

氏名	八島 真 人		
授与学位	博士（工学）		
学位授与年月日	平成5年3月25日		
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項		
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学第二専攻		
学位論文題目	滑り接触を利用した複数ロボット指機構による 協調操りに関する研究		
指導教官	東北大学教授 中野 栄二		
論文審査委員	東北大学教授 中野 栄二	東北大学教授 猪岡 光	
	東北大学教授 長南 征二	東北大学教授 内山 勝	

論文内容要旨

第1章 序 論

近年、産業用ロボットの各産業分野への導入は盛んになりつつあるが、ロボットによる組立て産業を考えた場合、対象物の位置・姿勢決め産業は、まだ多くを人手に依存している。現在、位置・姿勢決め段階での自動化を阻む要因として、(1)対象物や治具を組立て作業に応じて専用設計しなければならない、時間・コストがかかる、(2)治具を自動的に交換・再配置することは困難である、(3)ロボットアームを操り機能をもった組立て用治具として考えたとき、機構が複雑な上に可搬重量が小さい、という問題点があった。これらの問題点を解決するために、治具要素の再配置が不要で、かつ重量物の「固定」と「操り」の両機能を合わせもった自動治具として、図1に示すような回転台座と並進1自由度からなるRBSF機構 (Mechanism with Rotational Base and One Sliding DOF Fingers) を提案する。この機構の特徴は、1自由度しか持たない指を複数配置したことである。このため機構を簡略化することができ、アクチュエータとして空気圧・油圧シリンダなどを用いれば、重量物の操りが可能となる。一方、各指の自由度が少ないため、操り時に接触点において滑りが生じ、対象物に任意の加速度を発生させる

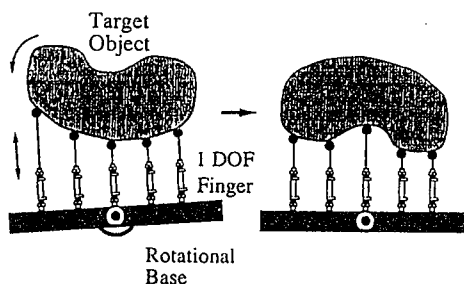


図1 RBSF機構による対象物の操り

ことができないという欠点を持つ。そこで本論文では、これらの欠点を克服するために、従来あまり研究されていなかった滑りを伴う操りの運動学的・動力学的諸問題を明らかにし、RBSF 機構による操りの可能性を理論的・実験的方法により検証している。

第 2 章 把持と操りの一般的解析

本章では、一般の把持操り問題を幾何的構造と力学的構造から考察を行い、滑りを考慮した把持・操りの統一的な理論の体系化を行っている。さらに滑りを伴う操りの分類を行い、その特徴を明らかにしている。

まず幾何学的構造として、対象物と指先の運動学の関係から把持行列を定義し、把持の条件は把持行列のランクによって決まることを明らかにしている。力学的構造として、仮想仕事の原理により得られる力・トルク空間の関係から、操りの条件はヤコビ行列と把持行列のランクによって決まることを明らかにしている。この操り条件をもとに、操りは「無条件幾何拘束型操り」、「条件付き幾何拘束型操り」、「摩擦拘束型操り」、「摩擦非拘束型操り」、「過少自由度拘束型操り」、「過少自由度非拘束型操り」に分類できることを示している。さらに、ここで得られた知見をもとに、滑りを伴う操りの分類を行い、RBSF 機構による滑りを伴う操りの位置付けを明確にしている。

第 3 章 RBSF 機構による操りの運動学と動力学

本章では、RBSF 機構による操りを実現させるために、RBSF 機構の運動学的・動力学的諸問題を明らかにし、従来の多腕・多指と操りとは異なった逆動力学問題の解法を提案している。

まず、接触点での滑りの状態により、「 ω ・非拘束相」と「 ω ・拘束相」という力学的に異なった二つの相が現れることを示しているこのため、現在の運動状態の属する相によって現在の動力学方程式が決まり、次の運動状態への遷移が可能であるか否かは、そのための加速度・角加速度を発生させる動力学方程式の解の存在如何にかかっていることを指摘している。 ω ・非拘束相の操りでは、RBSF 機構の特殊性から発生させることができる対象物加速度・角加速度は限られているため、解が得られるよういくつかの操りの条件を緩和することにより、目標相対角加速度に対して、対象物加速度・角加速度・接触力等の解が得られることを示している。また、逆動力学問題を解く際に、多目的計画法を導入し、操り変数を最適化する手法を提案している。

第 4 章 RBSF 機構による操りの計画

本章では、第 3 章で得た知見をもとに RBSF 機構による操り計画について述べている。RBSF 機構の特殊性のため、加速度・角加速度を運動学方程式の解として与えることができないため、従来のロボット・アームで用いた軌道計画とは異なった工夫が必要である。

まず、対象物の台座に対する相対角に対して目標相対角加速度を発生させるための最適な台座角が求まることを示している。これは、ある相対角に対する逆動力学問題の解のうち、操りの方針に基づく優先順位で最適な台座角である。また、ある対象物台座相対角近傍の操りは、図 2 に示すように、得られる動力学方程式解の重心加速度がゼロであるか否かによって「重心静止局所操り」と

