

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	安全性と快適性を改善した手首・前腕のリハビリテーションのための装着型ロボットの運動力学解析および設計
Title(English)	Kineto-Static Analysis and Design of Wearable Robot for Wrist and Forearm Rehabilitation with Improved Safety and Comfort
著者(和文)	LiuYing-Chi
Author(English)	Ying-Chi Liu
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12181号, 授与年月日:2022年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:武田 行生,菅原 雄介,岩附 信行,岡田 昌史,三浦 智
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12181号, Conferred date:2022/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		LIU Ying-Chi	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	武田 行生	教授	審査員	三浦 智	講師
	審査員	菅原 雄介	准教授			
		岩附 信行	教授			
		岡田 昌史	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Kineto-Static Analysis and Design of Wearable Robot for Wrist and Forearm Rehabilitation with Improved Safety and Comfort (安全性と快適性を改善した手首・前腕のリハビリテーションのための装着型ロボットの運動力学解析および設計)」と題し、全5章よりなる。

第1章「Introduction (緒論)」では、本研究の背景、関連研究および本論文の目的と構成について述べている。脳血管障害患者が失われた運動機能を回復させ日常生活動作を自立して行うためには、リハビリテーション(以下、リハビリと略記)を十分な時間をかけて行うことが必要であり、多くのリハビリロボットが開発されてきたものの、実用に至ったものはほとんどないと述べている。リハビリロボットは通常患者に装着して長時間稼働することが求められることから、装着性に優れ軽量・コンパクトであって、使用者の関節構造と人体皮膚の柔軟性に適合して所要のリハビリ運動を創成することが求められるが、このようなロボットの機構設計手法は確立されていないことを指摘している。そして、本研究は日常生活動作に必須の手首と肘の機能回復のための装着型リハビリロボットを対象とし、ロボットと人体関節のアライメント誤差および人体装着部の柔軟性を考慮した運動力学解析を行い、安全性および快適性に優れたロボットの機構設計手法を提案することが目的であると述べている。そして、3つの段階と8つの項目からなる設計手法の構成を提示している。

第2章「Analysis and Modeling of Human-Robot System (人間-ロボット系の解析とモデル化)」では、1自由度平面ロボットによる手首の伸展-屈曲運動のリハビリを取り上げ、ロボットの駆動関節と手首関節のアライメント誤差とこれを補償するために導入される受動関節、ロボットの人体装着部の弾性を考慮した解析モデルを4通り示し、受動関節および装着部弾性が装着部に作用する力および創成運動の誤差に及ぼす影響を具体的に解析によって示し、装着部や人体関節への作用力により安全性を評価した機構設計が可能となることを示唆している。そして、受動関節の導入は有効であるものの、装着部弾性を考慮することにより関節のアライメント誤差の影響を補償した設計も可能であることを明らかにしている。

第3章「Kineto-Static Analysis and Design of a 3-DOF Wrist Rehabilitation Robot (3自由度の手首リハビリロボットの運動力学解析と設計)」では、手首の屈曲・伸展、内転・外転のリハビリ運動の創成と、前腕の長さ方向の関節回転位置の調整が能動的に可能な装着型ロボットとして、多自由度運動の創成が軽量・コンパクトな構造で実現可能な1形式の3自由度パラレル機構を取り上げ、必要な運動を快適に創成するための設計について論じている。パラレル機構の静止リンクを前腕部に取り付け、前腕の長さ方向の出力リンクの位置調整をした上で出力リンク上のグリップを手掌により握った状態で上記のリハビリ運動を行った際の使用者前腕の手首の運動と装着部の挙動を解析するために、運動力学モデルを提示している。これは、3つの回転対偶と3つの直進対偶からなる直列リンク構造であり、静止リンク側の3つの直進対偶とそれに接続する1つの回転対偶を人体装着部のモデルとし各対偶にばねを設置しており、手先側の2つの回転対偶は人体手首をモデル化した受動対偶としている。このモデルを用いて、当該パラレル機構に見られる主要な出力運動成分に従属して発生する他の軸方向の運動、ロボットと人体関節のアライメント誤差、装着部弾性を考慮した運動力学解析を行い、所要のリハビリ運動を創成可能な機構設計が可能であること、アライメント誤差を補償する受動対偶を設けなくても装着部弾性の効果により過剰な作用力が使用者に作用しないこと、等を明らかにしている。

第4章「Design of a Wearable Hybrid Robot for Wrist and Forearm Rehabilitation (手首および

前腕の装着型リハビリロボットの設計)」では、第3章の結果を基に、肘の屈曲・伸展運動を伴う前腕の回内・回外運動も含めた手首および前腕のリハビリ運動を支援するハイブリッド構造のロボットの機構設計について論じている。まず、日常生活動作を考慮した各関節の可動範囲を設定しこれを満足する機構設計を行っている。手首の2軸まわりの運動支援のための3自由度パラレルロボットについては、第3章の結果をもとにさらに装着性を向上させるための改良設計を行い、肘の屈曲・伸展運動を伴う前腕の回内・回外運動の支援にはロボットと人体関節のアライメント誤差を受動的に補償するための受動対偶を含む、平面4節リンク機構に基づく機構を提案し、機構設計を行っている。そして、これらを統合したハイブリッドロボットの詳細設計結果を示すとともに、被験者実験を行い、評価結果を示すとともに考察を加えている。その結果、ロボットを人体に装着することにより若干の動作範囲の減少は見られるものの要求された動作範囲を概ね満たす運動が創成できること、ロボットと人体の意図しない干渉が発生することによる不快感はあるものの使用感覚は良好であり、発生している干渉は機構寸法の調整により解消可能であることから、本論文で提案した設計手法により、快適で安全な手首・前腕のリハビリロボットの設計が可能となったことが示されている。

第5章「Conclusions (結論)」では、本論文で得られた成果と今後の課題について述べている。以上を要するに、本論文は、装着型リハビリロボットにおけるロボットと人体関節のアライメント誤差および人体装着部の柔軟性を考慮した解析を行うとともに、快適かつ安全に適切なりハビリ運動を創成するための機構設計法を提案し、詳細な解析と具体的な設計、試作および被験者実験を通してその有効性を示したものであり、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。