

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23700782

研究課題名（和文） 運動中の足首関節の回転軸変位の解明と転倒防止のための補助システムへの応用

研究課題名（英文） Understanding the Displacement of Rotation Axis of Ankle Joint and Application of Assistant Device for Fall Prevention

研究代表者

丁 明 (DING MING)

独立行政法人理化学研究所・ロボット動作研究チーム・特別研究員

研究者番号：40585840

研究成果の概要（和文）：

本研究はパラレルリンク構造を用いた足首関節の運動補助アシスト装置を開発し、足の回転角度と足首関節にかかる関節トルクを正確に計測と制御ができるシステムを構築した。人の運動を計測することに基づいて、足首関節の運動モデルを提案し、アシストシステムの制御手法も提案した。試作したアシスト装置に制御手法を実装し、被験者実験により、モデルと制御手法の有効性の検証及び応用に関する研究を行った。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we developed an assistant device to support the movement of human ankle joint using a parallel mechanism. We also created an assistant system, which can measure and control the rotation angle and joint torque of ankle joint accurately. Using the measured movement, we proposed a movement model of ankle joint and proposed a control method to move the assistant device. By testing these methods with subjects using the prototype devices, the effectiveness was verified and the applications of this device were studied.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：パワーアシスト，力制御，硬さ制御，足首関節，パラレルリンク機構

1. 研究開始当初の背景

歩行と転倒

歩行動作は人間の基本的な動作の一つであり生活に密着している。しかし、歩行中の転倒によるけがや死亡事故が近年増加する一方である。厚生労働省の統計により、“同一表面上での転倒”，つまり歩行中での転倒による死亡者は年間 3500 人以上に昇る。特に、高齢者は10%以上が転倒経験をもってお

り、その中の約 5%の者が骨折以上のけがを負っている。

転倒は一般的に前方，斜前方，側方，斜後方と後方の5つの方向にわけて研究されている。今まで、図1に示すような前後方の転倒は頭まで衝撃が発生する可能性が高いため、前後方転倒を防止するための訓練と補助に注目した研究が多かった。しかし、側方の転倒（図2）も前後方の転倒と同じ衝撃力が

発生し、足首の捻挫や大転子と手の骨折の原因ともなる。そのため、転倒の防止や歩行運動のトレーニングは前後方向とともに、側方の支援と訓練も必要である。



図1 前方転倒



図2 側方転倒

複雑な筋骨格運動構造と計測・制御の困難さ

人間は複雑な筋骨格構造を持ち、関節の回転軸は常に一定ではないため、正確な計測や補助装置の設計と制御は困難となる。例えば、図3と図4に示すように人間足首関節は：

- ・ 3軸に対する回転が可能である。

足首は足の前後(X軸)、左右(Y軸)、回外・回内(Z軸)運動を実現でき、複雑な構造を持っている。今までの研究は、起立などの動作を支援するための、主にX軸に対する回転の計測と補助であり、それ以外の回転範囲が小さいY軸とZ軸に対する回転の計測と補助はほとんどない。しかし、Y軸とZ軸も転倒やけがの発生に直接に関係している。(図3)

- ・ 関節の回転軸が変位する。

足首の複雑な筋骨格構造、且つ ankle と subtalar 二つの関節が存在しているため、足首の回転軸(X, Y, Z)は足の回転角度により常に変化する。そのため、これまでのように、回転軸が固定である仮定に基づいた手法では正確な計測と支援は不可能である。(図4)

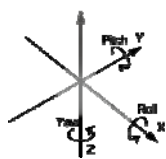


図3 足の回転軸

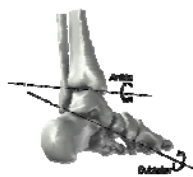


図4 足首の回転関節

歩行中の関節角度の正確な計測と制御、けがと転倒の防止、及び下肢部の筋力制御を実現するため、足の回転角度と回転軸の変位を正確に計測と制御をしなければならない。

2. 研究の目的

人間の足首は複雑な回転運動を行い、日常的な歩行運動などの運動を実現している。足首の運動を正確に計測と解析をすることは、高齢者や障害者の治療と転倒・けがの防止に

対して非常に重要である。しかし、足首関節の複雑な筋骨格構造と個人差の存在で、今までは動作中にすべての回転軸に対して正確な計測ができなかった。本研究では、平行リンク構造を用いて、足首の回転角度と回転軸変位を測定し、個人対応可能な足首関節の回転モデルを作成する。さらに、個人対応モデルにより、足の回転角度と足首関節にかかる関節トルクを正確に計測と制御ができるシステムも構築することにより、有効な歩行の計測と制御、転倒とけがの防止、及び下肢部の筋力制御を実現する。

