

1. 題名

平成 12 年度選定 宇宙環境利用に関する公募地上実験 研究成果報告書 (概要版)

2. 研究期間

平成 12 年度 ~ 14 年度

3. 研究分野

宇宙利用技術開発分野

4. 研究区分

フェーズ I 研究 (B)

5. 研究テーマ名

軌道上作業ロボットアームの高機能操作に関する研究

6. 研究者名

吉田 和哉

7. 所属機関

東北大学 大学院工学研究科

〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 01

8. 研究成果概要

宇宙ステーション日本モジュールに搭載が予定されているわが国のロボットマニピュレータ JEMRMS は、親アーム (Main Arm)、子アーム (Small Fine Arm) をあわせて 12 自由度をもつ非常に先進的な多自由度冗長システムであり、ロボット工学の分野では「マクロ-マイクロ・マニピュレータシステム」というキーワードで特徴づけられる、たいへん優れた機構構成を有している。一般にマクロ-マイクロシステムは、(1) 位置決め精度や応答速度は高くないが、広い作業領域を確保できるというマクロ部の特性と、(2) 精細かつ応答の早い位置決めおよび細かな力制御が可能なマイクロ部の特性を足しあわせて、システム全体として高い操作性を発揮することができる点が特徴である。マクロ-マイクロシステムは、それにふさわしい制御を行うことにより高い能力を発揮し、ユーザからの高度な要求にも答えることができ、オペレータの操作性についても様々な可能性を含んでいる。しかしながら、もしも親アーム 6 自由度、子アームを 6 自由度を切り分け独立に制御するのであれば、マクロ-マイクロシステムとしての性能を十分に発揮することはできない。そこで、本研究では、親アームと子アームを協調的に制御することによってロボットハンドの位置決めと、ベース (親アーム) の振動抑制を両立させる制御法を提案し、その有効性を実機のダイナミクス特性を模擬したシミュレーションにより検証した。

本研究で開発した JEMRMS のグラフィックスシミュレーションモデルを 図 1 に示す。各部の諸元や動特性はフライトモデルの地上試験データをもとに、可能な限り忠実なモデル化をおこなった。また 図 2 に示すように、並進と回転の 2 つのジョイスティックを用いた操縦インターフェースについても、実際の運用環境を模擬できるものを製作した。

ところで、宇宙用マニピュレータの振動の要因は、これまで、ブームと呼ばれるリンク部の剛性の低さであると言われてきた。しかし、実際には、ブームは十分な剛性を有しており、むしろ、振動の大きな要因は、関節の剛性の影響であることが、JEMRMS フライトモデルの地上試験において確認されている。地上試験において同定された関節剛性を用いて、親アームに粗位置決め動作後の振動の様子をシミュレーションすると、図 3 のように数 cm のオーダーでアームが揺らいでしまうことがわかる。そこで、子アーム 6 自由度に、親アームの中でも比較的応答の速い手首 3 自由度を加えた協調制御を行うことを考察し、協調制御により効果的な制振・位置決め制御が実現できることを確認した。

また、子アームによる精位置決め動作中も、その反動により親アームが振動してしまう様子が明らかとなった (図 4 左)。この問題に対しては、これまで、子アームの動作速度を遅くして (加速度を小さくして) 反動の大きさを極力小さくするしか方法がないとされていた。しかしながら無反動制御を適用することにより、子アームの動作速度を落とすことなく、ベースにほとんど反動を生じない制御が可能であることが明らかとなった (図 4 右)。

以上の制振制御および無反動制御は、反動ゼロ空間に基づく干渉ダイナミクスの理論解析より導出されたものである。

また、パラメータ誤差が制御性能に与える影響についても、簡単な評価を行い、提案する制御方式のロバスト性を確認した。また、利用できる関節自由度数と制御指令の自由度数との関係についても、さまざまな組み合わせが可能なことを検討した。

軌道上ロボットアームは、国際宇宙ステーション ISS の建設、および ISS 上で遂行される各種実験・観測の支援、ISS のメンテナンスなどが主要な任務である。それに加えて、今後、太陽発電衛星などの軌道上大規模構造物

