

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780256

研究課題名(和文) ゴム履帯張力を利用したハーフトラックの姿勢安定法に関する研究

研究課題名(英文) Attitude stabilization of half-tracked tractor based on rubber crawler tension

研究代表者

福島 崇志 (Fukushima, Takashi)

三重大学・生物資源学研究科・准教授

研究者番号：00452227

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、揺動式履帯走行装置を備えるハーフトラックを対象に、その特徴的機構から履帯張力が変動することを利用した走行制御の可能性を検討するため、履帯張力変動と走行性の関係について調査した。ゴム履帯周方向の粘弾性特性を考慮できるモデルを考案し、CAD/CAE解析により走行シミュレーションを実施した。その結果、履帯張力と走行性の関係が明らかになり、今後の走行制御に対する履帯張力の利用が期待された。

研究成果の概要(英文)：Crawler tension is fluctuated according to the motion of the oscillating crawler unit in the half-tracked tractor. In this study, the relation between the fluctuation of the crawler tension and the tractor driving performance was researched to discuss the possibility for the driving control of the half-tracked tractor utilizing the crawler tension. The driving simulation by CAD/CAE mechanical analysis with the proposed crawler model considering the viscoelasticity in a circumferential direction was carried out. As the result of the simulation, the relation of the crawler tension and the driving performance was revealed, and utilization of crawler tension for control of half-tracked tractor was expected.

研究分野：農業機械学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：ゴム履帯 ハーフトラック 履帯張力 CAD/CAE 走行性

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、軟弱地での走行性や牽引性能の点から、前車輪と後部履帯走行装置を配したトラクタ（ハーフトラックやセミクと呼ばれる）が各社販売を拡大している。本トラクタは、旧来の鉄製履帯に変わりゴム履帯を採用することで、軽量化・走破性で多くの利点を有することが明らかである。中でも、不整地走行において路面の凹凸に追従するため、履帯走行部の車軸と異なる揺動支点を設けたトラクタは、国外では見ることが無い。本トラクタの最大の欠点は、履帯走行部が励起する振動による走行速度の制限であったが、現在では心金レスクローラの採用と駆動スプロケットの変更により、車輪式トラクタに匹敵する走行速度を得ている。

(2) 我が国の農業生産の効率化、精度向上、農産物の高品質化に向け、精密農業を指向した圃場情報センシングや収量管理技術、自動化農業に関する取り組みが進められている。しかし、一様でないフィールドを対象とした土壌センシングや位置情報取得では、センサ側の精度向上はさることながら、センサ設置側である車両等の姿勢を安定させることが重要である。車輪式トラクタでは、路面の凹凸がダイレクトに車体姿勢に影響する半面、ハーフトラックでは、揺動機構により路面への追従性を向上し、車体姿勢の安定化が図られている。

## 2. 研究の目的

(1) 研究代表者は、従前、揺動式履帯走行装置を装備したハーフトラックのアスファルト路面走行時の振動に関して理論・実験を通じた研究を遂行してきた。その中で、ゴム履帯周方向の長さが路面追従により変動することを幾何学的に確認した。つまり、路面状況に応じて履帯張力が変動することが推察された。この現象を、逆に不整地におけるハーフトラック車体の姿勢安定化に活かせると考えた。本研究対象のハーフトラックが採用する揺動式履帯走行装置には、前遊動輪に履帯張力を調節するスプリングが配置されている。この部位を制御装置とすることでハーフトラックの路面への追従性を向上させる。

(2) しかしながら、履帯周方向の張力変動とトラクタの走行性に関しては未だ明らかにされておらず、張力変動がどの程度あるかすら分からない。また、設計段階でゴム履帯の張力変動を評価するツールとしてシミュレーションモデルなどの存在は不可欠である。

(3) 本研究では、動式ゴム履帯走行装置を備えるハーフトラックの走行時の姿勢安定の向上を目指し、履帯走行部の動特性を

把握しうる理論構築とハーフトラックの姿勢を正確に把握するための計測ユニットの製作を目的とした。

## 3. 研究の方法

(1) 揺動式履帯走行装置では、走行時の路面凹凸に追従しフレームが揺動することで履帯周長が変化する。それに伴い履帯張力が変動することでトラクタ走行に影響があるものと推察される。本研究ではこの点を理論的に解明するために、履帯周方向に柔軟な特性をもつ履帯モデルを提案し、揺動式履帯走行装置の走行シミュレーションを構築した。はじめに、ゴム履帯を簡易的に表現する履帯モデル1を作成した。続いて、モデル1の問題点を修正するためにより現実の履帯に近い履帯モデル2を提案した。これらのモデルは、多剛体系で構成されるためマルチボディダイナミクスを基礎とするCAE機構解析ソフトにより構築され、走行シミュレーションを実施した。なお、対象となる揺動式履帯走行装置は、市販のハーフトラック諸元を参考にした。

### (2) 履帯モデル1(図1)

履帯周方向の粘弾性特性を考慮するモデルを構築した。履帯ラグ部は芯金が配置され、他の部位と比較して剛性が高い。このラグを剛体(円筒)で表現し、それぞれのラグ間を粘弾性バネジョイントにより接続した履帯モデルを作成した。

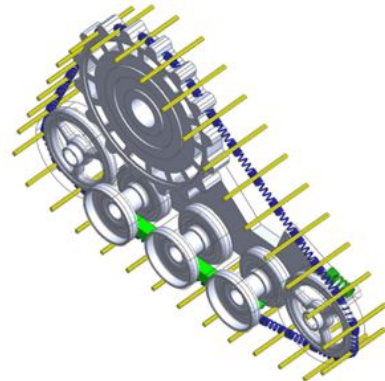


図1 履帯モデル1によるCAEモデル

### (3) 履帯モデル2(図2)

モデル1では、ラグ間の引張を1次元でしか表現できない。履帯は遊輪や駆動スプロケット部においては屈曲し巻きかけられる。そのため、曲げに対する特性をもつ履帯モデルが必要と考えた。また、ラグ部を簡易的に円筒体で表現しているが、これでは実際の路面接地状態を表現できないため、CADソフトウェアにより、実際の履帯形状に近いボディ(ラグを中心にラグピッチ中央までが付属したボディ)を作成し、それぞれをプッシングジョイントにより接続した。プッシングでは接続点において6自由度の粘弾性特性を表現できるため、履帯の巻きかけ部の屈曲に対する特性も適切に表現できる。

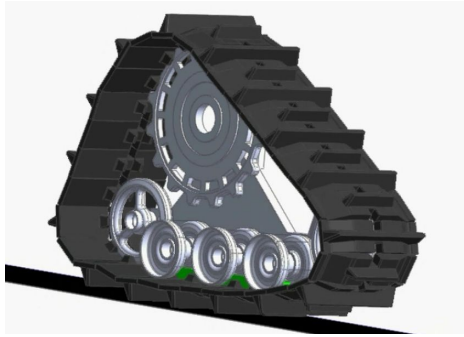


図2 履帯モデル2によるCAEモデル

(4) 走行時のトラクタ姿勢を正確に計測するため、小型のセンサユニットを作成した。センサユニットは、3軸MEMS加速度センサと3軸MEMSジャイロおよびAVRマイコンにより構成された。トラクタの挙動を正確に把握するため、6自由度の加速度成分を分離する計算アルゴリズムをマイコンに導入した。加えて角速度データから姿勢角の算出においては、計算速度および計算誤差の面から、一般的なオイラー角ではなく、クォータニオン(またはオイラーパラメータ)を用いたアルゴリズムを構築した。加えて、姿勢角精度向上のために加速度センサの値を利用し姿勢角誤差を推定しながら正確な姿勢角を算出するデジタルフィルタ(拡張カルマンフィルタ)を導入した。

#### 4. 研究成果

(1) 履帯モデル1を用い、路面走行シミュレーションを実施した。ゴム履帯を想定したバネジョイントのパラメータを様々変更した場合の履帯走行装置の挙動を観察した。その結果、パラメータの違いによる走行性の違いが確認された。また、遊輪巻きかけ部における作用力が揺動支点に対してモーメントを発生することが確認された。これが走行時の履帯走行部揺動を励起していることを確認した。

(2) 履帯モデル1では表現できない曲げ方向の特性を考慮した履帯モデル2により同様の走行シミュレーションを行った。その際、バネジョイントとブッシングジョイントの違いを比較した。バネ、ブッシングともに履帯1周における張力変動が確認された(図3)。また、ジョイントの違いによりゴム履帯引張力が異なることが確認された(図4)。

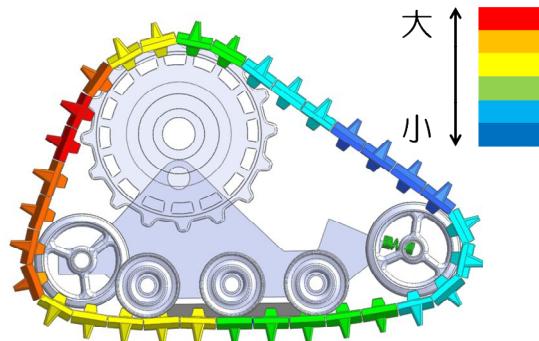


図3 履帯張力の分布図

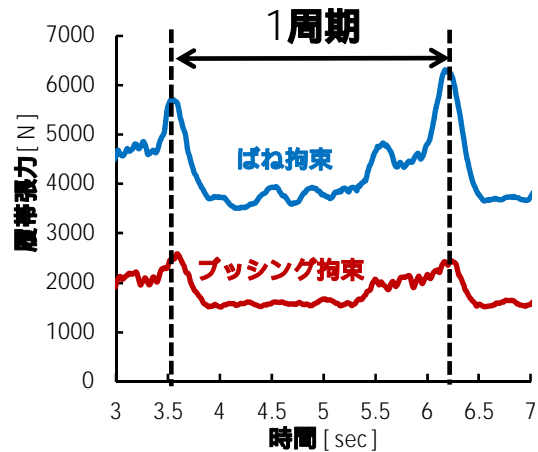


図4 ジョイントの違いによる履帯張力

(3) 姿勢計測用に開発したセンサユニットでは静的・動の実験を行い、システムの有効性を確認した。静的実験では、デジタルフィルタを用いずにクォータニオンによる姿勢角算出だけでも十分な精度が得られた。しかし、MEMSジャイロセンサ(振動式)は、動的環境下での計測精度に誤差が多くなる傾向を持っているため、今回、動的環境下においては拡張カルマンフィルタを導入した姿勢角算出アルゴリズムを提案した。その結果、クォータニオンおよび拡張カルマンフィルタを併用する計算アルゴリズムの有効性が示された(図5)。

