

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 原 光博

原 光博 (はら みつひろ) 提出の本論文は「四脚ロボットによる物体の協調搬送」と題し、全8章からなる。本論文では、複数の四脚ロボットが単一物体を協調して搬送するための解法と評価方法を構築した。これにより、複数の四脚ロボットによる物体の協調搬送作業の達成が可能となった。

第1章および第2章では、複数の脚型ロボットによる物体の協調搬送作業の必要性、従来研究および本論文での目的を述べている。脚型ロボットは、全方向移動や接地点選択が可能であるなどの利点がある。特に、四脚ロボットは、二脚ロボットより安定性に優れ、六脚以上の多脚ロボットより構造が簡単で可搬重量の増大が見込めるため、作業に適している。脚型ロボットに関する従来研究では、単体ロボットの歩容生成に関する研究が中心であり、脚型ロボットの移動特性を考慮して協調作業を行う研究はなされていない。従来研究より四脚ロボットが実用速度で歩行するときにはロボット胴体の揺動が不可避であるので、ロボットは揺動へ対処して協調する必要がある。本論文では(1)四脚ロボットによる物体の協調搬送問題における揺動の捉え方、(2)その揺動に対処する搬送システム的设计指針、(3)その揺動を伴う搬送システムの評価方法を提示し、これらの考察に基づいて四脚ロボットによる物体の協調搬送システムを構成することを述べている。

第3章では、脚型ロボットによる物体の協調搬送問題を脚と胴体、搬送対象物からなる系とみなして一般化している。搬送対象物の揺動とは、ロボットと搬送対象物の間に介したエンドイフェクタの変位の変動であり、バネ機構で消費するエネルギーであること、特に、協調相手への方向の成分が重要であるので、揺動の抑制にはロボット間の相対変位の制御が有効であることを示した。四脚ロボットが搬送対象物の揺動に対処して協調するには、マニピュレータの協調制御のように搬送対象物の制御に特化した設計では対応できない。搬送作業では搬送対象物の水平面内における目標速度の実現が重要なので、それを実現する運脚決定問題を優先し、次いで搬送対象物の揺動に対処できる機構と動作手法の組み合わせの設計が課題となることを述べている。搬送対象物の揺動へ対処するには、モデル化により抑制する方法とモデル化せずに外乱として許容する方法がある。本論文では、両者のアプローチに基づいて2つの搬送システムを設計し、検証実験を行うことを述べている。

第4章および第5章では、一方の搬送システムを設計し、搬送実験を行っている。この搬送システムは、搬送対象物の揺動をモデル化により抑制するアプローチに基

づいている。揺動を搬送対象物の変位として測定するエンドイフェクタを用い、線形フィードバックにより制御を行う搬送システムである。ロボット間の相対変位を制御するレギュレータに揺動モデルを付加することにより過渡特性・定常特性の改善をはかることが可能であることを述べている。ロボット間の相対変位の制御を過渡応答とし、ロボット間の歩行位相差の制御を定常応答として、2つの制御を分離し、まずロボット間の相対変位、続いてロボット間の歩行位相差の制御を行っている。搬送対象物の揺動を歩幅と歩行位相差に対して各々モデル化することにより、それぞれ過渡特性、定常特性を改善した。第4章では歩行位相差によるモデル化、第5章では歩幅によるモデル化を行った。

第6章では、もう一方の搬送システムの設計および搬送実験を行っている。この搬送システムは、搬送対象物の揺動をモデル化せずに外乱として許容するアプローチに基づいている。エンドイフェクタの機構と動作手法を単純化して搬送システムを構成する。搬送対象物の変位を仔細に測定できる高度なエンドイフェクタではなく、搬送対象物を把持せずに載せる箱型の台をエンドイフェクタとして採用している。搬送中の各時刻における測定値には大きなノイズが含まれるので、搬送対象物の変位を離散値として測定している。離散化された入力に対して、出力であるロボット速度も離散化し、離散化された入力と出力をルールとして割り当てた動作手法を提案した。

第7章では、四脚ロボットによる協調搬送システムの評価を行っている。まず、四脚ロボットによる物体の協調搬送問題では、搬送対象物の揺動に対処して協調するための機構と動作手法を評価すべきことを一般的に議論した。これは(1)搬送システムの作業性、(2)搬送対象物の安定性、(3)エンドイフェクタの機構に関する評価に相当することを述べ、提案した2つの搬送システムの比較を行った。搬送システムの作業性と搬送対象物の安定性をそれぞれ搬送システムの搬送効率と搬送対象物のエネルギーという評価指標によって評価し、エンドイフェクタは、重量、搬送対象物の把持の容易性、搬送対象物を固定する位置決め精度を評価した。

第8章では、結論として、四脚ロボットによる物体の協調搬送システムの構成方法と評価方法が確立されたことが述べられている。本論文で提案した手法により、四脚ロボットの特性を考慮した搬送システムを構築することが可能となった。

以上を要約するに、本研究は、今後予想される複数の脚型ロボットを用いた物体の搬送作業システムの構成方法を構築し、実環境での搬送を実証したことから、この論文は精密機械工学のみならず、工学全体の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士(工学)学位請求論文として合格と認められる。