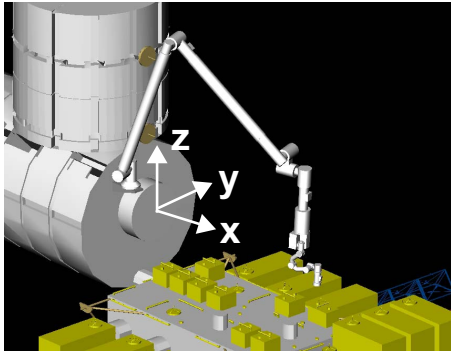


図 1: JEMRMS のグラフィックスシミュレーションモデル



図 2: 本研究にて構築した操縦シミュレーション環境

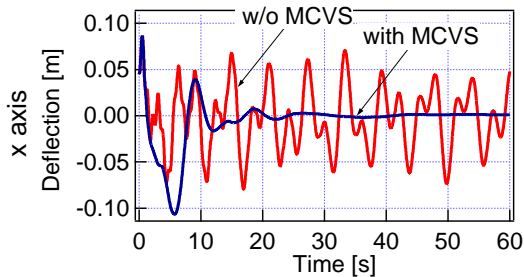


図 3: ハンド先端の振動特性 (w/o MCVS: 制振制御無しの場合, with MCVS: 制振制御有りの場合)

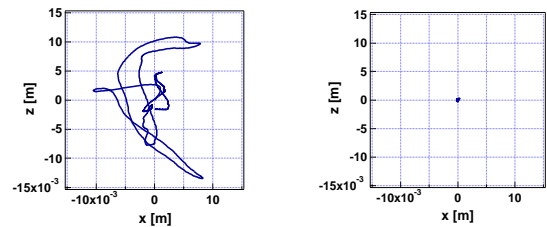


図 4: ベース部の運動の比較 (左: 無反動制御無し, 右: 無反動制御有り)

を構築する技術確立し、ノウハウを獲得していくテストベッドとして JEM (特に暴露部) の利用価値は高いと考えられる。大型の資材をハンドリングする際には、本研究で指摘したアームの振動が大きな問題となり、それに対処する無反動制御や振動抑制制御の重要性も増してくるに違いない。また、慣性パラメータが未知のペイロードに対するロバストで適応的な制御性能も重要なものとなってくる。本研究は、このような JEMRMS を活用した将来の発展に対して、キーテクノロジーを提供するものである。

9. 論文・特許等 (代表 5 件)

(1) Kazuya Yoshida and Satoko Abiko, "A Proposal for Performance Improvement of JEM-RMS with Reactionless Manipulation," Proc. of the 23rd International Symposium on Space Technology and Science, vol. 1, pp. 697-702, 2002-d-08, Matsue, Shimane, Japan, May 2002.

(2) 吉田 和哉, 安孫子 聡子, "親子協調による JEMRMS 無反動制御の提案," 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'02 講演論文集, 1P1-A07, 松江, 島根, 2002 年 6 月.

(3) 吉田 和哉, 安孫子 聡子, "宇宙ステーション用マニピュレータ JEMRMS による精細ハンドリング時の制御方式に関する考察," 第 45 回自動制御連合講演会, 1A1-B4, 仙台, 宮城, 2002 年 11 月.

(4) 安孫子 聡子, 吉田 和哉, "JEMRMS の動特性シミュレーションと振動抑制制御," 日本機械学会東北支部第 38 期総会・講演会講演論文集, no. 031-1, pp. 152-153, 仙台, 宮城, 2003 年 3 月.

(5) Satoko Abiko and Kazuya Yoshida, "An Effective Control Strategy of Japanese Experimental Module Remote Manipulator System (JEMRMS) Using Coupled and Un-Coupled Dynamics," Proc. of the 7th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space, AS18, Nara, Japan, May 2003.

10. 備考

参考 URL : <http://www.astro.mech.tohoku.ac.jp/JEMRMS>