

補助事業番号 2023M-301

補助事業名 2023年度 多軸慣性力発生装置による振動制御システムの開発 補助事業

補助事業者名 近畿大学工学部ロボティクス学科 田上将治

1 研究の概要

電子デバイスなどの微細な3次元形状を計測する高分解能な形状測定機器は、外部からの振動に敏感で、機器がその性能を発揮するには、外部振動を遮断あるいは低減することが重要となる。一般に外部からの振動は様々な方向から伝搬し、対象とする機器は様々な方向に揺らされる。この揺れを抑えるには、対象に適切な振動制御力を加えればよく、その力として本研究では慣性力を利用することを考えている。具体的には対象にアクチュエータを取り付け、それによっておもり(質量)を加速度運動させる。その時の加速度を正確に制御できれば対象には、質量×加速度の大きさの反力が作用する。従って、加速度を正確に制御できれば、所望の振動制御力を対象に与えることができる。一方で、対象は上述の通り様々な方向に揺れるため、多方向に慣性力を発生させる仕組みが必要になる。そこで本研究では、多自由度のアクチュエータとしてHexa型パラレルリンク機構を利用し、これに加速度制御を適用することで多軸慣性力発生装置を構成する。さらにこの多軸慣性力発生装置と、対象の振動状況に応じて発生すべき慣性力を決定する振動制御器(アルゴリズム)を組み合わせた多軸振動制御装置の実現を目指している。

2 研究の目的と背景

材料や電子デバイスの開発では微細化が性能向上に直結するため、開発においては、その微細な3次元形状を正確に計測することが求められている。これに伴い、計測機器側も高精度・高分解能化している。このような高分解能測定装置は外部からの振動に敏感で、測定結果に大きな影響を与えるため、外部振動を遮断あるいは低減することが実用上の重要課題となっている。そこで、本研究では、このような高分解能測定装置を対象とした振動制御装置の開発に取り組んでいる。

3 研究内容

本研究では多方向の揺れに対応するため多自由度アクチュエータであるHexa型パラレルリンク機構を利用する。図1および図2に本機構の3D-CADモデルと実際に試作した装置の写真を示す。この機構では、モータと減速機で回転する六つの独立な回転アームがあり、このアームの先に棒状のリンクがボールジョイントを介して取り付けられており、このリンクのもう一端も、ボールジョイントを介して可動端と接続されている。アームの角度を適切に制御することで、可動端を3次元6自由度で動かすことができる。さらにこの可動端を加速度制御することで多方向の慣性力を発生させる。発生すべき慣性力は対象の振動状態に応じて振動制御器が決定し、この振動制御器の

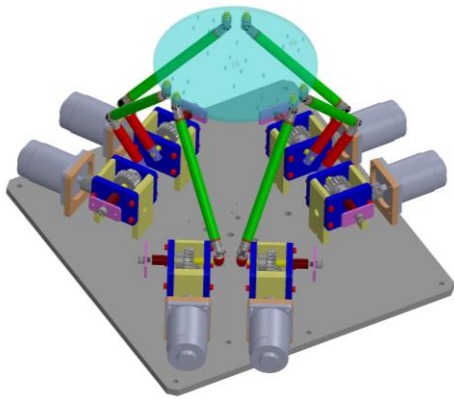


図1 試作装置の3D-CADモデル

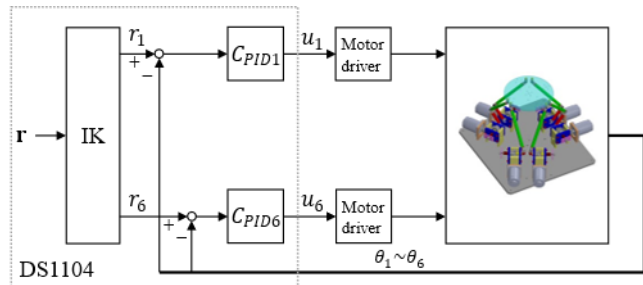


図3 位置姿勢制御系

(IKブロックが逆運動学, C_{PID} ブロックが角度制御器)

