Measurement and assist devices for human motion by using parallel wire drive mechanisms

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-07-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/00054633

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

学　位　論　文　要　旨

Dissertation Abstract

パラレルワイヤ駆動機構を用いた人体動作測定および補助装置

Measurement and assist devices for human motion by using parallel wire drive mechanisms

金沢大学大学院　自然科学研究科　機械科学専攻

内島 大作

Abstract

This research aims to develop a human-wearable type equipment that enables people to perform accurate motion without assistance of others. The equipment can be used for manually processing such as welding, rehabilitation, meal care for people with disabilities etc.

This study develops human-wearable type measurement and assist devices for human motion by using parallel wire drive mechanisms.The proposed devices consists of a wire-driven mechanism expected to be lightweight and easy to wear.

Measurement device can measure standing balance of subjects until falls. The device can support them safely at falling. We measured the COP at the fall moment and the body sways on tilting posture by the proposed device. As a result, it is found that the differences between subjects become clearer as their postures tilt closer to fall moment.

Assist device can assist the movement of people to draw accurate trajectories so as to follow target paths and motion. The experiments were conducted with and without the motion assistance and were evaluated based on the error between the actual drawn and target trajectories. As a result, the average and maximum errors induced with the fabricated equipment was smaller than those without the motion assist. Therefore, the proposed equipment was available for human motion assistance.

近年，人が行っていた作業をロボットで代替することで，生産性の向上や人の労働環境の改善が行われてきた．一方で，ロボットなどの発生力を人の作業補助に利用したパワーアシストによる重量物運搬や介護補助装置が多く開発されている．さらに障害や後遺症により失われた身体機能の一部をロボットが代替することを目的とした装置の開発やリハビリテーションの支援を目的とした装置も開発されている．これらの装置は，筋力や身体剛性のアシストおよび身体能力の測定を行うことで，人とロボットの新たな関係を築いている．

本研究では，軽量かつ安全な人体装着型の人体動作測定，および補助装置装置の開発を目的とし，その手段として，パラレルワイヤ駆動機構を用いた装置およびその制御手法を提案する．

人体装着型の人体動作測定および補助装置装置のうち，安全面及び制御面から従来手法では困難とされる転倒実験装置とスキルアシスト装置について，パラレルワイヤ駆動機構を用いた装置を開発し，パラレルワイヤ駆動機構を用いた人体装着型装置の有用性を示す．

第 1 章では，転倒実験装置とスキルアシスト装置それぞれについて，背景および既存の研究と目的を述べ，さらに，従来の研究と本研究の概要を述べる．

転倒は日常的に発生する偶発的な事故であり，易転倒性の評価方法の確立が重要視されている．このような転倒評価の実験においては，被験者を転倒させ負傷させる事態を引き起こすことは絶対に避けなければならない．そのため，実際の転倒における挙動を測定し評価する方法は確立されていない．

パラレルワイヤ駆動機構はワイヤで出力節を駆動するため可動部の小型・軽量化が可能であり，かつ，柔軟性を有することから，身体になじみやすく体に装着する機構に適する．同機構を転倒に対する身体能力の測定時に身体に装着し，機構で身体を保持すれば，転倒後の被験者の安全が確保できるとともに，ワイヤの長さや張力などを測定することで，転倒時の被験者の姿勢や作用する負荷を測定・評価することが期待できる．

そこで立位におけるパラレルワイヤ駆動機構を用いた転倒実験装置を提案し，同装置を用いた転倒に対する立位バランス能力の測定について検討し，提案する装置の有用性を確認する．

作業の動作教示やリハビリテーションでは，補助者の支援のもと人が自ら試行錯誤的に動作そのものを学習したり，施術士の補助のもと患者自身の意思で積極的に四肢などを動かしたりする必要がある．このとき補助者は，作業者の身体部を安定して保持しながら，その動作を阻害しないように行うことが多い．つまりこれらには，他者や外部からの能動的な力の補助ではなく，本人が主体的に動作し，それに協調した動作の補助を外部から行うことで，四肢を中心とした位置や姿勢決めの精度向上を行う支援が重要である．ここでは，そのような支援をスキルアシストと定義する．

このように同アシストは動作の学習が重要でありながら，現在のところ補助者が不可欠である．しかし，近年進んでいる高齢化や人口減少のため，患者一人あたりに充てられる理学療法士（PT）や作業療法士(OT)が不足し，機能回復のためのリハビリテーションの補助を十分に受けられないことが問題となっている．

