

人工現実感技術の宇宙ロボットへの応用

吉江 勇貴・村山 茂樹・太田 英郎（石川島播磨重工業）

Abstract: The following items were introduced: the necessity of the space telerobotic system, space telerobotic testbed utilizing the artificial reality technology, the technical problems to be solved to apply the artificial reality technology to the space telerobotics.

Keywords: Space Robotics, Artificial Reality, Virtual Reality

1. 宇宙ロボットの必要性

1984年にレーガン大統領の一般教書演説と共にスタートした米国、カナダ、欧州、及び日本の国際協力による宇宙ステーション開発プロジェクトが本格化している。“Freedom”と名づけられたこの宇宙ステーションは、恒久的な有人施設であり、軌道上での実験や観測など、さまざまな目的に使用されることが期待されている。

21世紀に入り宇宙ステーションFreedomの運用が始まると、宇宙利用は新たな局面を迎える。従来の宇宙機システムが使い捨てを前提として設計されていたのに対し、今後は軌道上サービスを受けることを前提としたプラットフォーム型宇宙機が主流となる。機器の交換、燃料の補給といった軌道上でのサービス作業を受けることにより、宇宙機が長寿命化／多目的化し、宇宙利用のコストパフォーマンスの向上、宇宙利用分野の拡大、さらには宇宙工場における宇宙製品

の製造等、宇宙利用の商業化にもつながるものと期待されている。（図1）

この場合、軌道上でのサービス作業を全て宇宙飛行士に頼るのは、安全性、及びコストの面で困難であるため、宇宙ロボットの導入が不可欠となる。

次世代の宇宙ロボットには、プラットフォーム型宇宙機上に固定されるロボットアームや空間移動型のもの等、様々な形態が考えられるが、共通する特徴は、地上からの遠隔操作、及び部分自律制御によって運用されることである。

機器交換等のいくつかの定型作業は、自動的に行うことが可能であろうが、あらかじめプログラムしておくことが困難な作業（修理作業等）を実施するため、及び自動運用のバックアップとして、遠隔操作機能は特に重要となろう。

The Application of Artificial Reality Technology to Space Telerobotics
YOSHIE Yuki, MURAYAMA Shigeki, OHTA Hideo
(Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.)

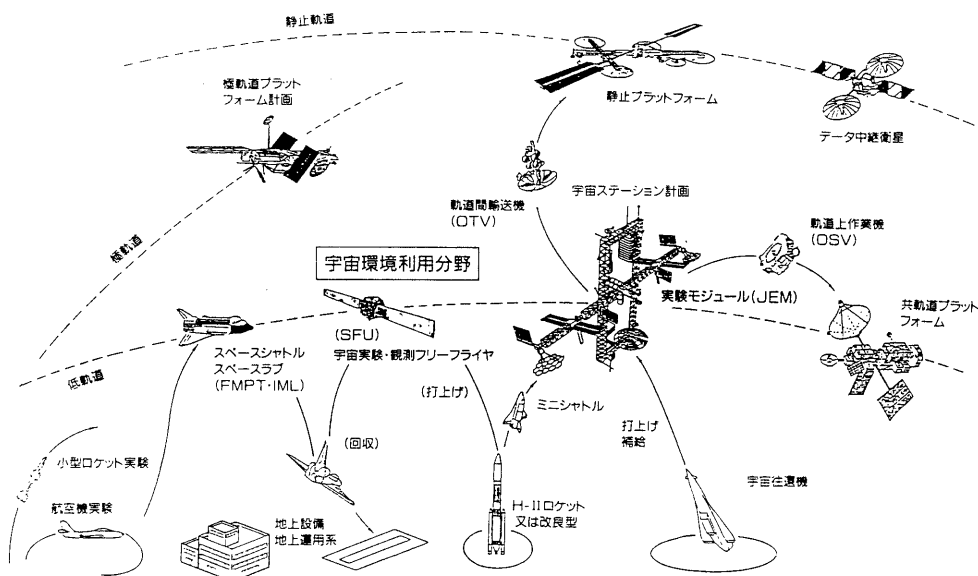


図 1 宇宙インフラストラクチャ

2. 人工現実感技術の適用

宇宙用テレロボットにおいて、オペレータフレンドリなマンマシンインタフェースを実現するため、及び地上／軌道上間の通信時間遅れ、通信データ量の制約といった通信環境に対応するため、筆者らのグループでは人工現実感(Artificial Reality, Virtual Reality)技術[1]の適用可能性を研究している。

人工現実感技術とは、人工の世界をオペレータの周囲に発生させ、あたかもその内部に自分が存在するかのごとく錯覚させる技術である。人工の世界は、計算機によって作り出された仮想空間の場合もあれば、遠隔操作ロボットのように、スレーブロボットの実作業環境の場合もある。

