宇宙開発要素技術の動向
Trends in Core Technologies for Space Development

生田　宏二郎
K. Shoda

当社はこの四半世紀にわたりわが国の宇宙開発の推進に貢献すべく努力してきており，要素技術の観点から見れば，地球観測，通信放送，測位，宇宙インフラなど宇宙開発技術の主要な分野での技術育成に注力してきた。

折しも1996年1月に宇宙開発政策大綱が改訂された。この新政策大綱は新世紀に向けての長期的な視点に立ってわが国の宇宙開発の進めかたを明確に示すものであり，その基本方針として，独創性，ニーズ重視，経済性，および国際協力を含む七つの基本方針を掲げている。

これらの基本方針を踏まえ，今後必要とされる要素技術の分野として，地球観測ミッション，通信・放送・測位ミッションなどのミッション系技術と，航法・誘導・制御技術，電源技術などのバス系技術についてその動向を概説する。

Toshiba has been making efforts to contribute to Japan's space activities for the past quarter of a century, developing core technologies in the major domains of Earth observation, communications and broadcasting, positioning, and space infrastructure.

Japan's fundamental space development policy was revised in January 1996 by the Space Activity Commission. Adopting a long-term vision extending into the next century, it clearly points out future directions that should be taken in Japan's space development activities, setting up seven fundamental policies including originality, importance of needs, low cost, international cooperation, and so on.

This paper briefly introduces core technologies and development schemes required for future space development.

1 まえがき

1996年1月に宇宙開発政策大綱が改定され，今後10年間程度の期間におけるわが国の宇宙開発にかかわる活動の方向と枠組みが明らかにされた。

ここでは，新政策大綱を踏まえて必要とされる技術の動向やその開発方法について概説する。

2 宇宙開発の活動分野

新政策大綱は，わが国の宇宙開発の重点活動として**表1**に示すように地球観測・地球科学，宇宙科学・月探査，宇宙環境利用，および通信・放送・測位などのミッションを推し進めるとともに，そのための共通基盤技術を高度化しかつ宇宙インフラストラクチャの整備を行うことを掲げている。

上述の重点活動の内容を踏まえて，今後必要とされる要素技術の分野について以下に述べる。また，**図1**に当社が注力している要素技術の主要なものを示す。

3 ミッション系技術

3.1 地球観測ミッション

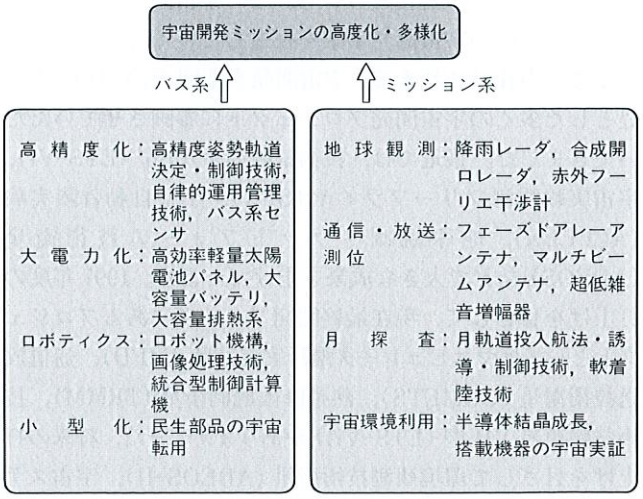

図1．将来の宇宙開発のための要素技術　当社が注力しているミッション系技術とバス系技術の要素技術の主なものを示す。
Core technologies for future space development

観測センサは光学センサと電波センサに大別され，さらに観測方法によって能動型と受動型に分類される。観測波長としては，紫外域，可視域，赤外域，マイクロ波，さらに長波長のサブミリ波などが有効に活用されなければならない。

表1．宇宙開発における重点活動
Major space development activities

活動分野	重点活動の内容
地球観測・地球科学の推進	(1) ニーズに的確に対応する地球観測衛星の開発・運用の体系的・継続的な推進 ・観測センサの開発 ・観測情報提供のためのネットワークの整備 ・観測データの利用促進のための体制整備 (2) 全地球的な観測システムの実現 ・各国の地球観測衛星との整合性を図ったシステム実現へ向けての国際的な協議・調整
宇宙科学および月探査の推進	(1) 宇宙科学のいっそうの推進 ・広い波長域にわたる宇宙からの天文観測 ・地球周辺空間，惑星・小惑星などの科学探査 (2) 月に関する科学的知見の蓄積および利用の可能性を検討するための探査の推進
宇宙環境利用活動の充実	(1) 宇宙ステーションの日本実験棟を中核とした研究・技術開発 ・宇宙と地上における研究を含む総合的な体制の構築による研究と関連技術の推進
人工衛星の基盤技術および利用の高度化	(1) 技術衛星の開発・運用により蓄積した共通基盤技術の高度化 (2) 通信・放送・測位などの各分野での先端的なミッションおよびそのための機器の開発・実証
宇宙インフラストラクチャの開発・運用	(1) 打上げ手段，宇宙からの観測データなどの中継衛星システムなどの開発・運用の推進

