

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04573

研究課題名(和文) 履帯張力センサによるアクティブテンションコントロール

研究課題名(英文) Development of active tension control system utilizing 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) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：揺動機構を有する履帯走行部では、弾性体であるゴム履帯の張力がその走行性に影響を及ぼすことが明らかになった。この張力変動を逆利用することで、トラクタの走行性向上が期待できる。本研究では、履帯張力変動をリアルタイムでセンシングする技術開発から、履帯トラクタの走行・作業性向上に加え、履帯の破損や脱輪を事前に防ぐ安全性に関する揺動式履帯走行部のアクティブ制御の開発を目的とした。研究期間内では、履帯張力の測定方法に関して基礎実験を通じ、その測定方法の有効性を示した。また、履帯張力を考慮した走行シミュレーションモデルを提案し、その妥当性と履帯パラメータの違いによる走行性の違いを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：It can be expected to improve the driving performance of the half-tracked tractor equipped with the oscillating crawler unit through the control of the crawler tension from the previous study on the crawler tension. This study aims to develop the active-control system for controlling the crawler tension in order to improve the driving performance, the working efficiency and the safe performance. The real time sensing of the crawler tension and relation between the crawler tension and the tractor driving performance would be required to construct the crawler tension control system. In this project, the fundamental experiment showed the efficacy of the method which we proposed to measure the crawler tension. And the relationship between the crawler tension and the driving performance of the half-tracked tractor was examined using the simulation model that is able to express the fluctuation in the crawler tension.

研究分野：農業機械学

キーワード：ゴム履帯 履帯張力 発振回路 CAE 機構解析 マルチボディダイナミクス 引張試験

### 1. 研究開始当初の背景

ゴム履帯車両であるセミクロトラクタは、牽引・走破性の面で多くの利点を有する。中でも、不整地走行において路面の凹凸によく追従するように、図1のような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、現在では履帯構造の変更と駆動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。また、研究代表者がここ数年で得た成果により、履帯張力と走行性の関係も明らかになってきた。一方、トラクタの制御に関しては、作業効率向上のための作業機側の制御や自律走行制御、圃場の大規模化に対応する走行アシストなど、作業性と走行性に関する研究が大勢を占め、安全性の観点での制御は研究が遅れている。本研究は、農作業に有利なトラクタ性能をもつセミクロトラクタを対象に、更なる作業性向上と安全性確保を、これまでにない履帯張力制御により実現するものである。

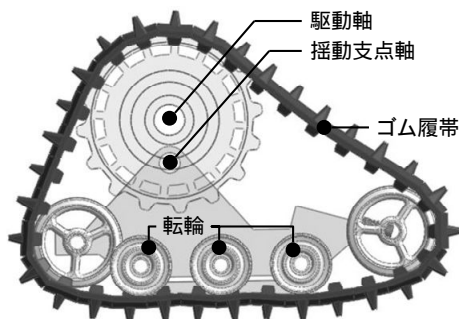


図1 揺動式履帯走行部の一例

研究代表者らのこれまでの研究において、履帯走行部の解析上の問題として、履帯張力の影響が示唆されていた。揺動機構を有する履帯走行部は、路面の起伏に応じて走行部自体が揺動し、履帯周長が変化することで張力変動が起こる。この弾性体としてのゴム履帯の特徴を、逆に不整地におけるセミクロトラクタ走行の安定化ならびにけん引性能の最適化に活かせると考えられた。履帯張力変動とセミクロトラクタの走行性の関係を明らかにするため、履帯ラグ間の粘弾性特性を表現する多剛体系のCAD/CAE履帯モデルを構築してきた。本モデルは、これまで履帯の力学モデルとして提案されたものに比べ、履帯周方向の特性を適切に表現できるモデルとなった。

一方、スマート農業の実現に向け農機メーカー各社は農業機械とICTを融合した営農支援システムを提供している。これらの取り組みは大きく2つで、一つはセンサクラウドなどICT技術を活かしたスマートアグリで、農業大国オランダで既に高く評価されている、もう一つは農機稼働状況の監視によるメンテナンス支援である。メンテナンスに関しては、未発展な部分が多く、現状は故障箇所や部品

の特定がされるのみで、危険察知や寿命予測などの高度なシステムへの展開が今後期待されている。

### 2. 研究の目的

これまでの研究において、揺動機構を有する履帯走行部では、弾性体であるゴム履帯の張力変動がトラクタの走行性に影響を及ぼすことが明らかになった。この張力変動を逆利用することで、トラクタの走行性向上が期待できる。この履帯張力の制御系構築には、張力をリアルタイムで計測するセンサ開発が不可欠である。一方、不整地を走行する履帯トラクタは、思わぬ負荷（特に旋回時）により履帯が破損、脱輪することが報告されている。これを事前に回避するには、履帯張力センサや張力制御が有効である。本研究では、履帯張力変動をリアルタイムでセンシングする技術開発から、履帯トラクタの走行・作業性向上に加え、履帯の破損や脱輪を事前に防ぐ安全性に関する揺動式履帯走行部のアクティブ制御の開発を目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 履帯張力を考慮したゴム履帯モデルならびにセミクロトラクタの走行シミュレーション

