームで覆い、時分割による通信や同一番組での全国放送を行うというのが主流であった。近年では、従来の利用形態に加え、より高度で新規の利用形態が開発され実用化に向け軌道上での実証などが試みられている。

放送分野では新しい周波数帯である 21 GHz 帯を利用した広帯域・マルチビーム方式による地域別・高精細度テレビ衛星放送、通信分野では Ka 帯での国内マルチビーム固定通信、S 帯/L 帯での移動体通信、宇宙空間での大容量のデータ伝送を可能とする Ka 帯/S 帯での衛星間通信技術などの開発が進んでいる。さらに、10Gbps 以上の伝送も可能なレーザー光による光通信や携帯電話などの簡易な移動体にもアクセス可能で、通信遅延の少ない非静止軌道 (高度数 100 km~10,000 km) 衛星通信システムの提案、開発も精力的に進められている。

当社では、これらの新しい技術動向に共通する要素を、周波数再利用可能な低サイドローブ大口径アンテナ、高出力中継器、高帯域低雑音増幅器、高精度アンテナ指向技術、情報圧縮・高能率符号化技術などととらえ、ソフトウェアを含め製品の開発を進めている。

すでに、21 GHz 帯衛星放送機器として 200 W 級の進行波管増幅器と周波数再利用型地域別放送用アンテナの開発を完了し、通信放送技術衛星 (COMETS) への搭載を待っている。

衛星間通信・光通信の分野では、技術試験衛星 VI 型 (ETS-VI) に搭載された Ka バンド衛星間通信機器 (KSA)、

光通信基礎実験装置 (LCE) は、それぞれユーザ宇宙機に見立てた地上模擬局を長円軌道上から捕捉追尾し双方向の通信実験に成功しており、その技術的基盤を確立することができた。この成果を基礎に、将来の宇宙通信ネットワーク構築のなめとなるデータ中継技術衛星などの衛星間通信機器や光アンテナシステムの研究開発を進めている。

S 帯を利用する移動体通信は、実用段階では周波数の再利用や所用の電力束密度を得るため日本全土を 50 程度のビームに分割してカバーする必要がある。これは 30 m 級衛星搭載アンテナとなるが、その前段階の実証として ETS-VI で開発済みの 2t 級衛星バスに 10 m 級のメッシュ展開トラスアンテナを搭載して軌道上実験を行う、との想定で部分モデル試作を含め検討を進めている。

今後 21 世紀でおおいに発展、普及が期待される非静止衛星通信システムは、イリジウム計画をはじめ多くの提案、計画が発表されている。当社においても個々のミッションに最適な衛星配置、運用軌道の解析・研究に着手している。

## 5 ロボット技術

宇宙ロボット技術は、人類の将来の宇宙活動に欠くことのできない宇宙インフラの中核に位置づけられるものである。この技術の適用範囲は、軌道上でもろもろの宇宙機に対し、保守、修理、機器の交換、補給、組立などのサービスを行う軌道上作業機をはじめとして、月および惑星の探査や基地の建設を行うロボットなどきわめて広い。また、機能・性能面では、有人による直接操作から地上からの遠隔操縦 (数秒~十数秒の時間遅延を伴う)、軌道上あるいは月・惑星上での無人自律運用まで高度な技術要素を含んでいる。

当社では、宇宙ロボットプロジェクトとして、宇宙ステーション日本実験モジュール (JEM) マニピュレータ、スペースシャトル上での JEM 子アーム実証試験 (JFD) および技術試験衛星 VII 型 (ETS-VII) ロボット実験系 (RBT) の開発を進めている。

これらのプロジェクトは、すべて NASDA との契約に基づくもので、JFD では 1997 年のフライトを旨とし詳細設計審査を完了している。

ETS-VII RBT は JEM、JFD が有人システムであるのに対し、第二世代と言うべき遠隔および自動操作ロボットである。

すでに、軌道上システムを模擬したロボット実験系開発試験設備により、遅延時間や視認性確認のための照明条件などを模擬し遠隔操作、自動操作の確認試験 (図 2) を完了しており、実機および地上操作設備開発の基盤を確立している。

これらと並行して基盤技術としての自律化技術、ランデブ・ドッキング技術、宇宙用メカトロニクスの研究開発に取り組んでいる。特に、自律化技術については、従来の位置・角度・慣性センサに力センサ、視覚センサを加え、高速画像処

