

宇宙ロボットは将来の宇宙ミッション、例えば大型建造物の軌道上での組立て、衛星に対する軌道上での保全サービス、月・惑星の探査、あるいは国際宇宙ステーションでの実験などにおいて不可欠の要素である。これらのミッションの目的に応じて多様な宇宙ロボットが必要とされるが、それらの開発のために共通したキー技術として次の五つが考えられる。すなわち、小型・軽量化、高精度計測、高度制御、遠隔制御、および標準化に関する技術である。

これらの技術は宇宙開発事業団が開発した技術試験衛星VII型の実験運用により軌道上実証が行われており、また当社ではこれらキー技術の研究を継続して進めている。

Space robots will be an indispensable element of future space missions such as the construction of large-scale structures in space, maintenance of satellites in orbit, lunar and planetary exploration, and experiments on the international space station. These mission objectives require various types of space robots. It is considered that there are five key technologies in common for the development of these robots: those for achieving small size and light weight, high-accuracy measurement, high-level control, remote control, and standardization.

Some of these technologies have been demonstrated in orbit by the experimental operations of the Engineering Test Satellite VII (ETS-VII) developed by the National Space Development Agency of Japan (NASDA). Toshiba continues to study these key technologies.

宇宙開発に欠かせない宇宙ロボット

1996年1月、若田宇宙飛行士がスペースシャトルのロボットアームを操作して日本の衛星を捕獲したことは記憶に新しいことである。宇宙用ロボットは環境の厳しい宇宙空間において人間の代わりに作業を行うもので、これからの宇宙開発においては必要不可欠の技術である。

しかし、宇宙空間の無重力状態を含む宇宙環境を地上で正確に再現することはできないため、軌道上における実証試験が必要となってくる。

ここでは、宇宙用ロボティックスの将来および必要な技術とその実証について概説する。

宇宙ロボットのキー技術

宇宙ロボットに要求されるサービス内容(囲み記事参照)は多様である

が、そこには共通的に必要とされるキー技術がある(表1)。

宇宙ロボットは宇宙へ打ち上げて使用するため、なによりもまず小型・軽量化でなければならない。このため関節、制御装置、視覚装置などの主要な構成品のすべてを小型・軽量化する技術が要求される。

高度な作業をするためには操作対象物(ワーク)の姿勢と位置を正確に知ることが出発点であり、そのための高精度計測技術が必要となる。

作業の達成のためには高度な制御技術が必要であり、また、高度な力覚制御が多くの接触作業において要求される。また作業形態によっては協調制御、自律制御、あるいは双腕制御などの技術が要求される。

宇宙での作業であるため、遠隔操作という観点が重要であり、伝送遅延時間や操作誤差を補償するための技術が必要とされる。

宇宙ロボットのサービス対象を広

表1. 宇宙ロボットのキー技術
Key technologies for space robots

技術分類	技術内容
小型・軽量化技術	○超軽量関節 ○分散配置小型制御装置 ○超小型省電力視覚装置 ・搭載画像処理装置
高精度計測技術	・ワーク姿勢・位置計測技術 ○非協力ターゲット運動計測技術
高度制御技術	・高度力覚制御技術 ・協調制御技術 ・自律制御技術 ○双腕制御技術
遠隔制御技術	・伝送遅れ時間対応技術 ・操作誤差自動補償技術
標準化技術	○エンドエフェクタ/ワークインタフェースなどの標準化