本研究では、履帯周方向に柔軟な粘弾性特性を表現しうるゴム履帯のシミュレーションモデル(図2)を提案した。本モデルは、芯金やラグの硬い部位に剛体を配置し、ラグ間をプッシング拘束により、ラグ間の伸縮を表現している。プッシング拘束は三軸方向および三軸周りの回転方向の6自由度の粘弾性特性を定義できる。

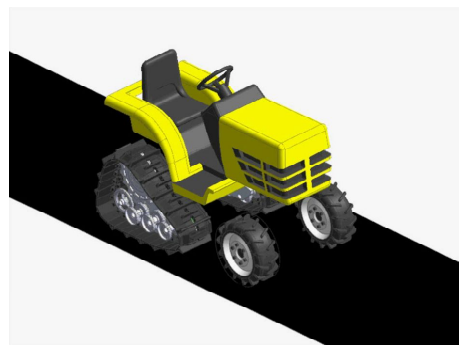


図2 シミュレーションモデル

本モデルは、市販のセミクロラトラクタ(15馬力)を参考に構築した。駆動プロケット、転輪、前後遊動輪、フレームはそれぞれ、CADソフトウェア「Solidworks」により形状を作成し、CAE機構解析ソフトウェア「RecurDyn」にインポートしたのち拘束条件を与え、後輪部の履帯走行装置としてモデルを構築した。また、駆動プロケットに回転速度を与えることで車両に推進力を与える。本モデルは直進走行を想定しており車体にはロール方向に回転しない拘束を定義した直進走行モデルである。シミュレーションで

は、ゴム履帯の粘弾性特性や前遊動輪を支持するバネ鋼の粘弾性特性を変化させた時の履帯走行部およびトラクタ機体の走行性について解析を実施した。

#### (2) 履帯張力測定の提案

ゴム履帯に作用する力の測定には通常、歪みゲージによる測定が考えられるが、履帯の屈曲部において曲げ歪みや履帯振動による歪みの影響を受けやすい。本研究では、走行中のゴム履帯張力測定のため、ゴム履帯内部に配置されるスチールコードの利用を検討した。ゴム履帯はラグ下に芯金、ラグ間に十数本のスチールコードで構成される。その中の任意のスチールコードを電極とみなしたコンデンサを想定し、CR 発振回路(図3)を構成する。ゴム履帯の引張に伴う横ひずみにより、スチールコード間距離が変化することで電気容量が変化し、同時に回路の発振周波数も変化する。

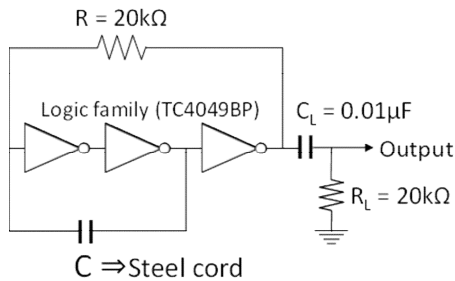


図3 計測に用いたCR発振回路

本計測方法の有効性を確認するため、ゴム履帯片を用いた基礎引張実験(図4)を実施した。ゴム履帯片を万能試験機に固定し引張した。引張荷重はロードセル、発振周波数はオシロスコープで測定した。試験は万能試験機の距離の限界まで引張し、その後初期位置に戻す負荷・除荷実験を1回実施した。

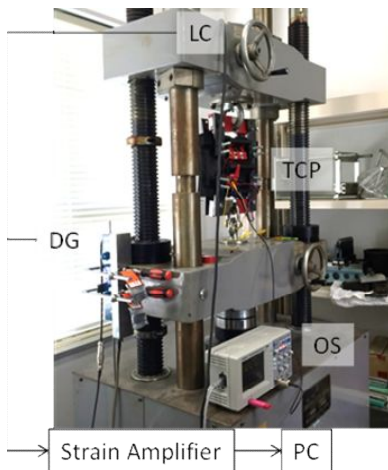


図4 ゴム履帯片の引張試験

LC: load cell that was fixed at top of the machine, TCP: Test crawler piece that was set on the test machine with the original jig, DG: Displacement gauge, OS: Oscilloscope.

#### 4. 研究成果

##### (1) 走行シミュレーションの結果

シミュレーションでは、ゴム履帯の弾性係数と前遊動輪支持バネのばね定数を変化させた時の履帯走行部の特性を評価した。その結果、張力、走行速度のばらつき、屈曲部での作用力、接地荷重に差異が生じた。また、従前の履帯車両の振動モデル同様に、転輪が履帯のラグ部を通過する通過周波数に相当する振動現象も確認され、本モデルの妥当性も一部検証できた。

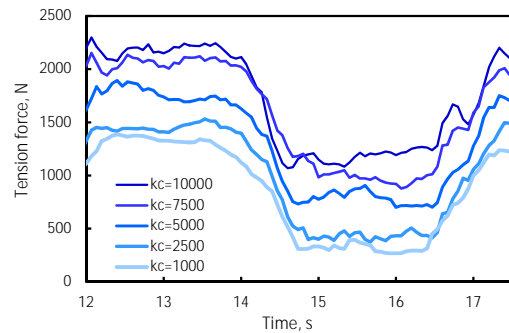


図5 解析結果の一例(履帯張力の変動)

