

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：54502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26730140

研究課題名(和文) 全身触覚を有するダミーロボットを用いた自己保護制御

研究課題名(英文) Self-Protective Control for Dummy Robot with Whole Body Tactile Sensor

研究代表者

清水 俊彦 (SHIMIZU, Toshihiko)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・講師

研究者番号：30725825

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高齢者の傷害事象の機構解明を目的とし、筋骨格構造と全身反射機構を有するダミーロボットの研究開発を推進した。その結果、ダミーロボットに適したアクチュエータの選定および筋骨格ロボットの試作が完了した。具体的には、ナイロン6,6を用いた釣糸および導電系人工筋の特性解析を実施した。また解析した人工筋を用いた筋骨格構造を有する下肢機構および脊椎機構を作成した。更に、転倒防止用の歩行支援機器の試作および筋骨格モデルのシミュレーション環境の構築を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, for elucidating the injury mechanism of the elderly, we promoted the research about development of dummy robot with a musculoskeletal structure and whole body reflex mechanism. As a result, the evaluation of the artificial muscle actuator suitable for dummy robot has been completed. Specifically, we evaluated the artificial muscles using nylon 6,6, such as fishing line and the conductive thread. And we developed the lower limb and spine mechanisms with a musculoskeletal structure using the artificial muscle. Moreover, we developed the rehabilitation walker with face tracking and motion detector. Finally, the simulation environment of the musculoskeletal model with proposed walker was developed.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ヒューマノイドロボット 転倒防止 全身反射 アクチュエータ 筋骨格構造 触覚センサ 状況認識
生活支援機器

1. 研究開始当初の背景

人体の衝撃特性に関する研究は、主に車両衝突に関して進められてきた。ダミー人形 (Hybrid-III) や志願者を用いた衝撃計測実験、その実測値に基づく有限要素法によるシミュレーション実験が行われてきた。しかし、これらの研究は、ヒトが持つ反射機能や身体の物理的特性を持たない、ダミー人形から修得したデータを元にしてきた。

研究申請者はこれまで、ヒトが転倒転落等による傷害事象に遭遇した際に示す反射運動を、ヒューマノイドロボットにおいて再現する研究に従事してきた。その結果、既存の研究に比べ、障害物が散在する一般環境において、運動制御や運動学習への応用が容易となる手法を提案することができた。

そこで本研究では、ヒトに限りなく近い動きを再現し、ヒトの怪我の防護策が検討できるようにするため、以下の研究を実施する。まず、日常生活の転倒転落による傷害事象の機構解明に向けて、ヒトらしい反射機能と全身に衝撃センサを有するダミーロボットを開発し、それによる転倒転落時の衝撃実験を行う。さらに測定された衝撃データの解析を通じて、転倒転落に関する機構解明及び安全指標の制定を行う。

ダミーロボットを用いることにより、従来研究では困難であった、転倒時に反射的な動作が生成できること、疾患や病態に応じた反射の抑制ができること、及び、出力の調整により健康者や高齢者の動きが模擬できること等が利点として挙げられる。

2. 研究の目的

高齢化を迎えた現代社会において、転倒防止に関する生活支援機器の開発に向けて、傷害事象の機構解明が急務である。近年、車両衝突実験用のダミー人形 (Hybrid-III) による転倒転落時の衝撃を測定する基礎研究が進められている。しかしながらヒトは転倒に際して、神経系に基づく反射や柔軟な皮膚及び筋骨格構造により、衝撃を緩和する点を考慮することが重要な課題となる。本研究では、これまでの研究成果で得られた神経系による全身反射機能と、それを誘発する触覚センサを備えたダミーロボットを開発し、障害物が散在する日常環境における転倒・転落時の衝撃測定から傷害事象の機構解明を行い、安全指標を制定する。

3. 研究の方法

ダミーロボットの開発を下肢から上肢と段階を経て行う。まず筋骨格構造を有し、衝撃センサを足先に配置した下肢の設計を行う。ここでアクチュエータ、骨格、外装の選定を行う。試作された下肢をダミー人形に装着した状態で高所から転落させる。転落時には両足着地の実現を目指す。その後、反射系による制御を実現し、受身動作を加えた転倒実験を行い、下肢の衝撃計測を行う。

次に上肢を開発する。ここで下肢の開発を通じて得られたデータを元に、上肢の設計を行う。Hybrid-III などのダミー人形に、制作した上腕を装着して転倒実験を行い、反射動作の有無による衝撃評価を行う。

最後に、得られた衝撃データを元にデータベースを作成し、種々な解析を行う。まず、転倒予測が可能であることを確認し、転倒予測に有効な情報の特定や、運動学習による衝撃緩和に最適な動作の解明などを行う。最終的に、これらの知見を統合して安全指標の制定を行う。