センサ性能の向上としては，空間分解能の向上，観測波長の増加，観測頻度の増加などが考えられる。空間分解能は2001年度打上げ予定の陸域観測技術衛星（ALOS）では，可視近赤外放射計（パンクロマチック）で2.5 m，合成開口レーダで10 mと従来より向上が図られている。観測波長およびバンド数の選択は，観測対象ごとに有効な情報を取得できるように決定されるべきものである。観測頻度の増加はセンサの観測幅を増大することによって得られる。

新たな対象を観測するセンサとして，地球観測プラットフォーム技術衛星（ADEOS）搭載の温室効果気体センサ（IMG）がある。IMGは赤外域のフーリエ干渉計であり，地球大気の組成や温度の垂直分布を知るためのセンサである。このほかにも大気センサとして，レーザ光を用いる能動型センサやサブミリ波を用いるセンサの検討がなされている。

これらの高性能あるいは新形式のセンサを開発するための要素技術として，光学センサでは，高精度光学系，高感度受光素子，冷却技術，可動鏡の高精度制御，データ圧縮などに関する技術が，また電波センサについては，送受信，低雑音増幅，高圧電源などのマイクロ波・ミリ波技術，レーダ技術，フェーズドアレーアンテナなどのアンテナ技術が必要となる。また分解能の向上に伴い，特に光学センサでは防振・低熱ひずみのための技術が必要である。

3.2 通信・放送・測位ミッション

通信・放送ミッションの活動の展開として新政策大綱では，わが国の情報通信基盤整備としてのパーソナル移動体通信，国際的な高速衛星通信ネットワーク構築の動向を考慮した高速衛星通信，ディジタル化・高精細度化などのニーズの高度化・多様化に対応するためのディジタルマルチメディア放送，新たな広帯域衛星放送などに関する技術開発を挙げている。これらの技術開発をミッションとする衛星としては，移動体通信を主ミッションとする技術試験衛星VIII型の打上げが2002年度に計画されており，またギガビット級の高速通信衛星やマルチメディア移動体通信衛星に関する検討が進められている。

移動体衛星通信では，パーソナル端末は極力小型化されるべきものであり，衛星搭載アンテナは直径10 mを超える超大型展開マルチビームアンテナが必要となる。また，高出力中継器や多重接続にかかわる技術が必要とされる。

ギガビット級の高速通信のためにはミリ波帯，さらに衛星間通信での10 Gbps以上の高速伝送では光通信が用いられ，ミリ波・光における増幅，変複調技術の開発が必要になる。また，光通信では補捉追尾のために衛星間通信用アンテナをμradのオーダで指向させる制御技術も要求される。

衛星を用いた測位・航法として，米国のGPS（Global Positioning System）衛星を利用した応用システムが世界的に展開されている。また，地域によってはGPS衛星の可視性が必ずしも十分ではない時間帯が生ずるため，精度を維持する一つの方法として静止衛星をオーバレイさせる手法があり，わが国では航法ミッションを含む運輸多目的衛星（MTSAT）が1999年に打ち上げられる予定である。

将来の測位・航法ミッションでは，上述のオーバレイのように，精度要求や複合的なミッション要求に基づいたトータルシステムの検討がまずは必要であろう。要素としては高精度時刻基準を得るための衛星搭載原子時計が不可欠である。

3.3 月ミッション

月の科学と月の利用可能性の調査のために月探査周回衛星が2003年ごろに打ち上げられる計画があり，わが国の月ミッションも本格化していくことになる。

この計画における月観測のために，元素・鉱物・表層構造の計測や月周辺の環境を計測するミッション機器の搭載が検討されており，要素技術としてこれらの計測技術が必要とされる。

またミッション達成のためには，月軌道投入・月面着陸での誘導制御，着陸時の衝撃緩和，あるいは昼夜での赤外放射量の差により長周期かつ大きな変動を示す月特有の熱環境下での熱制御などに関する要素技術が要求される。これらの技術は後継の月探査機のバス系技術として生かされていくものである。