3. 研究の方法

本研究の目的に従って、本研究は以下の三ステップで実施し、目標を達成する。

(1) モデルの作成

(a) まず、モーションキャプチャ装置を用いて足部の移動を計測する。図5に示すように足にマーカーを取付け、モーションキャプ装置により各マーカーの位置を計測し、足部と下肢部のマーカーの距離を計算する。

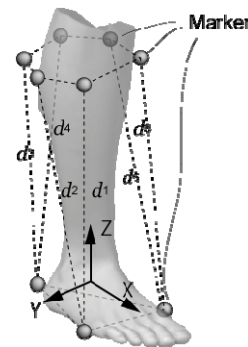


図5 モーションキャプ装置で計測

(b) 計測されたマーカー間の距離から、足首の回転中心の変位を計算する。足の回転角度と回転軸の変位の関係を同定し、回転軸の変位を考慮する足首の回転モデルを作成する。

(2) 計測・制御システム構築

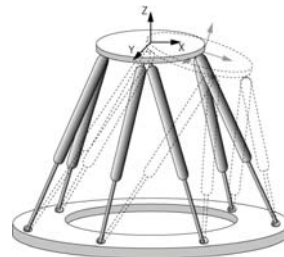


図6 Stewart platform 型
平行リンク構造

モーションキャプチャ装置を利用するた

め、計測装置の設置が容易だが、計測範囲が限られている。歩行のような広い範囲で計測と制御を可能にするため、本研究は図6に示すような Stewart platform 型パラレルリンク構造を用いて、関節回転の計測と制御を行う。この機構は6本のシリンダの長さを制御することにより、上部の6自由度（3DOFの移動と3DOFの回転）を制御することが可能である。装着可能にすることにより運動中の計測と制御を行う。

(a) 足と下腿部に固定装具を作成し、ポテンシオメータを取付け、マーカの代わりに、各距離を計測する。装着可能な装置により、モーションキャプチャ装置に制限されなく、より大きな範囲で歩行などの運動を計測することが可能となる。

(b) そして、足の回転を制御する装置の作成する。ポテンシオメータの位置に、図7のように空気圧シリンダを設置する。作成した足首の回転モデルにより、回転軸の変位にあわせて、各シリンダの長さを制御する。空気圧の制御により、関節トルクを正確に制御する。

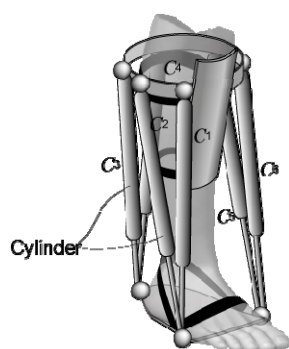


図7 エアーシリンダで制御

(3) 提案手法の応用と検証

(a) 歩行中の関節角度の計測と制御

当該申請者が所属する研究室は転倒を防止するため、歩行中の姿勢計測を行っている。特に転倒に大きく関与する足部の関節の角度の計測が重要である。本研究で作成するポテンシオメータを利用した計測装置を用いることによって、広い範囲で正確な歩行中の関節角度を計測し、より豊富な歩行時と転倒時のモーションデータを取得する。

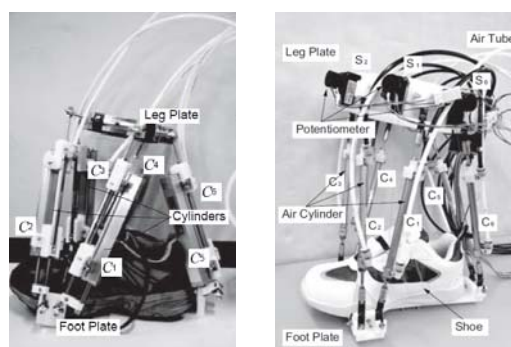
(b) けがと転倒の防止

空気圧シリンダを利用したアシスト装置を用いて、装置の位置、力および硬さを制御することにより、関節の動作を制御し、けがと転倒を防止する。関節回転軸の変位に合わせて、足の運動を支援する。