そこで本研究では，補助者に代わって前腕動作のスキルアシストを可能とする，軽量な人体装着型装置を開発し，パラレルワイヤ駆動機構を用いた装置およびその制御手法を提案する．同ワイヤ駆動装置を有することで，機構へ人が変位を入力でき，さらに出力節回転中心で同変位を測定して制御的な張力調整なしに出力点を目標軌跡まで制御する．

本研究では，まず，前腕に装着することを目的とし，定荷重ばねを有する回転 2 自由度パラレルワイヤ駆動機構および動作補助手法を提案する．さらに同機構の試作機を製作し，基礎的な実験を行ってスキルアシスト装置としての有用性を確認する．

第 2 章では，パラレルワイヤ駆動機構の構造および機能，機構解析方法について説明した後，パラレルワイヤ駆動機構の構造を説明し，同機構の動作範囲，必要ワイヤ張力の算出を行う計算式について説明している．

同機構は，動作条件として Vector Closure の条件を満たす必要があり，これを基に力学関係および張力解析法を示した．張力解析では，短時間でワイヤの最大張力の推定が可能な固有値解析を用い，ワイヤに働く張力を内力項と外力項に分けて算出する方法を示した．

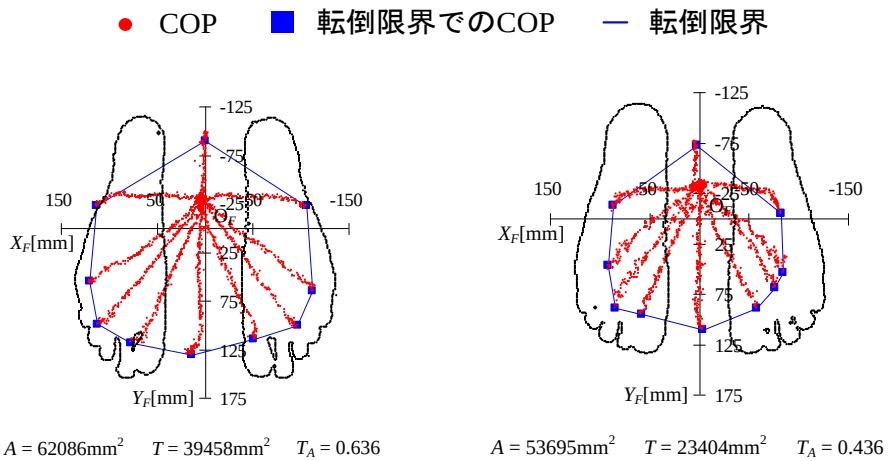
第 3 章では，立位バランス能力測定のために製作した転倒実験装置の概要および機能について説明している．また，実験装置の各部の概要・設計・制御方法について説明している．

被験者が安全に転倒実験を行えるように被験者モデルを作成し，各部への発生力を計算した．また，第 2 章で作成した張力解析法を用いて，最大張力が最小となるように立位バランス能力測定装置の各部の機構寸法を設計・製作した．

第 4 章では，本転倒実験装置を用いた立位バランス能力測定方法として，転倒限界を測定する方法を提案している．人が転倒した瞬間の重心位置を測定し，被験者が静止立位状態で身体を傾斜させた場合に，バランスを保つことができなくなる限界を転倒限界と呼ぶ．被験者の転倒限界での COP を測定し，その結果から実験装置の有用性を述べる．

本研究では測定対象は測定対象は健常者 12 名(平均年齢 31.7±10.7 歳；男性 8 名，女性 4 名)とし，各々で両足支持・右片足支持・左片足支持で転倒限界の測定実験を実施し，それぞれの転倒限界での COP を求めた．

同結果では，各被験者で両足支持・右片足支持・左片足支持における特徴がみられ，本装置を利用した転倒に対するバランス能力の評価が可能であることを示した．例として，被験者 2 名の転倒限界測定結果を図 4.1 に示す．



(a) 被験者 3　　(b) 被験者 5

図 4.1　両足支持における COP の変化および転倒限界での COP

また，支持基底面に対する COP 可動域の測定結果より，立位状態でのバランス能力の特徴を数値で表し比較することが可能であり，また，個人差が表れやすいことが確認できた．さらに，測定結果の統計処理を行った結果より，転倒限界が加齢にともなう筋力やバランス能力の低下により減少する可能性について言及した．

第 5 章では，本転倒実験装置を用いた別の立位バランス能力測定方法として，身体姿勢を傾斜した状態での重心動揺を測定する実験を提案している．現在の転倒回避能力測定の基準として直立姿勢時の重心動揺の測定が行われていることから，既存の重心動揺測定より転倒リスクを高めた実験を行うことで，より検出力の高い転倒回避能力の評価が可能であることを示している．