##### (2) 履帯内部のスチールコードを用いた履帯張力測定

実験では、スチールコードを隣同士の2本又は6本用い、コンデンサの電極として使用した。無負荷時におけるスチールコードを間の静電容量を複数回計測した結果、2本の場合は約500pF、6本の場合は約2.8nFであった。静電容量をもとに発振周波数を計算すると、2本の場合は約45kHz、6本の場合は約8kHzとなった。実際に無負荷時の計測においては、2本の場合約90kHz、6本の場合は約11kHzとなり、2本の場合で理論値と大きく違いが出た。これはスチールコード6本では、電極面が広く外乱の影響を受けにくい反面、電極面の少ない2本の場合は、ゴム履帯片を固定する治具などの影響を強く受けたものと考えられた。

図6にスチールコード2本を用いた場合と6本を用いた場合の引張荷重に対する発振周波数変化を示す。プロットは一回の計測結果で、値は安定しており代表値を採用した。どちらの場合も引張荷重と発振周波数の間には強い負の相関が確認された。引張荷重の増加に伴い発振周波数が減少することは理論通りであり、本計測の有効性が確認できる。2本電極の場合は、傾きが大きくより感度の高い計測が可能と考えられる。一方で、6本電極では高い相関係数が見られ、安定した計測が可能と推察される。

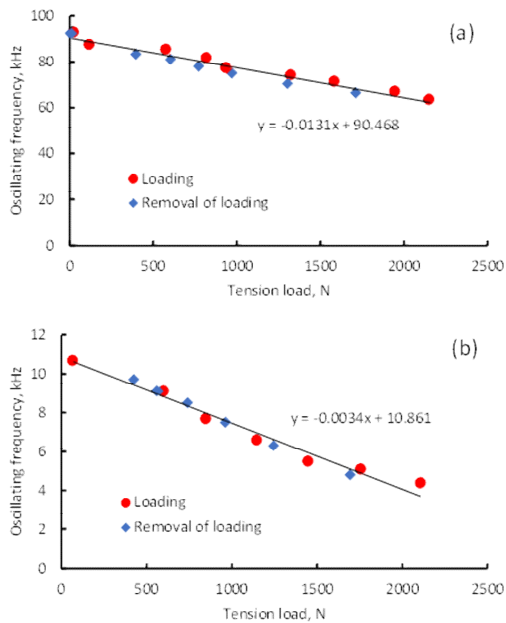


図6 ゴム履帯引張試験結果

(a) スチールコード2本を使用

(b) スチールコード6本を使用

#### 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 5件)

Fukushima T., E. Inoue, M. Mitsuoka, K. Sato and T. Oguri. A simple rubber crawler model for studying fluctuation in crawler tension. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. In press. 査読有.

松井正実, 三浦泰, 青柳悠也, 福島崇志. 斜面走行時の自脱コンバインの挙動に関する考察. *農業食料工学会誌*, 80(2), 107-113. 2018. 査読有.

福島崇志. 履帯車両における履帯張力と走行性の関係. *農業食料工学会関西支部報*, 121, 巻頭p8. 2017. 査読無.

片桐拓紀, 福島崇志, 井上英二, 光岡宗司, 佐藤邦夫. 履帯張力測定に関する基礎実験. *農業食料工学会関西支部報*, 119, 35-36. 2016. 査読無.

福島崇志, 佐藤邦夫, 小栗健史, 片桐拓紀. プッシング拘束によるCAD/CAEクローラモデルを用いたハーフトラックの動的解析. *農業食料工学会関西支部報*, 117, 25-27. 2015. 査読無.

〔学会発表〕(計 3件)

片桐拓紀, 福島崇志, 井上英二, 光岡宗司, 佐藤邦夫. CR発振回路を利用した履帯張力測定に関する基礎実験. 農業食料工学会. 京都大学(京都市). 2016.5.28-30.

片桐拓紀, 福島崇志, 井上英二, 光岡宗司, 佐藤邦夫. 履帯張力測定に関する基

礎実験. 農業食料工学会関西支部例会. ヤンマーミュージアム(滋賀県, 長浜市). 2015.10.10.

片桐拓紀, 福島崇志, 佐藤邦夫, 井上英二, 光岡宗司. 履帯車両走行時の履帯張力測定に関する研究. 農業環境工学関連5学会2015年合同大会. 岩手大学(岩手県, 盛岡市). 2015.9.14-18.

〔その他〕

2016年度 農業食料工学会関西支部賞. 履帯車両における履帯張力と走行性の関係.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

福島 崇志 (FUKUSHIMA, Takashi)

三重大学・大学院生物資源学研究所・准教授

研究者番号: 00452227

##### (2) 研究分担者

井上 英二 (INOUE, Eiji)

九州大学・大学院農学研究院・教授

研究者番号: 00184739

松井 正実 (MATSUI, Masami)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号: 10603425

##### (3) 連携研究者

なし

##### (4) 研究協力者

なし