○は今後の開発要素

げるためにはワークをつかむといった人間の手に相当する役割を果たす操作器(エンドエフェクタ)とワークとの機器間の着脱インタフェースの標準化が必要となる。

宇宙ロボットに期待されるサービス

宇宙ロボットは多様な分野で必要とされ、来世紀初頭にサービスが期待される宇宙開発システムを図に示した。

有人宇宙ステーションは、昨年、国際宇宙ステーションの建設が開始され、幅広いサービスが必要とされる。

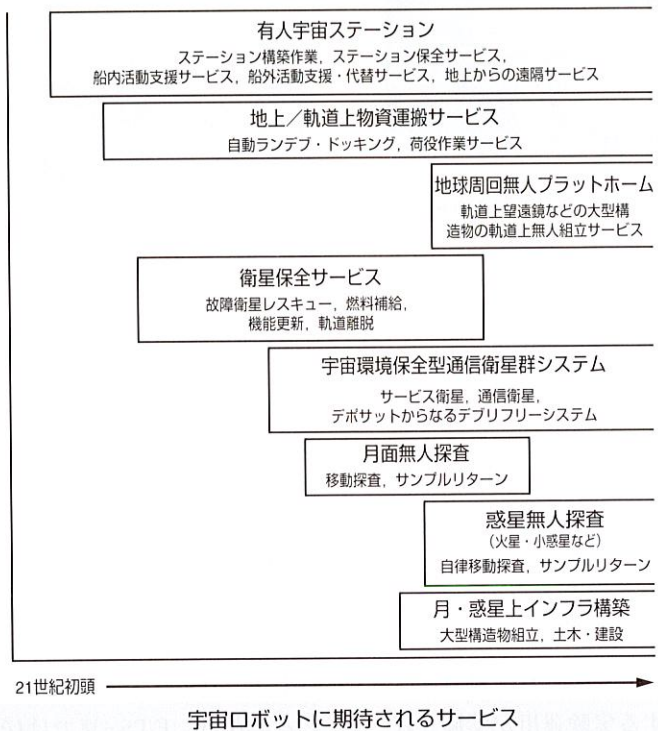
地上から軌道への物資の運搬においては、軌道上に存在するシステムへの自動ランデブ・ドッキングや荷役作業そのものが必要とされる。

地球を周回する衛星も軌道上天文台などのようにその規模が大きくなれば、軌道上での組立てが必要となる。

衛星保全サービスや宇宙環境保全は、衛星のより効率の良い活用やスペースデブリ(宇宙のごみ)の抑制をねらう。

月あるいは火星や小惑星などの無人探査では、移動探査技術やサンプルを地球へ持ち帰る技術が必要となる。

これらの天体上に恒久的なインフラを建設するためには、土木・建築レベルの作業が要求される。



技術開発への取組み

当社はこれらのキー技術の重要性を十分に認識し、国際宇宙ステーションの日本実験モジュールに搭載するリモートマニピュレータシステム(JEMRMS: Japanese Experiment Module Remote Manipulator System)の開発、JEMRMSの先端部に取り付けられるものと同等のサブシステムをスペースシャトルに搭載して宇宙空間での動作確認を行うマニピュレータ飛行実証試験(MFD)の実施(97年)、ロボットアームを搭載した技術試験衛星Ⅶ型(ETS-Ⅶ)の開発などをおして継続的に技術開発を進めてきた。その主要な技術について次に紹介する。

■小型・軽量化技術

当社は、超軽量関節や分散配置小型制御装置の研究・開発を継続実施

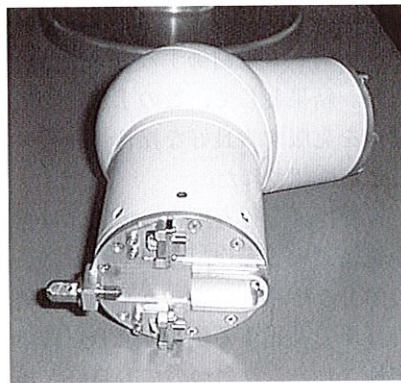


図1. 小型・軽量関節 分散配置制御装置と駆動機構を一体化した小型・軽量関節ユニット。(写真提供: 郵政省通信総合研究所)
Small and lightweight joint

してきた。図1はその一例であり、通信総合研究所(CRL)との契約によって開発された小型・軽量の一体化関節である。中空軸構造や制御装置の分散配置(関節ごとに内蔵、高速信号バス)によって小型・軽量化が

図られている。現在64ビットのRISC(縮小命令セットコンピュータ)チップを採用した小型計算機と小型ドライバからなる制御装置を開発中である。視覚装置としては省電力で小型なCMOSタイプのカメラの開発が進められている。これをロボットアーム手先に装着することでカラー立体視による画像処理技術の導入が容易となる。

■高精度計測技術

この技術についてはETS-Ⅶで次の実験がなされた。標準マーカとモノクロ単眼カメラを用いた姿勢・位置計測および画像フィードバックによる位置決め機能の確認である。これにより、軌道上実時間画像処理結果によるロボットアームの制御が可能であることが確認された(図2)。

当社は、さらに高度な制御のための双眼カラーマッチング技術や非協

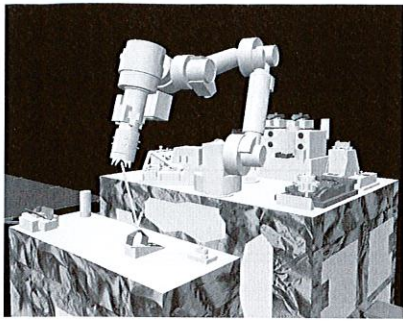


図2. 画像フィードバックによる位置決め機能 “おりひめ(ETS-VIIのターゲット衛星)”に取り付けたマーカー位置をロボットアーム手先のカメラでとらえ、マーカー位置までアームを自動的に移動させる。(写真提供:宇宙開発事業団)
Positioning function using feedback control with image processing technique

