

論文内容の要旨

博士論文題目 人間共依型作業補助アームの研究

氏名 樋口 峰夫

(論文内容の要旨)

人間の力学的な作業の補助を安全に行うことを目的として、アーム手先が任意の 2 次元状の案内面に拘束され、その面内では人間が与えた外力により自由に動作可能な“作業補助アーム”を新たに開発した。本論文では、作業補助アームの原理と機構、作業補助アームのキーパーツである無段変速機 (CVT) の詳細、原理検証用に製作した試作機の設計と実験結果についてまとめた。

まず、作業補助アームの基本的な原理と性質について述べた。作業補助アームは、CVT と差動歯車を組み合わせた“線形和機構”を組み込んだ平行リンク式の 3 関節垂直多関節型アームの構造を持つ。CVT の変速比を制御することで、設定した案内面に沿った方向に外力が加わるとその方向に動作可能だが、案内面からはずれる方向に外力が加わっても動作できない性質を得る。CVT の変速比はアームの関節角度と案内面に立てた法線方向ベクトルから計算される。CVT の変速比から構成される変速比ベクトルを導き、変速比ベクトルの微分関係について説明した。変速比ベクトルの微分関係により、変速比の分解能に対する案内面の法線方向ベクトルの分解能、アームの動作に対する変速比の変化する速度 (変速比速度) を導いた。また、作業補助アームの運動学的な特性として可操作性を考え、可操作性の指標となる“作業補助アームの可操作性楕円”を導いた。

次に CVT の特性について説明し、CVT を設計する際に必要になる各関節の変速比の範囲、並びに変速比速度の範囲について検討した。3 関節それぞれの CVT の変速比範囲相互の比は、根本から順にアームのリーチ、上腕の長さ、前腕の長さの比となることがわかった。これらの最大値はアームのリーチなので、変速比をアームのリーチで割れば変速比を正規化することができる。また、3 関節それぞれの変速比速度について、その絶対値の最大値相互の比も、変速比範囲の

比と同様となることがわかった。

次に、CVTの構成、設計、特性について述べた。ホイールとローラを主な構成要素とし、ホイールの舵角を変化させることで変速する摩擦駆動方式のCVTを提案し、変速比とホイールの舵角の関係、舵角を変化させる速度である舵角速度と変速比の分解能などの設計検討、CVT機構の詳細について述べた。また、ホイールとローラ間の摩擦特性について調べるために製作したCVT試験機を用いて、ホイールの摩擦係数、ホイールの予圧に対して見込める摩擦力、ホイールの舵角を変化させるときの操舵トルク、ホイールの転がり摩擦を測定した。

最後に、作業補助アームの原理を検証し、機能と性能を調べるため開発した試作機の仕様、機構設計について述べた。試作機設計の考え方を詳しく説明した。試作機による案内面生成実験により、作業補助アームが設定した案内面を生成できることを実験的に確認した。また作業補助アームの可操作性楕円の主軸半径が長い方向ではアームを動かす力が小さく、短い方向ではアームを動かす力が大きくなることを確認した。実験結果をもとに、作業補助アームの性能評価指標を提案した。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、人間の力学的な作業の補助を安全に行うことを目指し、アーム手先が任意の2次元状の案内面に拘束され、その面内では人間が与えた外力により自由に動作可能な“作業補助アーム”の実現を目的としている。作業補助アームの原理と機構を提案し、設計原理について検討し、作業補助アームのキーパーツである無段変速機(CVT)の詳細と試作機の設計について示し、実験により有効性を示している。本論文の主な成果は以下に要約される。

1. 人間の力学的な作業の補助を安全に行うことを目的とした作業補助アームを提案している。その基本的な原理として、CVTと差動歯車を組み合わせた“線形和機構”を組み込んだ平行リンク式の垂直多関節型アームの構造と、アームの関節角度と設定した案内面に立てた法線方向ベクトルを用いてCVTの変速比を求める動作原理について新たに提案している。
2. CVTを設計する際に必要になる各関節の変速比の範囲、および各関節の変速比を変化させる速度である変速比速度の範囲について検討を加え、変速比範囲相互の比、並びに変速比速度最大値相互の比は、アーム長の比になることを明らかにしている。回転および並進運動するローラとホイールから構成される摩擦駆動方式のCVTを提案している。またCVTの摩擦特性について実験により示している。
3. 試作機による案内面生成実験により、作業補助アームが設定した案内面を生成できることを実験的に確認し、作業補助アームの有効性を示している。設計指針として活用できるよう試作機の具体的な設計手法について詳しく述べている。また負荷容量とアームのリンク長からなる作業補助アームの性能評価指標を提案している。

以上のように、本論文は作業補助アームを開発し、人の力学的作業補助を実現する手法についてまとめたものであり、パッシブ・ロボティクスと呼ばれる分野を確立している。このように、人間支援のためのロボット技術の向上及び発展に大きく貢献している。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として価値があるものと認める。