傾斜姿勢については図 5.1 に示すように目標位置を COP で示し，被験者の足長に対する踵からの距離の割合 Cr [%]で指定する．今回は 60,70,100[%]の 3 パターンで実験を行った．また測定項目は従来測定値と同様の，重心層移動距離と重心移動の外周面積とした．

実験の結果，重心動揺の測定結果は直立姿勢では表れにくく，姿勢を傾斜するにつれて個人差が顕著となることが示され，転倒リスクの高い姿勢でのバランス維持能力の測定から，より有用な転倒回避能力の評価の可能性を示した．

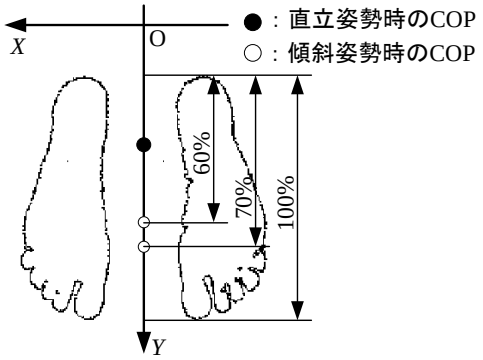


図 5.1　COP の目標位置

第 6 章では, 回転 2 自由度パラレルワイヤ駆動機構のスキルアシスト装置の設計・制作について説明している．本研究ではパラレルワイヤ駆動機構を人体動作補助に応用するため，摩擦を利用したワイヤ巻き取り機構を提案している．

第 2 章の張力解析法を用いてワイヤ張力が常に 0 以上となる範囲を解析し，動作範囲を-80deg≦α≦95deg，-85deg≦β≦85deg と設定した．

またスキルアシストにおいて，普段は被験者の動作を拘束せず，必要なときのみ制御を行えるような駆動部の動作切り替えが必要となる．さらにパワレルワイヤ駆動機構であるため，①機構の姿勢保持のため，各ワイヤ張力が常に零以上②出力部の動作に合わせたワイヤの巻き取り，および排出が可能③ワイヤを強制的に巻き取り可能の 3 点を満たす必要がある．そのため本装置では，定荷重ばねにより一定の張力を負荷し，摩擦を利用したワイヤ巻き取り機構を提案することで上記の問題を解決しており，なおかつワイヤ張力を 0 以上にする制御を不要としている．

第 7 章では，前章で製作した試作機を用いたスキルアシストの方法として，連続軌跡動作と不連続軌跡動作のスキルアシスト方法を示す．連続軌跡動作アシストでは，直線，円，および楕円動作を，不連続連続軌跡動作では四角形，および自由曲線を扱うこととし，それぞれについて目標点の算出方法を示している．

まずは目標軌跡を連続的な関数で表現できる軌跡とした場合について説明している．一般に，n+1 本のワイヤを有するパラレルワイヤ駆動機構は，1 本でワイヤ張力を制御しながら，すべてのワイヤを駆動させて出力点位置を制御するが，その一方で出力点が高剛性に位置決めされ，機構へ人が入力できない．よって，本研究では，図 7.1(a)に示すように出力点が目標軌跡上にある場合は，すべてのワイヤ駆動装置のアクチュエータを受動状態とし，人が出力点を操作できる状態とする．

次に，人の操作により図 7.1(b)に示すように出力点が偏差を生じながら変位したとする．このときエンコーダにより変位を検出し，目標位置までの最短距離を計算しアシスト方向を設定する．その後同方向に移動するようにワイヤ 2 本を選択のうえ，ワイヤ駆動装置のアクチュエータの駆動量を決定して制御する