4. 研究成果

本研究はパラレルリンク構造を用いた足首関節の運動補助アシスト装置を開発し、足の回転角度と足首関節にかかる関節トルクを正確に計測と制御ができるシステムを構築することが目標である。足首の回転角度と回転軸変位を測定し、個人対応可能な足首関節の回転モデルを作成した。個人対応モデルにより、有効な歩行の計測と制御、転倒とけがの防止、及び下肢部の筋力制御を実現する。

研究初年度は、まず足首関節の運動補助可能なアシスト装置（図8(a))を試作し、制御手法を提案した。6本のシリンダの長さ制御により、足と足首の6自由度の移動と回転の制御が可能となった。位置制御だけではなく、システムの出力や硬さの制御もできる。被験者の運動を記録し、記録された運動を再現することができた。足首関節の運動を開発した装置により計測し、人の足首が回転する時の回転軸の変化を推定することができた。モーションキャプチャで計測されたデータと比較することにより、高精度の計測と推定ができていたことを確認できた。



(a) (b)
図8 制作されたアシスト装置

第二年度目は制作されたモデルを利用し、制御手法を実装して、モデルと制御手法の有効性の検証及び応用に関する研究を行った。装置を重さや装着し安さを改善するため、まずデバイスを改良し（図8(b)), それに対応する新しい位置の計測と制御手法を提案した。さらに、位置制御だけではなく、デバイスの出力とデバイス自身の硬さの制御も可能にした。被験者の運動を記録し、記録された運動を再現することができた。装置の出力を力センサで計測し、設定された出力が高い精度で実現できることも検証した。

研究期間の二年間に得られた研究結果は論文にまとめ、日本国内外の学会に投稿と発表することにより研究成果の公表と社会発信も行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Hiroshi Takemura, Takayuki Onodera, Ding Ming and Hiroshi Mizoguchi, "Design and Control of Wearable Stewart-Platform-Type Ankle-Foot Assistive Device", The International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 9, PP. 1-7, 2012. (査読有)

[学会発表] (計 8 件)

① Takayuki Onodera, Ming Ding, Hiroshi Takemura and Hiroshi Mizoguchi, "Posture Control Using New Ankle-Foot Assist Device with Stewart Platform Type Parallel Link Mechanisms", 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2012), Guangzhou, China, December 10-14, 2012.

② Ming Ding, Takayuki Onodera, Hiroshi Takemura and Hiroshi Mizoguchi, "Design and Development of Stewart Platform-Type Assist Device For Ankle-Foot Rehabilitation", 2012 First International Conference on Innovative Engineering Systems (ICIES), Alexandria, Egypt, December 6-9, 2012.

③ Ming Ding, Takayuki Onodera, Ryojun Ikeura, Hiroshi Takemura and Hiroshi Mizoguchi, "Position, Force and Stiffness Control of a Stewart-Platform-Type Ankle-Foot Assist Device", the 2012 Dynamic Systems and Control Conference (DSCC'12), Ft. Lauderdale, FL, USA, October 17-19, 2012.

④ Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi and Ryojun Ikeura, "Position and Force Control of a Stewart-Platform-Type Ankle-Foot Assist Device with Pneumatic Control", The 30th Annual Conference of The Robotics Society of Japan, Sapporo, Japan, September 17-20, 2012.

⑤ 小野寺貴之, 丁明, 小原晃, 竹村裕, "SP型パラレルリンク機構を用いた短下肢アシストデバイスによる運動計測", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 (ROBOMECH2012), 浜松, 2012. 5. 27-29.

⑥ Ming Ding, Tomohiro Iida, Hiroshi

Takemura and Hiroshi Mizoguchi, "Displacement Estimation for Foot Rotation Axis Using a Stewart-Platform-Type Assist Device", The 2011 International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA 2011), Aachen, Germany, December 6-8, 2011.

⑦ Ming Ding, Takayuki Onodera, Hiroshi Takemura and Hiroshi Mizoguchi, "Development of a New Foot-ankle Assist Device with Stewart Platform Mechanism", 2011 International Biomechanics Conference and Annual Meeting of Taiwanese Society of Biomechanics, Hsinchu, Taiwan, October 20-21, 2011.

⑧ 丁明, 小野寺貴之, 飯田智裕, 竹村裕, 溝口博, "足首関節回転軸変位制御可能なスチュワートプラットフォーム型下肢アシスト装置の開発", 第29回日本ロボット学会学術講演会, 東京, 2011. 9. 7-9.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丁 明 (DING MING)

独立行政法人理化学研究所・ロボット動作研究チーム・特別研究員

研究者番号: 40585840

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし