

## 技術試験衛星VII型(ETS-VII)の追加共同ロボット実験報告会

### 開催のお知らせ

日時：1999年12月10日(金)15:00～16:30

場所：東北大学工学部機械・知能系共同棟6階会議室

主催：東北大学大学院宇宙機システム学講座

後援：計測自動制御学会東北支部，

日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門第二地区委員会

### プログラム

司会：内山勝(東北大学)

15:00～15:15

「ETS-VIIの概要」

土井利次(宇宙開発事業団)

15:15～15:45

「宇宙ロボットのダイナミクスに注目したロボット制御実験：将来の衛星捕獲に向けて」

吉田和哉(東北大学)

15:45～16:15

「6自由度小型ハプティックインタフェースをETS-VIIに適用した場合の操作性の評価」

尹祐根(東北大学)

16:15～16:30

「共同実験の総括および総合討論」

内山勝(東北大学)

### ETS-VIIの概要と追加共同ロボット実験実施の経緯

技術試験衛星VII型は、無人の人工衛星においてロボットアームによる軌道上作業と自律的なランデブー・ドッキングの技術を検証・確立することを目的として、宇宙開発事業団によって開発された衛星である。同衛星は1997年(平成9年)11月28日に鹿児島県・種子島よりH-IIロケット6号機によって打ち上げられ、1999年(平成11年)5月末までの間に、当初予定されていた実験のほとんどすべてが成功裏に実施された。

無人の人工衛星においてロボットアームを使った作業を実施したことは、世界初。ま

た、無人の人工衛星において自律的なランデブー、低衝撃のドッキングを実施したことも世界初である。さらに、宇宙環境におかれたロボットアームの運用寿命の長さとしても世界最長である。

ここで得られた成果は、宇宙ステーションへの日本版無人補給ロケット(HTV)が、国際宇宙ステーションへ接近する際のランデブー・ドッキング技術の基礎となるものであり、また、近い将来に期待されているサービス衛星やレスキュー衛星(燃料切れにより寿命を迎える衛星や故障した衛星に対して、補給や捕獲・回収・修理等を行うロボット衛星)にむけての最先端の宇宙ロボット技術につながるものである。

同衛星は当初予定の実験終了後も順調な運用状態にあり、宇宙ロボットの研究を発展させるまたとない機会であるため、大学等の研究機関からの追加実験が公募された。これに、東北大学(2研究室)、東京工業大学(1研究室)、京都大学(1研究室)が応募し、いずれのロボット実験も1999年(平成11年)9月から11月の間に成功裏に実施された。上記の成果報告会は、東北大学の2研究室が実施した追加共同ロボット実験の成果を報告するものである。

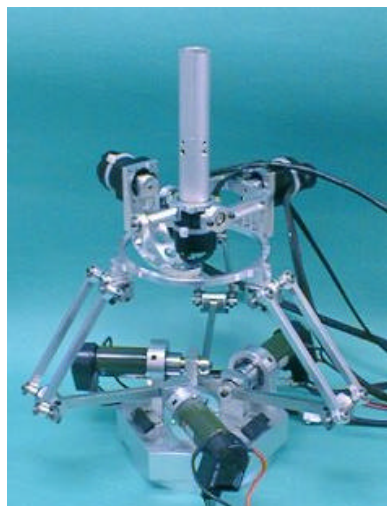
#### 東北大学 大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻 宇宙機システム学 内山研究室(内山 勝 教授)の実験の概要

宇宙空間のような厳しい環境下において大型構造物を建設する場合、莫大な費用と危険が伴います。そこで、人命の危険回避、コストの削減などといった問題を解決するため、宇宙用ロボットの開発が必要となります。このような宇宙用ロボットは、完全自律化されることが望ましいのですが、現在の技術でその実現は難しいことです。そこで、現実的であるのが遠隔操作によるロボットの活用になります。

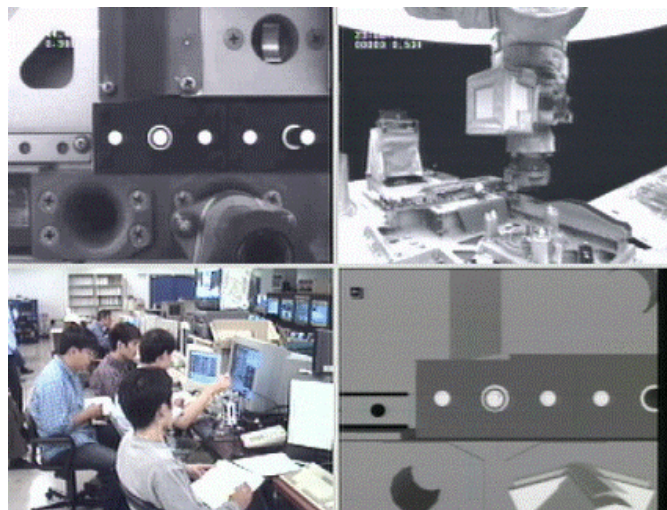
しかし、地上から軌道上のロボットを遠隔操作するような場合、地上と軌道上の間に通信時間遅れが存在するため、オペレータはロボットの動作をリアルタイムで確認できず、少し動かしては様子を見る、といったムーブアンドウェイトと呼ばれる動作を強いられてしまいます。そのため、オペレータの操作性は劣化し、作業効率を低下させてしまいます。そこで、効果的なオペレータ支援を含む効率的な遠隔操作システム技術を確立することが必要となるのです。