最後に，出力点位置が目標軌跡上に復帰した場合，再びすべてのワイヤ駆動装置を受動状態とする．これら一連の動作を適宜繰り返すことでスキルアシストを行う．

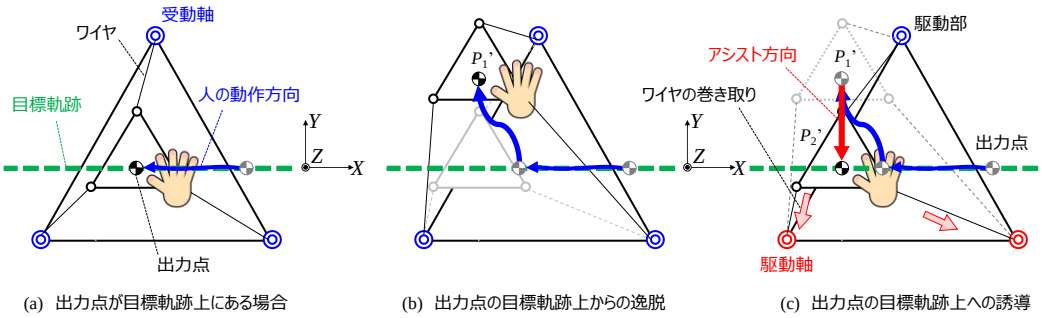


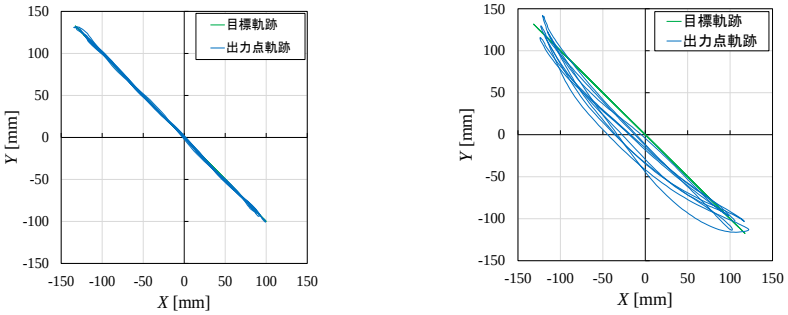
図 7.1　連続軌跡動作のアシスト方法

また，目標軌跡を連続的な関数で表現できない不連続動作のアシストでは，その軌跡上に任意数の離散点を配置し，それらを直線で結ぶことで不連続な軌跡として近似的に表現する方法を提案した．

また、本章では連続軌跡動作アシストの例として，円，および楕円動作を取り上げ，それぞれについて目標点の算出方法を示している．

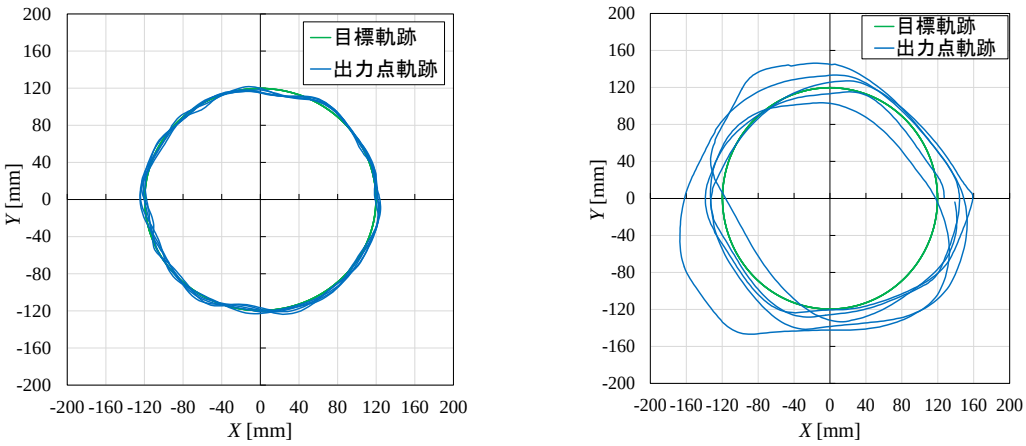
第 8 章では，開発したスキルアシスト装置を用いて直線，円，楕円，正方形動作時のスキルアシスト実験を行い，追従および繰り返し位置決め精度を示し本装置の有用性を示している．

それぞれの動作時におけるスキルアシストの有無による軌跡の違いについて，図 8.1～8.4 に示す．同図に示すように，スキルアシストを用いることで軌跡に沿って正確な動作ができていることがわかった．また，スキルアシストを用いることで標準偏差が最大で 0.14[deg]から 0.03[deg]まで低下し，提案機構およびその制御手法を用いて高い追従および繰り返し位置決め精度を有するスキルアシストを行えることを示した．