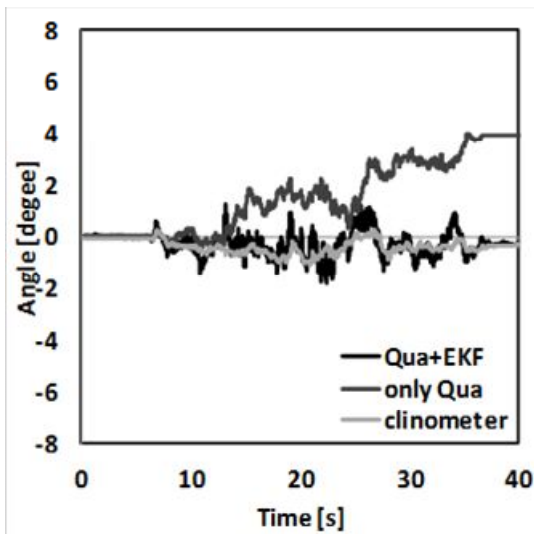


図5 カルマンフィルタによる姿勢角

(4) 以上(1),(2)の結果から、履帯張力変動により走行性の違いが明らかとなった。これらは、ゴム履帯張力の制御により、車両の走行速度や揺動を励起する巻きかけ力によるモーメントなどを変更可能であり、今後ハーフトラックの走行制御理論へと発展が期待できる。

#### 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 3件)

福島崇志, 佐藤邦夫, 小栗健史, 井上英二, 光岡宗司. 揺動式履帯走行装置における履帯張力変動の影響. 農業食料工学会関西支部誌, 査読無, 115, 35-36.2014.

福島崇志, 佐藤邦夫, 柳瀬宣彦. MEMS センサを用いた移動体の位置・姿勢推定. カルマンフィルタによる姿勢推定. 農業食料工学会関西支部誌, 査読無, 115, 37-38.2014.

福島崇志, 佐藤邦夫, 水谷俊介, 小栗健史, 光岡宗司, 井上英二. CAE 機構解析ソフトウェアの利用. 農業食料工学会関西支部誌, 査読無, 113, 11-13.2013.

##### [学会発表](計 8件)

Fukushima T., K. Sato, T. Oguri and Man su Cho. INFLUENCE BY TENSION FLUCTUATION OF RUBBER CRAWLER IN A HALF-TRACKED TRACTOR. The 7th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering. Yilan, Taiwan. 21-23 May 2014.

福島崇志, 佐藤邦夫, 小栗健史. ゴム履帯張力を考慮した CAD/CAE 履帯モ

デル. 農業食料工学会. 琉球大学, 沖縄. 2014.5.17-18.

Fukushima T., K. Sato, N. Yanase and M. Cho. Motion Estimation by Sensor Fusion with MEMS accelerometer and gyroscope. International Workshop on Agricultural Engineering and Post-harvest Technology for Asia Sustainability(AEPAS). Hanoi, Vietnam. 5-6 Dec., 2013.

福島崇志, 佐藤邦夫, 柳瀬宣彦. MEMS センサを用いた移動体の位置・姿勢推定. 農業食料工学会関西支部第 130 回例会. 津. 2013.11.1.

福島崇志, 佐藤邦夫, 小栗健史, 井上英二, 光岡宗司. 揺動式履帯走行装置における履帯張力変動の影響. 農業食料工学会関西支部第 130 回例会. 津. 2013.11.1.

福島崇志, 佐藤邦夫, 小栗健史. 履帯張力を考慮した揺動式履帯走行部の CAD/CAE シミュレーション. 農業機械学会関西支部例会. 神戸. 2013.3.5.

Fukushima T. and K. Sato. ANALYSIS FOR DYNAMIC BEHAVIOR OF HALF-TRACKED TRACTOR BY CAE. The 6th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering. Jeonju, Korea. 18-20 June 2012.

福島崇志, 佐藤邦夫, 柳瀬宣彦. MEMS センサを用いた車両姿勢計測ユニットの製作. 農業機械学会関西支部例会. 京都. 2012.3.5.

##### [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]

ホームページ等

三重大学生物資源学部 応用環境情報学研究室.

<http://www.bio.mie-u.ac.jp/kankyo/joho/control/>

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

福島 崇志 (TAKASHI FUKUSHIMA)

三重大学・大学院生物資源学研究科・准教授

研究者番号: 00452227

##### (2)研究分担者

なし

##### (3)連携研究者

なし