4. 研究成果

平成 27 年度は主に、ダミーロボットに使用するアクチュエータの選定、およびロボットの試作を行った。平成 28 年度は、27 年度得られた人工筋の断面形状による出力特性の調査、応答速度の改善、筋骨格シミュレーション環境の構築および支援機器の試作を行った。各項目について、以下で述べる。

(1) 衝撃試験用のダミーロボットという特性上、アクチュエータに求められる要求として、対衝撃性に優れ、軽量で簡便な機構であることが求められる。当初計画していた McKibben 人工筋は対衝撃性に優れる反面、外部コンプレッサが必要であり、構造が複雑化する傾向にある。そこで、ナイロン 6,6 の熱変形を利用した釣糸人工筋肉 (引用文献①) を利用した。本人工筋は、ナイロン製の釣糸に、負荷をかけながら捻じり、釣糸をコイル状にすることで製作する。コイル内のニクロム線で熱することで収縮するため、機構を単純化できる。等身大ヒューマノイドロボットへの搭載に向けて、釣糸人工筋の負荷と回転速度に関する制作条件の調査を行った。その結果、既存研究では明らかではなかった、大径の釣糸に関する最適な制作条件に関する知見を得ることができた。また釣糸人工筋と McKibben 人工筋の性能比較実験を行い、同一断面積に対する出力と制作コストの面で、釣糸人工筋が優れていることを確認した。

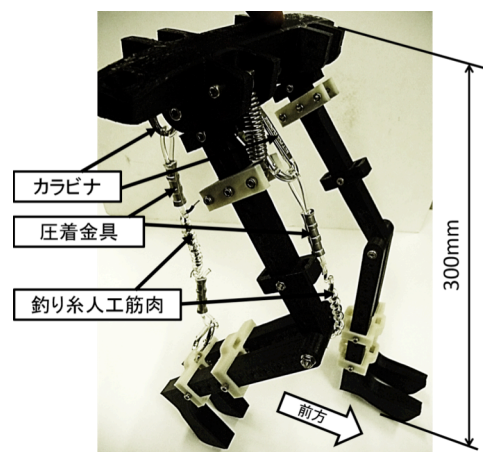


図1 釣糸人工筋を用いた下肢モデル

(2) 釣糸人工筋を用いた筋骨格ロボットの試作を行った。まず釣糸人工筋による歩行性能を評価するため、図1に示す簡略化した下肢の骨格モデルを作成した。試作ロボットによる歩行実験を行った結果、筋骨格構造を持つ下肢の駆動に成功した。一方で、可動域と応答速度に改善の余地が見られた。

下肢ロボットの開発を通じて、ロボットの制作に必要な電気回路や、複雑形状の骨格部品の開発環境を整えた。また生活支援機器に関する文献調査を行った。成果の一部は研究講演会にて1回の口頭発表を行った。

(3) 基本的なダミーロボットの開発体制を構築した。具体的には、釣糸人工筋を作成するための開発装置、高精度計装アンプを用いたストレインゲージによる骨格負荷の測定回路、および3次元曲面を有するアルミ部材を削りだすCNCなど、開発体制の構築を行った。図2に人工筋の自動制作装置を示す。捻りでコイル状となるという特性上、プーリを用いて、制作機全体の小型化を行っている。また、ダミーロボットの皮膚は、既存の3Dプリンタにより出力可能な熱可塑性エラストマ、NinjaFlexを用いて試作を行った。さらに骨格の結合部である軟骨部分に関して、本製品を用いて制作を行った。骨格モデルはスタン標準型骨格モデルに従い、3Dプリンタにより簡易形状の制作を行った。