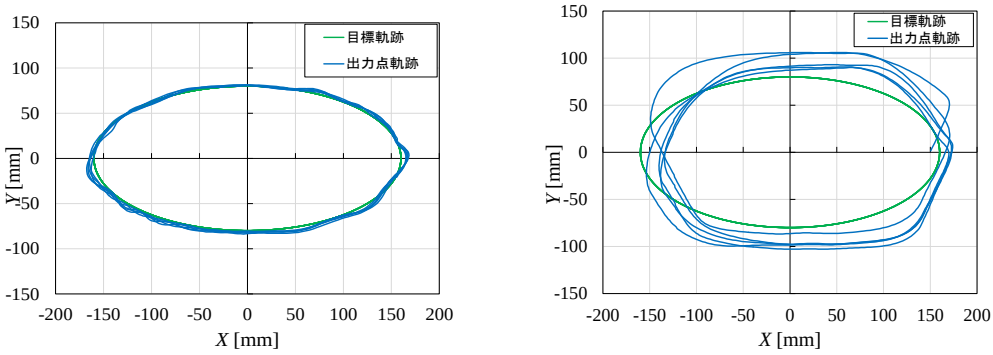
(a)　スキルアシスト有　　(b)　スキルアシスト無

図 8.1　直線動作実験時の出力点軌跡



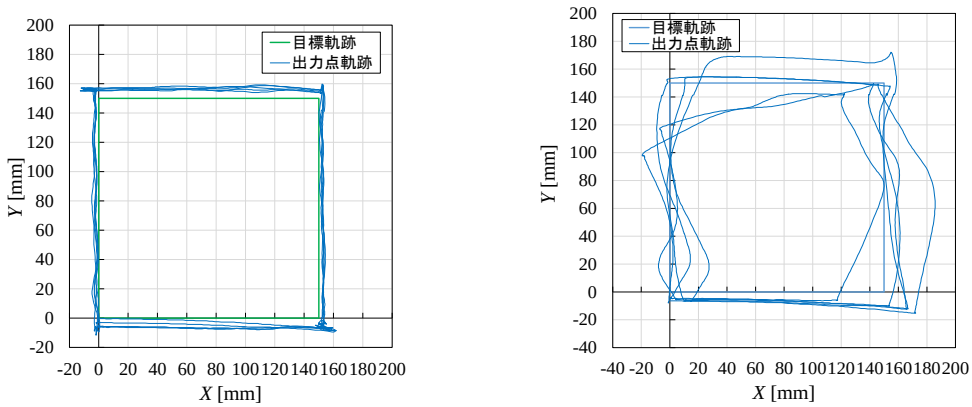
(a)　スキルアシスト有　　(b)　スキルアシスト無

図 8.2　円動作実験時の出力点軌跡



(a)　スキルアシスト有　　(b)　スキルアシスト無

図 8.3　楕円動作実験時の出力点軌跡



(a)　スキルアシスト有　　(b)　スキルアシスト無

図 8.4　正方形動作実験時の出力点軌跡

最後に，第 9 章では，結論として本研究で得られた結果を要約して述べ，本論文の総括とした.

平成31年　2月　4日

学位論文審査報告書（甲）

1．学位論文題目（外国語の場合は和訳を付けること。）

パラレルワイヤ駆動機構を用いた人体動作測定および補助装置

Measurement and assist devices for human motion by using parallel wire drive mechanisms

2．論文提出者　(1) 所　　属　機械科学　　専攻

(2) 氏　　名　内島　大作（うちじま　だいさく）

3．審査結果の要旨（600～650字）

当該学位論文に関し，平成31年1月31日に第1回学位論文審査委員会を開催し，提出された学位論文および関連資料について詳細に検討した．平成31年2月1日に口頭発表後，第2回学位論文審査委員会を開催し，慎重に協議の結果，以下の通り判定した．

本論文は，軽量かつ装着が容易な人体動作測定および補助装置として，パラレルワイヤ駆動機構を用いた装置を開発し，その有用性を示している．すなわち，3自由度のパラレルワイヤ駆動機構を用い，転倒に対する人のバランス能力を測定する装置を開発し，同装置が姿勢傾斜時の重心動揺，立位を維持可能な姿勢の限界を安全に測定できることを示し，これらが転倒回避能力の評価に有用であることを述べている．さらに，2自由度パラレルワイヤ駆動機構を用いて，人の前腕動作を補助する装置を開発し，同装置を用いれば，人が前腕を主体的に動作させることが可能である一方，動作軌跡が正確に位置決めされるように装置が補助可能であることを示している．

以上のように本論文は，パラレルワイヤ駆動機構を用いた実用的な人体動作の測定および補助装置を開発しており，学術的価値ならびに医療，福祉工学への貢献度がともに高いと評価できる．よって，本論文は博士（工学）論文に値すると判定する．

4．審査結果　(1) 判　　定（いずれかに○印）　合　格　・　不合格

(2) 授与学位　博　士（工　学）