人工現実感技術を利用することにより、地上のオペレータはあたかも自分が宇宙の作業場所にいるかのような臨場感をもって作業を行うことが可能となる。

また、仮想空間を介することにより、通信時間遅れや通信データ量の制約を意識することなく宇宙ロボットを遠隔操作することが可能となる。

3. 宇宙ロボット研究用テストベッド

筆者らのグループで構築した宇宙ロボット研究用テストベッドを紹介する[2]。

テストベッドの構成を図2に示す。テストベッドの写真を図3に示す。本テストベッドは、以下のサブシステムから構成されている。

- (1) マンマシンインタフェース
- (2) ロボットシステム
- (3) 計算機システム

以下、各サブシステムの概要を紹介する。

3.1 マンマシンインタフェース

以下の機器から構成されている。

- (1) 頭部搭載型ディスプレイ (HMD) (図4)

オペレータに3次元立体画像を提示する。オペレータの頭部の動きを検出する磁気センサ (HPS: Head Position Sensor)が装備されている。オペレータ頭部

の動きに連動させてロボットシステムのステレオカメラの視線方向を制御することにより、オペレータに常に頭の向いた方向の画像を提示することができる。

(2) データグローブ (図5)

マスタアームとしてデータグローブと呼ばれる特殊手袋を利用している。指の曲がり角を検出する光ファイバーセンサと手の動きを検出する磁気センサーが装備されている。オペレータの手の動きは、ロボットアームに目標位置／姿勢を与え、指の曲がり角は、ジェスチャーによるコマンド入力に利用している。

ジェスチャーによって入力可能なコマンドは、以下のとおり

- ・ ロボットアーム手先のグリッパの操作
- ・ マスタスレーブ比の変更
- ・ 音声認識のトリガー

(3) 音声認識システム

HMDを装着したオペレータがキーボード操作を行うのは困難であるので、音声によりコマンドを入力するため、音声認識システムを利用している。

音声認識によって入力可能なコマンドは以下のとおり

- ・ 制御モード (マスタスレーブ／プログラム制御) の変更
- ・ ロボットアームの初期化
- ・ マスタスレーブ操作時の原点の初期化
- ・ ロボットアーム手先のグリッパの操作

(4) 音声合成システム

音声認識結果の確認、オペレータに対する作業指示／警告等のために音声合成システムを利用している。

3.2 ロボットシステム

軌道上を想定したロボットシステムは、以下の機器から構成されている。

(1) ロボットアーム

通常の産業用ロボットアームを利用している。

(2) ビジョンシステム (図6)

2台のCCDカメラと視線方向を制御するための雲台から構成されている。雲台には5軸の産業用ロボットアームを利用している。

(3) 実験用ORU (図7)

一般に、宇宙機システムの寿命を延ばす場合には、寿命の短い機器や信頼性の低い機器は着脱の可能な箱の中に入れておき、故障時には箱ごと交換するという設計を行う。このような箱のことを軌道上交換ユニット (ORU:Orbital Replacement Unit) という。本テストベッドにおいては、実際に宇宙ステーションで使用するORUのスケールモデルを用いて機器交換作業を行うことにより制御方式の検証を行っている。

(4) 画像処理システム

アーム手先カメラと画像処理装置より構成される。

ORUの把持動作等のような精密な位置決めを要する作業の場合には、把持対象物に取り付けられた視覚マーカをロボットアーム手先カメラによって撮影し、画像処理により自動的に目標位置を算出し、ロボットアーム手先を目標位置に位置決めすることができる。(画像フィードバック制御)

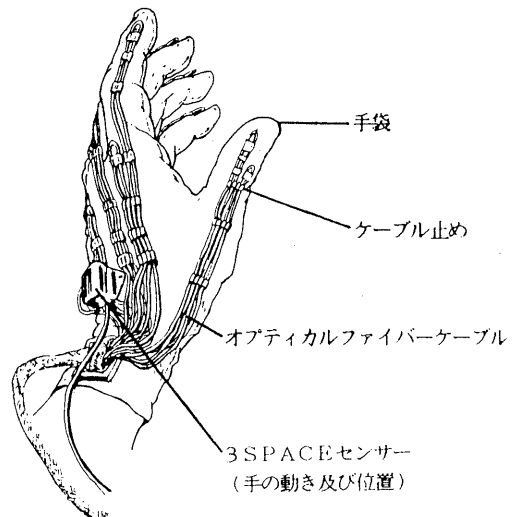


図5 データグローブ (VPL社)