(4) 断面形状について、従来のナイロン6,6を用いた釣糸をベースラインとし、細糸を束ね外側をコーティングした単編成タイプ、複

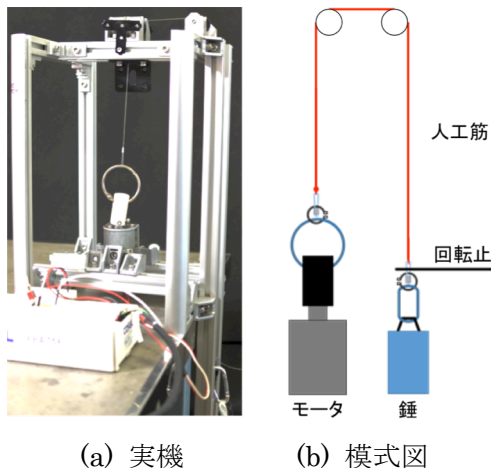


図2 人工筋自動制作機

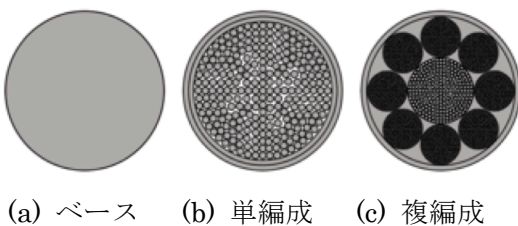


図3 人工筋の断面形状

数の単編成タイプで構成された複編成タイプ、ナイロン外周にスパイラル状の溝が掘った外溝タイプを検証した。図3にベースラインの釣糸、単編成、複編成の3種類を示す。この結果、力を出力する点では、図3(a)の釣糸のように、均一な断面形状が有利であることが確認された。また収縮を繰り返すサイクルタイムにおいて、編成タイプがベースラインと比較して有効であり、複編成タイプが最も優れている事が確認された。これは内部構造が、不均一であることから、放熱効果の点でベースラインと比較して良好であるためと考えられる。この成果より、ダミーロボットにおいては、表層筋としてベースタイプを、深層筋として編成タイプのように、適用できる可能性が示唆された。

(5) 応答速度の改善について、ナイロン糸に銀コーティングを施した導電糸アクチュエータを利用する手法が提案された(引用文献②)。ジュール熱を用いて直接加熱するため、小型計量化に適している。そこで、導電糸アクチュエータの制作、およびこれを用いた骨格機構の開発を行った。図4に開発した脊椎機構を示す。通電することで、発生したジュール熱を利用し、機構全体が屈曲していることが確認できる。釣糸人工筋と比較して、収縮にかかる時間を短縮できることを確認した。また制作したアクチュエータの性能評価を行ったところ、引用文献②で提案された

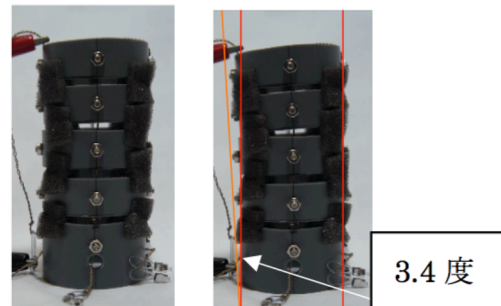


図4 導電糸人工筋を用いた脊椎機構



図5 歩行シミュレーション

ものと同等であることを確認した。

(6) 転倒防止用の歩行支援器具の試作および人体骨格モデルシミュレーション、OpenSim を用いた転倒モデルの作成を行った。開発した歩行器、および歩行シミュレーションを図5に示す。歩行支援機器は対象を片麻痺患者に限定し、顔の向きによる方向制御可能な歩行器の開発を行った。カメラおよびKinect から取得した画像を用いた動作意図取得システムによって、顔向きを方向制御に、健足を歩行制御に利用する歩行器となっている。またダミーロボットで得た実測データを反映するシミュレーション環境として、Simbody およびそれを用いた OpenSim に注目した。麻痺患者の歩行携帯の一種である、Stiff Knee Gait など、実際の歩行データを有しており、歩行器の開発に有効であると期待される。

<引用文献>

- ① Haines, Carter S., et al. "Artificial muscles from fishing line and sewing thread." science 343.6173 (2014): 868-872.
- ② Michael C. Yip and Günter Niemeyer. "High-performance robotic muscles from conductive nylon sewing thread". IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 2015.

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 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

- ① 奥山貴弘, 清水俊彦, 釣り糸人工筋肉を用いた歩行ロボットの開発, 機械学会関西学生会 平成 26 年度学生員卒業研究発表会予稿集, 15A14, 2015 年 3 月 14 日, 京都大学 桂キャンパス (京都府京都市) .
- ② 佐久間達也, 清水俊彦, 宮本猛, 片麻痺歩行訓練用電動歩行補助器の試作, 機械学会関西学生会 平成 27 年度学生員卒業研究発表会予稿集, 17A26, 2016 年 3 月 10 日, 大阪電気通信大学 寝屋川キャンパス (大阪府寝屋川市)
- ③ 佐久間達也, 清水俊彦, 宮本猛, 方向転換機能を有する片麻痺歩行訓練用電動歩行補助器の開発 -顔向き推定をもとにしたヒューマン・インタフェースの検討-, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, No.16-2, 2A2-02b4, 2016 年 6 月 8 日(水)~11 日(土), パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市) .

[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]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 俊彦 (SHIMIZU, Toshihiko)
神戸市立工業高等専門学校・講師
研究者番号: 30725825

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者