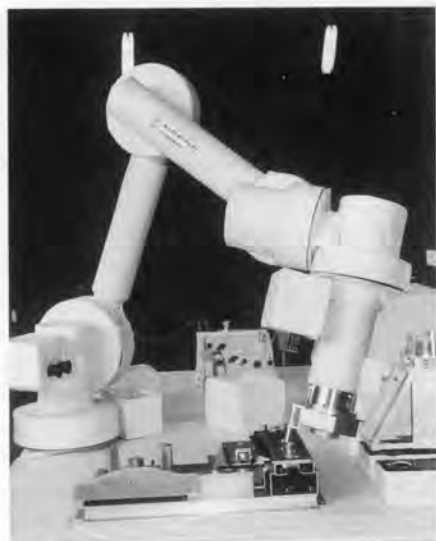


図2. ETS-VII ロボット実験系遠隔操作システム試験 ETS-VII ロボット実験系を模擬した開発試験設備によるタスクボード(手前)操作実証試験。

ETS-VII robot experiment system teleoperation test

理技術とあいまって、高度な視覚認識系および人工知能を実現している。また、ランデブ・ドッキング技術については、GPS (Global Positioning System) を用いて位置と速度を決定し、航法・誘導制御を行いロボットアームでターゲットを捕獲するシステムを構築しつつある。

## 6 将来技術

わが国の宇宙開発も地球周辺空間、月・惑星などの科学探査や資源探査によく目が向けられるようになりつつある。現在、科学探査や月の利用可能性調査を目的として月周回衛星、月面着陸探査、月面天文台や月基地などのシステムの概念検討と研究開発が進められている。

無人の月・惑星探査は有人探査へ、やがて宇宙における人間の定住へ発展していく。これに先だて二つの技術が重要となってくる。一つは微小重力、超高真空、放射線などの宇宙環境の特殊性を利用し、生命科学、材料、理工学などの実験・研究を行い、将来の本格的な研究や生産活動への見通しを得るための宇宙環境利用技術である。他の一つは宇宙空間での人間の探査活動や生産活動を支えるエネルギーを生産し、自給するための宇宙エネルギー利用技術である。

当社は、1992年にシャトルを用いて人工オーロラ実験を行ったのを初めとし、1994年には第二次国際微小重力実験室(IML-2)で二相流体の気液分離実験、1993年には小型ロケットによる結晶成長の可視化実験を行った。また、1995年にはフリーフライヤを用いた化合物半導体の結晶成長実験と二次元展開アレイの展開実験、1997年にはシャトルを使ったマニピュレータアームと二相流体の微小重力実験を行う予定である。これらは当社の微小重力実験の主なもの、これらのほかに落下塔、航空機(MU-300, KC-135, Caravelle)を用いた数多くの実験を行っている。

もっとも代表的な宇宙エネルギーは太陽電池を用いて太陽光を電気に変換する太陽光発電であり、衛星の電源として広く用いられている。当社は、国内で唯一NASDAから太陽電池セルのはり付け工程の認定を受けている。また、Ni-H<sub>2</sub>バッテリーの実用化と同時に究極のバッテリーといわれているリチウム電池の先行研究を進めている。一方、太陽熱を電気に変換する太陽熱発電は宇宙用電源としてまだ実用化の段階にはないが、当社は電子技術総合研究所との共同研究で宇宙用ブレイトンサイクルを開発し、太陽熱発電に必要な受蓄熱材と受蓄熱器の試験データを取得している。これと並行して熱電変換素子を用いた静的な太陽熱発電の可能性を検討している。

再生型燃料電池や超電導コイルなどの電力貯蔵技術や半導体増幅器、クライストロン、レクテナなどのマイクロ波による送・受電技術の社内開発も進めている。

大容量の宇宙エネルギーシステムを実現するためには大量の熱を効率的に輸送・排熱する技術が必要になってくる。当社はNASDAの委託研究により1885年から二相流体ループ式排熱システムの開発を進めてきた。1997年に予定されているシャトルによる微小重力実験もこの開発の一環であり、開発は着実に進んでいる。

## 7 あとがき

日本の宇宙開発技術は着実な進歩を示し、わが国が世界に貢献する役割はますます重要なものとなっていくであろう。

当社は、宇宙開発を担う一員として今後も技術の発展を図り、人類の豊かな明日をつくる努力を続けていく所存である。

## 謝辞

この論文の作成にあたり、宇宙開発委員会、宇宙開発事業団、科学技術庁航空宇宙技術研究所、文部省宇宙科学研究所ほか関係各位の文献・資料を参照させていただいた。ここに厚くお礼申し上げる所存である。



生田 宏二郎 Kôjirô Shôda

1970年入社。人工衛星のシステム設計・ミッション解析に従事。現在、小向工場宇宙プログラム担当主幹。  
Komukai Works



伊藤 浩式 Kôji Itô, D.Sc.

1979年入社。人工衛星のシステム設計、プログラム管理業務に従事。現在、小向工場宇宙プログラム担当主幹、理博。  
Komukai Works



栗山 義雄 Yoshio Kuriyama, D.Eng.

1979年入社。人工衛星の熱設計・解析および技術管理に従事。現在、小向工場宇宙プログラム担当主幹、工博。  
Komukai Works