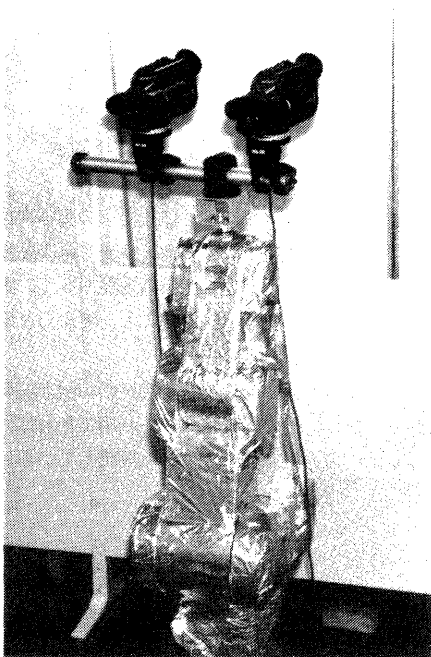


図6 ビジョンシステム

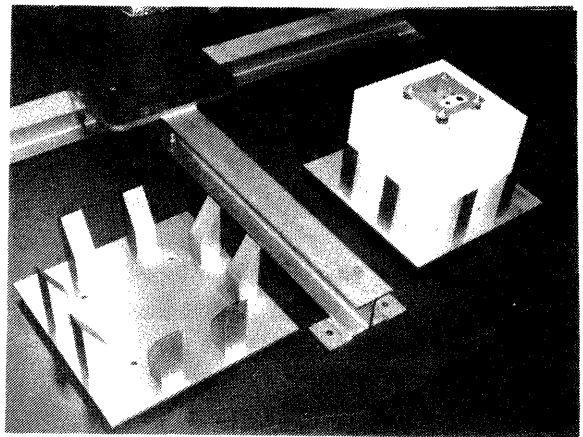


図7 実験用ORU

3.3 計算機システム

以下のコンピュータから構成されている。

(1) VME計算機 (2台)

遠隔操作に関わるソフトウェアはVxWorks (リアルタイムOS) 上のC言語で記述され、VMEボード計算機 (MC68030) に搭載されている。

(2) EWS (SUN-4)

自律制御に関わるソフトウェアはUNIX上のLisp言語で記述され、SUN-4に搭載されている。

ORU交換作業のようにあらかじめ作業手順の決まっている作業については、遠隔操作に全面的に頼ることなく自律的に行わせるのが確実であり、オペレータの負担も軽減できる。

本テストベッドロボットの場合には、音声によって、

「ORU取外し (Fetch ORU)」、または「ORU取付け (Furnish ORU)」のコマンドが与えられると、センサ情報と内部モデルから動作環境のチェックを行い、自律的にORU取外し、またはORU取付け作業を行うことができる。

(3) EWS (IRIS)

リアルタイムロボットシミュレータ (IGRIP) がIRIS上に搭載されており、予測画像をオペレータに提示することができる。

地上から宇宙ロボットを操作するコマンドを送り、宇宙から地上へ動作結果の映像が送られてくるまでの間には、数秒の時間遅れを生ずる。予測画像を介した遠隔操作により、オペレータは通信時間遅れを意識することなくロボットを操作することができる。

現在は立体感のない平面的な予測画像しか得られていないが、今後、立体画像による予測画面を生成し、HMDに送り込むことを計画している。

4. 今後の課題

本テストベッドにより、遠隔操作または自律制御によるORU交換作業が実現できたが、今後、操作性、作業能率の高い次世代の宇宙ロボットを開発していくためには、さらに、以下のような課題を克服する必要がある。

4.1 マンマシン機器の性能向上

オペレータの臨場感を向上し、作業能率を上げるためには、HMDの視野角／解像度の向上が必要である。

4.2 仮想空間モデルの自動変更

通信時間遅れを補償するために予測画像を提示する方法をとっているが、現在使用しているロボットシミュレータでは、作業空間とのずれを検出して、シミュレータモデルを自動的に修正することができない。

今後はシミュレータ（仮想空間）のモデルと実際の作業空間とのずれを検出し、モデルを自動的に変更するシステムを構築することが課題である。

4.3 遠隔／自律融合制御の実現

ORU交換等の定型化された作業については、地上オペレータの作業指示に基づき、センサ情報により状況を判断しながら自律的に作業を行うことが望ましい。この場合、異常状態が発生し、自律的に異常状態から復帰できない場合には、速やかに遠隔操作系に切り換え、地上オペレータの介入を許すことが重要となる。

一方、遠隔操作によってピンの挿入などの作業を行う場合には、熟練作業者の手先の器用な動作をロボットの方で実現できることが望ましい。

現在は、遠隔操作モードと自律制御モードを別個に実現している。今後は、作業によって遠隔操作と自律制御を適当に切り換えたり 組み合わせたりできるシステムを構築することが課題である。

5. おわりに

以上、宇宙ロボット開発への人工現実感技術適用の可能性、人工現実感技術を利用した宇宙ロボット研究用テストベッドの現状と克服すべき技術課題について述べた。

人工現実感技術は、操作性、作業能率の高い次世代の宇宙ロボットを実現するためのブレークスルー技術となり得るものの、克服すべき技術課題も多く、実際の宇宙開発に役立つのは21世紀に入ってからと思われる。

しかしながら、近年、人工現実感技術の研究開発が活発化しており、その成果がうまく利用できれば、宇宙ロボットへの適用も早まることと期待している。

謝辞

本研究をご指導いただいている東京大学工学部機械情報工学科の広瀬通孝助教授、ならびに本研究にご協力いただいている（株）島津製作所殿に謝意を表する。

参考文献

- [1] S. S. Fisher et al.: VIRTUAL ENVIRONMENT DISPLAY SYSTEM, ACM Workshop on Interactive 3d Graphics, 23/34 (1986)
- [2] Y. Yoshie et al.: IHI Testbed for Space Telerobotics, Proc. International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space, 93/96(1990)