

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Hydraulic-Powered Ergonomic Knee Exoskeleton for the Elderly
著者(和文)	KITTISARESSarin
Author(English)	Sarin Kittisares
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12528号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鈴森 康一,遠藤 玄,吉田 和弘,塚越 秀行,菅原 雄介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12528号, Conferred date:2023/9/22, 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

## 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	KITTSARES Sarin	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	鈴木 康一	教授	菅原 雄介	准教授
	審査員	遠藤 玄	教授		
		吉田 和弘	教授		
塚越 秀行		教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Hydraulic-Powered Ergonomic Knee Exoskeleton for the Elderly (油圧で駆動される人間工学に基づいた高齢者向け膝運動支援装具)」と題し、以下の5章からなる。

第1章「Introduction (序論)」では本研究の背景と目的について述べている。高齢者の日常生活動作のうち下肢運動支援による転倒防止の重要性を述べたのち、従来開発された下肢運動支援装具には、人間の骨格との動きの不一致と、装具の重量に大きな問題があり、それが装具装着時の快適性を下げる原因であると述べている。本研究では、油圧人工筋肉と4節交差リンク機構を組み合わせることにより、快適性と運動支援能力に優れた膝運動支援装具の設計法を提案するとともに、実験によりその有効性を示すことが目的であると述べている。

第2章「Sit-to-stand Exoskeleton (立ち上がり支援装具)」では、基本的な下肢運動支援の対象として椅子に座った状態からの立ち上がり動作を取り上げ、膝運動支援装具の設計法について述べている。まず、油圧人工筋肉の力/自重比および収縮率・発生力特性に着目し、特に25度の編組角を持つ油圧人工筋肉が、軽量でかつ大きな支援力を持つ装具の実現に適すると述べている。次に、人の大腿と下腿の相対運動に近い動きを行う装具を実現するために4節交差リンク機構に着目し、これを油圧人工筋肉で駆動して適切な運動支援を実現するための設計法を示している。試作した装具が力学的かつ運動学的に適切な動作をすることを実験で示すとともに、人の立ち上がり時に筋肉の負担を約半分に低減できることを示している。

第3章「Hydraulic Control Systems (油圧制御系)」では、多自由度の運動支援装具の駆動に必要な小型で高効率の油圧制御系の構成法について述べている。従来の複数のサーボ弁を用いた制御系はエネルギー効率が低く、一方EHA(Electro-Hydraulic Actuator)方式の制御系は多自由度系に適用するには重量の面で問題があると述べ、複数の動作自由度を持つ装具を駆動するための油圧制御系として、MEHA(Multichannel EHA)とAPCS(Alternating Pressure Control System)と名づける二つの新しい制御系を提案している。前者は、複数のポンプを用いた従来のEHAに対して1台のポンプ出力を時系列で切り替えて各アクチュエータを独立に駆動する方法であり、後者はポンプの吐出圧力を周期的に変動させこれに同期して各アクチュエータの電磁バルブを駆動する方法である。数値シミュレーションと試作機を用いた実験により、複数のアクチュエータの位置と力の制御性能を評価した結果、両者とも0.5 Hz程度以下の制御帯域において良好に動作すること、またオープンループ系でも制御が実現できることを示している。

第4章「Stair Climbing Exoskeleton (階段上り支援装具)」では、多自由度で大きな支援力が必要となる下肢運動支援の対象として階段上り動作を取り上げ、その膝運動支援装具の設計法について述べている。階段上り動作では、左右で異なる多自由度の動作支援が必要であること、立ち上がり支援に比べて2倍以上の最大支援トルクが要求されること、膝角度に伴って要求される支援トルクが上下変動することを述べ、立ち上がり支援時とは異なる機構の設計が必要であると述べている。まず、人の膝は大腿と下腿の瞬間中心の軌跡が、内側と外側において異なる立体的な運動を行うことに着目し、大きな力がかかる運動支援時には、装具にも立体的な運動を行わせることが望ましいと述べ、内側と外側をそれぞれ異なったリンク機構で支援するDual Four-Bar Linkage Mechanismを提案し、遺伝的アルゴリズムを用いた各部の寸法の最適化設計法を示している。この設計に基づいた膝運動支援装具を試作し、MEHA制御系を適用した実験を行い、Dual Four-Bar Linkage Mechanismの採用によって、装具と身体間の運動の不一致によって生ずる装具から身体への押し付け力が、従来の回転関節を持つ膝運動支援装具に対して低減されることを示している。

第5章「Conclusions (結論)」では、本研究で得られた結果を総括し、今後の課題と展望について述べている。

以上を要するに、本論文は、油圧で駆動される人間工学に基づいた高齢者向け膝運動支援装具の機構と制御に関する設計法を提案するとともに、実験によりその有効性を示したものであり、工学上、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ものと認められる。