3.4 宇宙環境利用ミッション

宇宙環境利用のための宇宙セグメントとしては，今世紀末から打上げが開始される宇宙ステーションの日本実験棟や2000年度打上げ予定の次世代型無人宇宙実験システム（USERS）がある。また，落下塔や航空機，ロケットも有効

な実験手段である。

ミッション分野としては無重力環境を利用した物理的・化学的現象の解明，結晶成長などの材料関係の実験，あるいはライフサイエンス関係の実験がある。実験機会の増加に伴い実験技術への要求はますます高度化していくであろう。

4 バス系技術

4.1 航法・誘導・制御技術

地球観測や宇宙科学観測における分解能の向上は，高精度の軌道姿勢の決定・制御を要求することになる。このためには電離層の遅延誤差を補正できる2周波GPS受信機や，高精度の姿勢検出のための恒星センサが有効である。

また，月・惑星探査機では姿勢検出のために広視野をもつ恒星センサ，着陸地点の状況把握のためのステレオカメラと障害回避のための画像処理技術などが必要となろう。

軽量化の観点からは，衛星の軌道・姿勢，電力管理，熱制御，信号処理などを一括して行う統合型制御系が一つの手法として考えられる。

4.2 電源技術

ミッション要求の高度化は衛星電源系に大電力を要求することになり，同時にミッション機器搭載性からは軽量化の要求もでてくることになる。

食時間の長い静止衛星用の電源として通信放送技術衛星(COMETS)では，重量効率に優れる35 AhのNi-H_2バッテリが搭載されている。さらに大電力を要するこれからの静止衛星では，数100 Ah級への大電力化が必要になっていくであろう。また，月・惑星探査機のように推薬重量が大きく厳しい軽量化が要求される場合，Liイオンバッテリなども電源の候補となるであろう。

小型化の観点からは，衛星の高電圧化も考慮されるべき点である。

4.3 熱制御技術

ミッション電力の増大は同時に排熱要求量の増加を意味する。今年スペースシャトルによって打ち上げられるマニピュレータ フライト デモンストレーション(MFD)では，高排熱機器として二層流体ループの実験が予定されている。

高発熱・高発熱密度の機器の温度制御には従来ヒートパイプが使用されているが，10,000 W／m^2以上の発熱密度の機器からの熱輸送には，キャピラリポンプなどの新たな熱制御機器が必要である。また，人工衛星はロケットなどの限られたスペースに収納して打ち上げねばならず，宇宙空間で高排熱を行うために展開収納型ラジエータが要求されることになる。

4.4 ロボティクス技術

わが国の宇宙ロボットとしては，今年打ち上げられる技術試験衛星VII型(ETS-VII)の2 m級のロボットアーム，2001年打上げ予定の10 m級の日本実験モジュールマニピュレータなどがある。

月・惑星探査ミッションの高度化，宇宙空間での大型構造物の組立や機器の交換・修理などのミッションを想定すると，双腕アームなどのハードウェア，高速演算，画像処理などに関する技術が必要となる。

4.5 小型化技術

衛星バス系機器を小型化してミッション機器の搭載性を向上させれば，ミッションの費用対効果を改善しミッション達成のトータルコストを低減させる。したがって，小型化は衛星のすべてのサブシステムに要求される技術である。

モノリシックICなどに見られる小型化電子部品や表面実装などの高密度実装技術は，これからの衛星でさらに改良を重ねていくべき対象であり，これらの点で進んでいる民生部品・民生技術の宇宙転用は積極的に取り組むべき課題である。

5 技術開発の進めかた

新政策大綱では，衛星基盤技術の開発のための技術試験衛星(ETS)に加えて，ミッション機器やミッションそのものを宇宙で実証するためのミッション実証衛星(MDS)が定義された。

MDSなどを用いた新しいミッション機器およびミッションそのものの開発と，ETSなどを用いた高性能バス機器の開発が両輪となり，より高度なミッションを達成し得る衛星が実現されていくであろう。

6 あとがき

新政策大綱により，21世紀に向けてのニーズに的確に対応するわが国の宇宙開発活動の方向が明確に示された。

この基本方針を踏まえて，当社は宇宙開発の技術の発展を図り豊かな価値を創造す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，科学技術庁，文部省，郵政省，通商産業省ほか関係各位の文献・資料を参照させていただいた。ここに厚くお礼を申し上げる次第である。

生田　宏二郎　Kojiro Shoda

宇宙開発事業部宇宙開発部技監。
人工衛星のミッション解析・システム設計に従事。
Space Programs Div.