

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04270

研究課題名（和文）直列粘弾性アクチュエータを用いた歩行者用アクティブダミーの開発

研究課題名（英文）Development of a pedestrian active dummy using series viscoelastic actuators

研究代表者

成川 輝真（Narukawa, Terumasa）

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：50424205

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：直列粘弾性アクチュエータを用いた歩行者用ダミーをモデル化し、歩行シミュレーションを行った。歩行シミュレーションより、適切な初期条件を与えることで直列粘弾性アクチュエータを用いた歩行者用ダミーが安定な歩行動作を行うことを示した。次に、粘弾性要素の特性をゴムの形状により変更可能とした歩行者用ダミーに用いる直列粘弾性アクチュエータを製作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、粘弾性要素をアクチュエータに直列に配置した直列粘弾性アクチュエータによる歩行動作が可能であることをシミュレーションにより示し、歩行者用ダミーに用いる直列粘弾性アクチュエータを製作した。これにより、歩行者に対する無人搬送車の衝突安全性能を評価するために、能動的に歩行動作を行い、かつ、衝突したときの傷害予測が可能となるような歩行者用アクティブダミーの開発についての基礎的成果を得た。

研究成果の概要（英文）：We modeled a pedestrian dummy using series viscoelastic actuators and conducted walk simulations. These simulations demonstrated that the pedestrian dummy can perform stable walking motions when provided with appropriate initial conditions. Next, for pedestrian dummies, we designed a series viscoelastic actuator wherein rubber was the viscoelastic element and the rubber shape determined the viscoelastic characteristics.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：直列粘弾性アクチュエータ 歩行者用ダミー

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 例えば家庭へ荷物を運搬するような小型無人搬送車を想定したとき、歩道や建物内を移動することから歩行者との接触事故を完全に無くすことは現実的ではない。無人搬送車が安全に運用されるためには、様々な歩行者に対して極めて高い衝突安全性能を実証することが求められる。

(2) 歩行者に対する無人搬送車の衝突安全性能を評価するためには、歩行者と同等の力学特性を有するダミーを用いた衝突試験を行うことが望ましい。外力が作用したときの受動的な応答が人とは異なる二足歩行ロボットを歩行者用ダミーとして用いた場合は、妥当な衝突安全評価を行うことが困難である。人体の受動特性を模擬するために接触力をフィードバックしながらサーボモータと減速器を用いて力制御を行うことが考えられるが、交通事故のように短時間での現象が支配的な場合、アクチュエータ側の慣性が大きい機構は不向きである。したがって、歩行者用ダミーに適したアクチュエータを用いて歩行動作を実現することが求められる。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は自動車や搬送車の安全性能試験に用いる歩行者用ダミーの開発である。歩行者への衝突安全性能を正しく評価するためには、歩行動作を行うダミーを用いた衝突試験が有用である。そこで、アクチュエータを用いて能動的に歩行動作を行い、かつ、衝突したときの傷害予測が可能となるような歩行者用アクティブダミーを実現するために、本研究では、粘弾性要素をアクチュエータに直列に配置した直列粘弾性アクチュエータを用いる。

(2) 歩道や建物内を移動し家庭へ荷物を運搬するような小型無人搬送車の安全性能試験を想定し、交通事故にあったときに傷害を負いやすい子供を模擬した身長 1m 程度、体重 15kg 以下の歩行者用ダミーにおいて、直列粘弾性アクチュエータを用いて歩行動作が実現できること示す。

(3) 歩行者と同等の力学特性を有するダミーを用いた衝突試験を可能とするために、身長 1m 程度、体重 15kg 以下の子供を模擬した歩行者用ダミーに使用可能な直列粘弾性アクチュエータを製作する。

### 3. 研究の方法

(1) 直列粘弾性アクチュエータを用いた歩行者用ダミーをモデル化し、運動方程式と衝突方程式を導出する。運動方程式は遊脚の膝が自由に曲がる場合と遊脚の膝が真っ直ぐに伸びて関節が固定された場合についてそれぞれ導出する。衝突方程式は、遊脚が接地したときの角速度変化と遊脚の膝関節が固定されたときの角速度変化についてそれぞれ導出する。

(2) 導出した運動方程式と衝突方程式を歩行動作の推移に応じて用いることで、歩行全体の数値シミュレーションを行う。数値シミュレーションにより歩行動作を実現する制御方法を検討し、安定な歩行が実現されたときに直列粘弾性アクチュエータの受動特性と歩容の関係について検証する。

(3) 歩行者用アクティブダミーのための直列粘弾性アクチュエータを製作する。製作する直列粘弾性アクチュエータは、歩行者用ダミーの質量中心や慣性モーメントおよび総質量を満たすように設計する。具体的には、子供用ダミーを想定して、身長が 1m 程度、ダミー総質量が 15kg 以下となるように直列粘弾性アクチュエータを設計する。直列粘弾性アクチュエータの受動特性が歩行動作に影響を与えるため、粘弾性要素の特性を変更可能なようにする。

### 4. 研究成果

(1) 上体にモータおよび減速機を取り付け、減速機と脚部の間に粘弾性要素を配置した直列粘弾性アクチュエータを用いた歩行モデルを作成した。アクティブダミーの軽量化と歩行動作の実現を両立するために、受動歩行の知見を基に、図 1 に示すように膝にはアクチュエータを配置せず、遊脚において膝が真っ直ぐに伸びたときに膝関節を固定するようにモデル化した。遊脚の膝が曲がっているときは、支

