

審査の結果の要旨

氏名 本間 敬子

論文題目「ワイヤパラレル機構を用いた上肢・下肢運動支援装置の研究」の学位請求論文は、ワイヤパラレル機構を用いて上肢および下肢を対象とした運動支援装置を実現するための手法を明らかにすることを目的としたものである。本研究の成果は、ワイヤパラレル機構を用いて、障害のある上肢を支持し、机上での書字、描画等の作業の実行を補助する上肢運動支援装置および下肢の関節拘縮を予防・改善するための可動域訓練動作を提供する下肢運動支援装置をそれぞれ開発したことである。

本論文の第1章は序論であり、研究の背景と福祉ロボット分野における従来の研究、安全性の観点からの従来の福祉ロボット研究の問題点を概説している。

第2章では上記本論文の目的を述べるとともに、本研究の特徴ならびに本論文の構成を示している。

第3章および第4章では上肢運動支援装置について述べている。

第3章では、はじめに上肢運動支援装置の使用場面を設定し、同装置に必要な条件を示している。次に、上肢運動支援装置を実現する方法として、前腕の手首側と肘側を各3本のワイヤで天板から吊り下げ、それぞれのワイヤの長さを制御することにより腕の運動を実現する方式を提案している。続いて、上肢運動支援装置によって得られる腕の運動を予測するための、2種類の数値モデルを構築し、数値計算によって設計パラメータと得られる可動範囲との関係について論じている。

第4章では、提案する上肢運動支援装置の実現可能性について評価するために試作した実験装置について述べるとともに、第3章で構築した数値モデルに対応する2種類のモデルアームを用いて行った動作実験について述べている。実験の結果、天板から1000mm下方における可動範囲の断面は、モデルアーム長に対し、157%および137%の長さの対角線を持つほぼ四辺形の形状であり、その断面積はモデルアーム長を一辺とする正方形の面積にほぼ等しいことから、実験装置を用いて机上作業が可能な可動範囲が達成されることを示している。

第5章から第7章では、下肢運動支援装置について述べている。

第5章では、複数本のワイヤによって脚を吊り下げ、それぞれのワイヤの長さを制御することによって脚の位置決めを行い、多自由度の関節可動域訓練を実現する下肢運動支援装置の概念を提案している。また、対象とする自由度を膝関節の屈曲伸展、股関節の屈曲・伸展、内転・外転、内旋・外旋としている。続いて提案する方式の実現可能性を検討することを目的とした、膝関節の屈曲・伸展を行う単自由度機構実験装置の設計・試作および動作実験について述べている。

第6章では、第5章の議論を踏まえて、膝関節および股関節の屈曲・伸展を行う2自由度機構ならびに膝関節および股関節を対象とした4自由度機構の設計および試作したそれぞれの実験装置について述べている。単自由度機構について行った実験から、巻取機構が固定されていると脚の関節角度変化に伴ってワイヤ張力方向と脚の長軸とのなす角度が大きく変化するため、所期の動作が達成されないという問題点が明らかになった。この問題を解決するために、2自由度機構および4自由度機構では曲線状のレール上を動く可動式巻取機構を採用している。レール形状は脚に対するワイヤ張力の方向および長さを一定にするという基準の下で設計されている。また4自由度機構では、健常成人の正常歩行時の股関節の動きから、内転・内旋ないし外転・外旋を複合的動作として実現するものとし、パンタグラフ状の機構に脚を固定し既存のワイヤで牽引することによって上記動作を実現する方式を提案している。

第7章では、第6章で試作した2自由度機構および4自由度機構の実験装置を用いて行った動作特性評価実験について示している。2自由度機構実験装置では、テストダミーにより膝関節および股関節の屈曲・伸展動作が可能であることを示した。4自由度機構実験装置では、テストダミー

によって 4 種類の動作パターンを実行可能であることを示している。また健常男性 5 名からなる被験者によって動作特性を評価するとともに、装置の使用感に関する主観評価を行っている。主観評価については、試作した実験装置は市販の CPM 装置に比べて拘束感が有意に小さいという評価結果が得られた。

第 8 章では上肢・下肢運動支援装置について、機械安全、動作の達成度、ワイヤパラレル機構を使用する利点および問題点、残された課題および本研究の限界、ワイヤパラレル機構を医療福祉ロボットに適用するにあたって留意すべき事項の観点からそれぞれ考察を行っている。

第 9 章では本研究の成果をまとめた結論を示している。

以上のように、本論文はワイヤパラレル機構を上肢および下肢の運動支援に適用するための手法を、数値モデルの構築や装置の試作、実験という一連の手順を通じて明らかにした論文として、極めて高い評価を与えることができる。これにより、より安全性の高い福祉ロボットの実現に道を開き、多くの高齢者・障害者に恩恵をもたらすものといえる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格であると認められる。