カターゲットへのサービスのため標準マーカーを用いない姿勢・位置決定技術の研究開発を進めている。

■高度制御技術

ETS-VIIでは、高度力覚制御と協調制御に関する実験運用が実施された。この結果、対象物をロボットアームにより指定した一定の力で押しつけたり、把持対象物の微妙な位置のずれを柔軟な位置合せ動作により吸収するといった高度力覚制御技術が実証された。また、アームを動かすとその反作用により衛星の姿勢が変動するが、その影響を事前に計算してアームを動かすことによる衛星姿勢の変動を抑えるフィードフォワード制御の実験が実施され、協調制御の有効性が確認された。

さらに、ETS-VIIでは自律制御技術の第一歩として定形的作業をプログラムで実行する方法の動作確認が行われた。今後はサービス内容そのものを自律的に判断・実行する自律タスク判断技術が課題の一つとして挙げられる。

ロボットのサービス内容を広めるための双腕制御技術について、当社では地上技術としての研究を進めている(図3)。これらの地上系での基

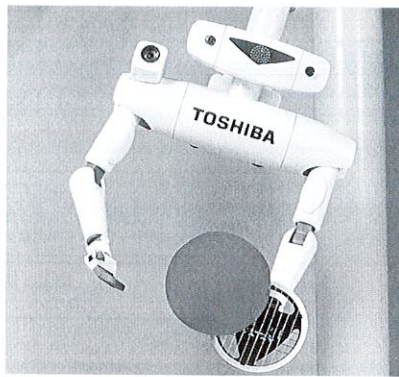


図3. 双腕ロボット 人間を相手にビーチバレーで遊ぶことができる、2本の腕を持った人間型ロボット。
Human-like dual-arm robot

本的な成果は宇宙ロボットに活かされるものである。

■遠隔操作技術

データ中継衛星を介した衛星—地上間通信には往復で数秒の伝送遅延が生じ、ロボットの操作性を損なうことになる。ETS-VIIでは伝送遅延を補償したコンピュータグラフィックス(CG)の予測画像に基づいて、操作棒(ジョイスティック)によりロボットアームを制御する実験が行われた。結果として、この手法が伝送遅延を克服する良好な操作性をもつことが確認された。

遠隔操作を行う場合、実際には指令値に対する操作誤差が生ずる。この誤差を搭載系のローカルな力覚制御機能で補正する実験がETS-VIIで実施され、これについても良好な操作性が確認された。

■標準化技術

エンドエフェクタとワークのインタフェースの標準化について、当社では細かく器用な作業の取込みや国際性も視野に入れた研究・開発を行っている。

■ランデブ・ドッキング技術

宇宙ロボットによるサービスを実

施するためには、対象物への接近と場合によっては結合が必要となる。

当社は衛星システムメーカーおよびGPS(Global Positioning System)受信機の開発担当として、ETS-VIIのランデブ・ドッキング実験運用を支援してきている。

宇宙ロボットによるサービス対象には、開発当初にランデブ・ドッキングを想定していない衛星(非協力衛星)がある。当社は、現在この非協力衛星とのランデブ・ドッキングのための技術開発に着手している。

■実りある宇宙開発を目指して

宇宙ロボットは、将来の宇宙開発をより実りあるものにするために不可欠である。当社は関連する技術開発をとおして人類社会の発展に貢献していく所存である。



生田 宏二郎
SHODA Kojiro

情報・社会システム社 宇宙開発事業部技監。
宇宙開発ミッションの検討、宇宙機システム設計に従事。日本航空宇宙学会、日本リモートセンシング学会会員。
Space Programs Div.



川島 教嗣
KAWASHIMA Noritsugu

情報・社会システム社 小向工場 宇宙メカトロニクス技術部主幹。
衛星機構系、宇宙ロボットの開発に従事。日本機械学会、日本トライボロジー学会会員。
Komukai Operations



城谷 俊彦
SHIROTANI Toshihiko

情報・社会システム社 小向工場 宇宙機技術部参事、ETS-VIIプロジェクトマネージャー。
人工衛星搭載電子機器の設計、品質保証、プログラム管理業務に従事。日本機械学会会員。
Komukai Operations