これまで、我々の研究室では、効率的な遠隔操作をするためのオペレータ支援技術をいくつか提案してきました。そして、それらの有効性を検証および評価するために、ETS-VIIのロボットアームを用い、遠隔操作実験を行いました。

本実験では、操作入力デバイスとして、我々の研究室で開発されたハプティックインタフェースを用いました。オペレータは、グラフィックシミュレータやロボットアームにとり付けられたビデオカメラの映像を見ながら、ハプティックインタフェースを用いて、さまざまな条件のもとに作業を行いました。



ハプティックインタフェース



実験風景

東北大学 大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻 自動制御学  
宇宙ロボット研究グループ (吉田 和哉 助教授) の実験の概要

燃料切れにより寿命を迎える衛星や故障した衛星に対して、補給・メンテナンスや捕獲・回収・修理等を行う無人のロボット衛星の活躍が、近い将来に期待されています。ETS-VIIではランデブー・ドッキング実験が行われましたが、専用のドッキングメカニズムを持たない一般の衛星に対しては、ロボットアームを伸ばしてターゲットとなる衛星を捕獲することになるでしょう。

このようなロボット衛星は軌道上の無重力環境で捕獲作業をしますので、ロボットアームを伸ばすと、その反動で自分の姿勢が傾いたり位置がずれるなどして、思い通りにターゲットを捕獲できないことが予想されます。これを防ぐためには、衛星に反動が生じないようなロボットアームの操作法や、衛星の反動をあらかじめ考慮に入れたロボットアームの操作法を確立する必要があります。我々は、ロボット衛星のダイナミクス解析により無反動制御法や反動予測制御法を導き、ETS-VIIにおいて実際に軌道上実験を行うことにより、これらの制御法が有効に働くことを確認しました。

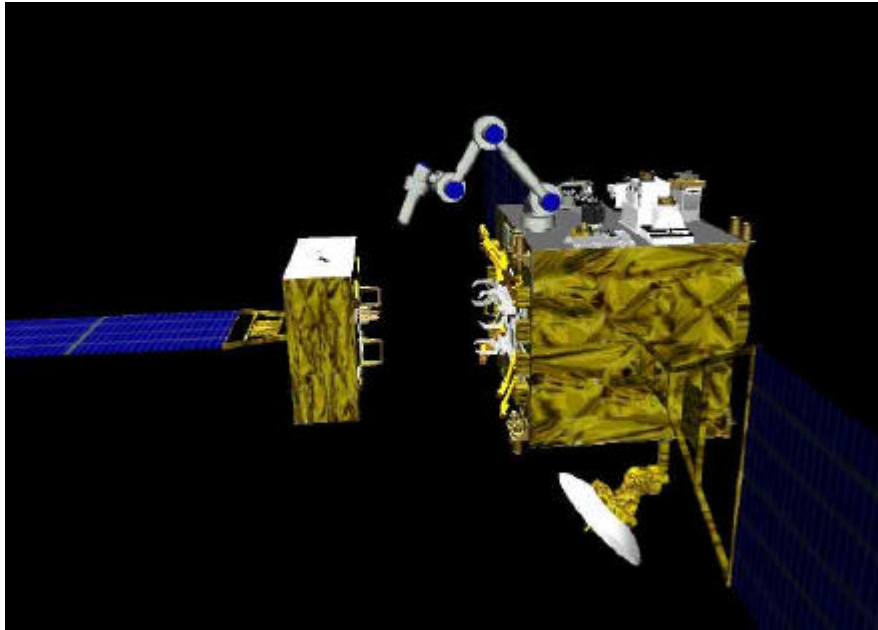


図 宇宙ロボットによるターゲット衛星の捕獲を想定したシミュレーションの例

#### ETS-VII Fact Sheet

- 名称 技術試験衛星 VII 型，略称 ETS-VII（イーティーエス・セブン）  
（全体の愛称「きく7号」，ランデブー・ドッキング実験のために軌道上でふたつに分離した際のチェイサ衛星の愛称「ひこぼし」，同ターゲット部分の愛称「おりひめ」.）
- 打ち上げ 1997年（平成9年）11月28日，H-II ロケット6号機にて
- 軌道 高度約550km，軌道傾斜角35度
- 衛星全体の重さ 約2.5トン
- 衛星の目的 (1)軌道上でのロボット操作技術および(2)衛星同士のランデブー・ドッキング技術の検証・確立．
- ロボットアーム 全長約2メートル，6関節
- 衛星の開発と運用主体 宇宙開発事業団(NASDA)
- ロボット実験に参加した機関 科学技術庁航空宇宙技術研究所，通商産業省工業技術院電子技術総合研究所，郵政省通信総合研究所
- 共同ロボット実験に参加した外国の機関 欧州宇宙機関(ESA)，ドイツ航空宇宙研究所(DLR)
- 追加共同ロボット実験に参加した大学 東北大学，東京工業大学，京都大学
- 最後のロボット実験 1999年（平成11年）11月29日
- 実験運用終了 1999年（平成11年）12月17日（予定）