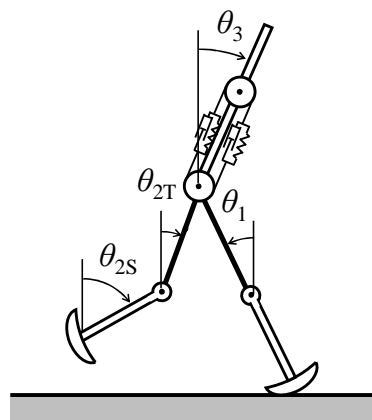


図 1 直列粘弾性アクチュエータを用いた歩行者用アクティブダミー

持脚を1リンク、遊脚を2リンクとして運動方程式を導出し、遊脚の膝が固定されたときは遊脚を1リンクとして運動方程式を導出した。遊脚が接地したとき、および、遊脚の膝が固定されたときの角速度の変化を算出する衝突方程式を角運動量保存により導出した。運動方程式と衝突方程式を用いて遊脚と支持脚の入れ替えや遊脚膝の固定によって歩行状態が遷移する歩行シミュレーションを行った。

(2) 子供を模擬した歩行者用アクティブダミーを想定し、身長を1m、ダミー全体の質量を15kgとして歩行シミュレーションを行った。上体を用いた能動歩行方法<sup>(1)</sup>を参考に上体姿勢制御と遊脚制御を行うことで、直列粘弾性アクチュエータを用いた歩行者用ダミーにおいても、適切な初期条件を与えることで安定した歩行動作が実現されることを歩行シミュレーションにより示した。安定した歩行動作が実現されたときの支持脚角度、遊脚角度および上体角度を図2に示す。図2では前脚が接地した直後からの角度を示しており、支持脚角度は単調に増加し、0.43sで遊脚が地面と衝突することで支持脚と遊脚が入れ替わる。遊脚膝下の角度が遊脚膝上の角度よりも増加することで遊脚の膝が曲がり、その後0.25sで遊脚の膝が真っ直ぐとなり膝が固定されていることがわかる。上体はほぼ一定の角度で保持されており、歩行周期が0.43sの安定した歩行が実現されている。次に、粘弾性要素の特性と歩行動作の関係について検証し、粘弾性要素の特性によっては歩行動作が実現されるものの振動的な歩容となることを示した。粘弾性要素のばね定数を大きく、減衰係数を小さくして振動的な歩容となった場合の遊脚膝上の角度と角速度を図3の細い実線で示す。図3の太い実線は図2の歩行を行ったときの結果である。図3のAにおいて遊脚が接地し支持脚と遊脚が入れ替わりBに移動する。その後Cにおいて膝が真っ直ぐに伸びて遊脚の膝関節が固定され、角速度が変化することでDに移動する。図3に示すように粘弾性要素の特性を変更することで歩容が変化することが確認できる。

(3) 粘弾性要素としてゴムを用いた直列粘弾性アクチュエータを製作した。製作した直列粘弾性アクチュエータを図4に示す。DCモータ、減速機は上体に取り付けられており、減速機と脚部の間に粘弾性要素を配置することで適切な受動特性と歩行動作の実現を両立するようになっている。モータ、減速機、粘弾性要素を別々に配置してベルトで連結する構造としたことで質量中心および慣性モーメントの調整が容易となり、歩行者ダミーに利用可能な直列粘弾性アクチュエータを製作した。粘弾性要素として用いるゴムは3Dプリンターを用いて作成した。これにより、ゴム形状の変更が容易となり、ゴム形状を変更することで粘弾性要素の特性を変更することが可能となった。

<引用文献>

(1) Narukawa, T., Takahashi, M. and Yoshida, K., Numerical Simulations of Level-Ground Walking Based on Passive Walk for Planar Biped Robots with Torso by Hip Actuators, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 2, No. 2, pp. 463-474, 2008.

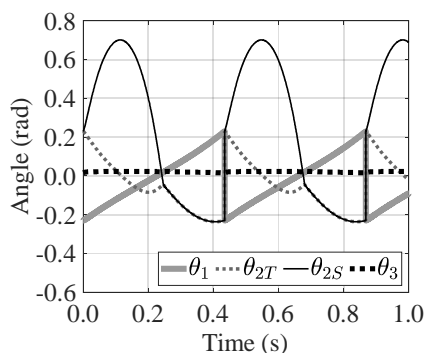


図2 直列粘弾性アクチュエータを用いた歩行シミュレーション

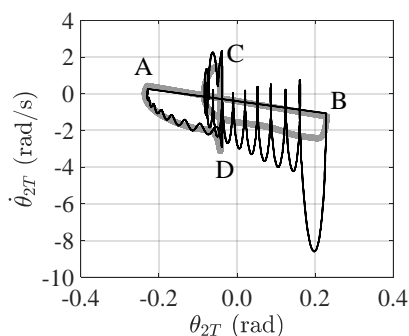


図3 遊脚膝上の角度と角速度

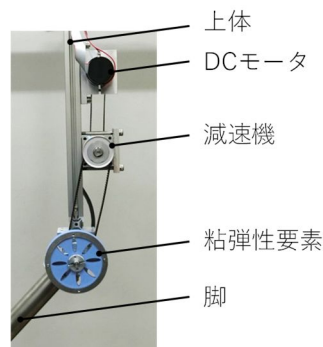


図4 直列粘弾性アクチュエータ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|