「重心振動局所操り」に分けられることを示している。また、 ω 、非拘束相と ω 、拘束相を使い分けることにより、連続的な操りが可能となることを明らかにしている。さらに、局所操り期間を連続的につなぐことにより、大域操りが実現できることを示している。最後に、RBSF機構の操りの特徴について明らかにしている。

第5章 RBSF機構による操りの制御

本章では、RBSF機構の制御システムとその制御系について述べている。

まず、本研究で構築した制御システムと試作したRBSF機構による治具装置について述べている。操りの制御は、非線形フィードフォワード補償と関節のローカルな位置・速度フィードバック補償を行っている。また、対象物と指先の接触を維持させるために指先法線方向に仮想的な剛性を設定し、コンプライアンス制御を行っている。

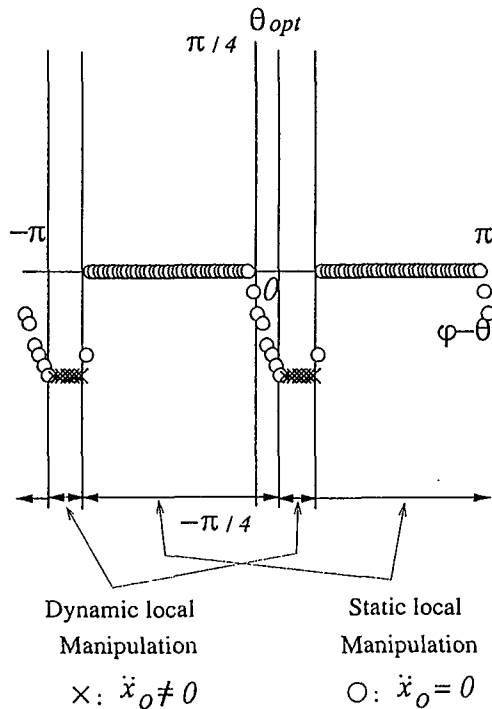


図2 重心静止局所操りと重心振動局所操り

第6章 RBSF機構による操り実験とその考察

本章では、RBSF機構による操り実験により、以上の議論の妥当性と有用性を示している。

それぞれ代表的な対象部相対姿勢に対して、重心静止局所操りと重心振動局所操りの実験を行い、RBSF機構による局所操りの可能性を示している。また、大域操りの実験を行い、局所操りを繰り返すことにより大域操りが可能であることを示している。

第7章 考察と将来への発展性

本章では、RBSF機構の操りについて考察を行う。RBSF機構の操りに関する問題点・技術的課題を指摘するとともに、将来の発展に向けて、幾つかの項目について可能な解決法を提案している。

第8章 結論

本章では、本研究で得られた主要な結論について述べている。

審査結果の要旨

近年、産業用ロボットの各産業分野への導入は盛んになりつつあるが、ロボットによる組立て作業を考えた場合、対象物の位置・姿勢決め作業は、まだ多くを人手に依存している。これまでも、治具をモジュール化した汎用システムが提案されているが、組立て作業に応じて各治具要素を再配置しなければならないといった問題点や、従来のロボットアームは、機構が複雑な上に可搬重量が小さく、重量物の操りは困難であるといった問題点があった。

本論文では治具要素の再配置が不要で、かつ重量物の「固定」と「操り」の両機能を合わせもった自動治具として、RBSF 機構を提案する。この機構の特性上、対象物の操り時に接触点において滑りが生じ、また任意の加速度を発生できないという欠点をもつ。これらの欠点を克服するために、滑りを伴う操りの運動学的・動力学的諸問題を明らかにし、RBSF 機構による操りの可能性を理論的・実験的方法により検証し、その有用性を証明したもので、全編8章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、一般の把持・操り問題を幾何学的性質と力学的性質から考察を行い、その基礎理論を誘導し、滑りを伴う操りについて述べている。

第3章では、RBSF 機構による操りの運動学・動力学について基礎式を誘導し、接触点での滑りの状態により、「 ω .非拘束相」と「 ω .拘束相」という力学的に異なった二つの相が現れることを示している。また、逆動力学問題の解を求めるときに考慮すべき条件と操り計画の方針について示すとともに、逆動力学問題を求める際に多目的計画法を導入し、操り変数を最適化する手法を提案している。

第4章では、対象物の台座に対する相対角に対して目標相対角加速度を発生させるための最適な台座角が求まることを示している。また、ある対象物台座相対角近傍の操りは、得られる動力学方程式解の重心加速度によって「重心静止局所操り」と「重心振動局所操り」に分けられるとともに、 ω .非拘束相と ω .拘束相を使い分けることにより、連続的な操りが可能となることを明らかにしている。さらに、局所操り期間を連続的につなぐことにより、大域操りが実現できることを示している。

第5章では、RBSF 機構の制御システムとその制御系について述べている。

第6章では、RBSF 機構により操り実験により、以上の議論の妥当性と有用性を示している。

第7章は、考察である。RBSF 機構の問題点を指摘するとともに、将来の発展に向けて、幾つかの項目について可能な解決法を提案している。

第8章は、結論である。

以上要するに本論文では、滑りを伴う操りの運動学的・動力学的諸問題を明らかにし、RBSF 機構による操りを理論的・実験的方法により検証し、その実用性を証明したものであり、ロボット工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。