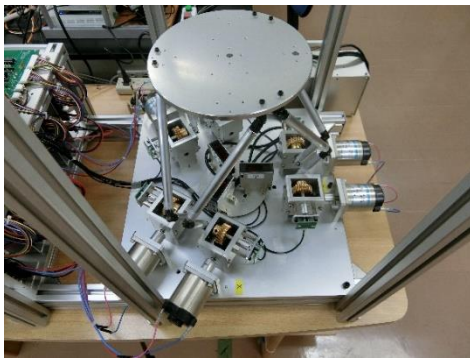


図2 試作装置の外観写真

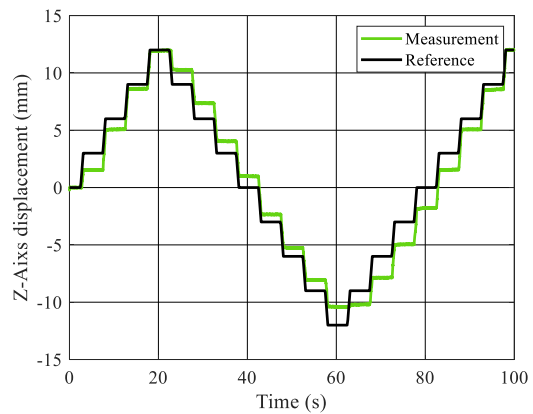


図4 階段状信号を指令値とする位置決め実験結果

設計も課題である。以上のことから、まず本研究ではアクチュエータとなるHexa型パラレルリンク機構の試作から着手した。先行研究によりある程度設計がまとまっていたが、実際に製作してみると可動端が支持されず、位置や姿勢が定まらない状態が生じた。また、各部の部品のバックラッシュも制御性能に大きな影響を与えることが明らかになった。前者の問題はアームとリンクのペアを変更することで回避できることがわかり、そのように対応した。後者は一部の部品を再設計、再製作して対応した。次にアームの角度制御系を設計、実装した。多軸慣性力発生装置としては可動端の加速度制御が重要となるが、その際に可動端を基準となる位置と姿勢に保つ必要があり、そのためにアームの角度制御系が必要となる。これには可動端の位置/姿勢と6本のアーム角度の関係を与える逆運動学を導出して、アーム目標角度を決定し、制御器にはよく知られたPID制御を用いて実験を行った。図3に制御系のブロック線図を、図4に結果の一例としてZ軸方向のステップ応答試験の結果を示す。図4の通り、目標値と実際の動作に乖離があり、試行錯誤的な調整では満足な性能が得られなかった。そこで、Dual Model Matching法と呼ばれる制御系設計手法にて再設計を行った。現在、この制御手法による制御性能を評価中である。この後に、加速

度制御系の設計と実装、振動制御器の設計と実装が取り組むべき課題として残っているが、基礎的な検討は終わっている。前者については、ロボット工学分野で知られている分解加速度制御を用いることを考えており、後者に関しては他の研究テーマで実績のあるDirect Velocity Fed Back (DVFB)と呼ばれる振動制御手法を用いることを考えている。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究では高分解能な形状測定装置をターゲットとしており、そのような精密機器分野での振動外乱問題を解決する手段の一つになることが期待される。残っている研究課題に精力的に取り組む、早期の研究完成を目指したい。一方、本研究で提案している振動制御の手法自体は、今回の対象領域に限らず広く応用できるものと考えられ、例えば高層建物の制振などへの応用も考えられる。基礎的な理論が構築できた後には広い応用を考えていきたい。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

前職にて精密計測装置の開発に携わった経験があり、その際に精密測定装置における外部振動の問題を知ることができた。また、このことをきっかけに振動制御の研究に取り組むこととなり、博士学位取得につながった。さらに博士学位取得後の職務経験の中で、多自由度アクチュエータであるパラレルリンク機構に接点を持つことができた。現在、再び振動制御のテーマに係わっているが、上述の経験が基になり、今回の研究の着想、計画に至っている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

本研究に関して、以下の口頭発表を行った。

田上将治, “Hexa 型パラレルリンク機構の試作と位置・姿勢制御実験”, 日本設計工学会関西支部2023年度研究発表講演会, 講演論文集pp.49-50, 2024

(URL) [近畿大学工学部ロボティクス学科](#)

7 補助事業に係る成果物

上記に述べたもの以外にはなし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 近畿大学 工学部(キンキダイガク コウガクブ)

住 所: 〒739-2116

広島県東広島市高屋うめの辺1番

担 当 者 准教授 田上将治(タガミマサハル)

担 当 部 署: ロボティクス学科(ロボティクス学科)

E - m a i l: tagami@hiro.kindai.ac.jp

U R L: <https://www.kindai.ac.jp/engineering/>