

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26850158

研究課題名(和文) 快適農作業の実現を目指した電気トラクタ動力伝達機構の簡素化に関する研究

研究課題名(英文) Study on simple power transmission mechanism of electric tractor for comfortable farming

研究代表者

上加 裕子 (Ueka, Yuko)

愛媛大学・農学研究科・講師

研究者番号：00527103

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：農業就業者の高齢化や女性農業者の増加が期待されている中、農業機械の安全性向上、さらには快適性の向上も重要な課題である。従前の研究で、電気トラクタ(1号機)を開発し、大幅な省エネ効果を確認した。

本研究では、エネルギー損失を可能な限り抑えるため、歯車やギアで構成される動力伝達機構を排除し、モータ回転数制御のみで速度制御を可能にした電気トラクタ(2号機)を開発した。2号機の振動、騒音は、エンジントラクタ、1号機よりもそれぞれ大幅に低減した。特に騒音においては、静かな街頭レベルという極めて快適性の高い成果を得た。これにより、操縦者や周辺住民などの身体的心理的負担軽減にも効果が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The improvement of safety, and the comfort of agricultural machines are one of the most important tasks while the aging of farmers, but also the more women are becoming farmers. The electric tractor (machine 1) was developed and the effect of energy saving was confirmed in the former study.

In order to control the energy loss as much as possible, the power transmission system with gears and structuring with gears are removed, and the electric tractor (machine 2) which controls speed with only controlling the numbers of rotating the motor was developed in this study. The vibration and the noise of the machine 2 was massively reduced comparing with machine 1. Especially with the noise, the very highly comfort which is the same level as quiet towns was gained. As a result, the effect of reduction of the mental and physical burden for the drivers and local residents are expected.

研究分野：農業機械

キーワード：電気トラクタ 快適性 振動 騒音

1. 研究開始当初の背景

環境負荷低減は、農業生産現場においても求められている。農業機械等の特殊自動車に対しても 2011 年度から段階的に排ガス規制が実施されており、今や農業機械においてもクリーンエネルギー化は必須要件となっている。また近年は、農業者の高齢化や女性化、それに伴う農作業事故の多発、さらに騒音・振動など作業環境の改善などの要望が益々高くなっている。

農業機械においても、省エネの観点から電動化の取り組みは重要と考えられており、申請者は産官学連携研究体制のもと、市販の小型 4 輪駆動トラクタ (10 kW) のエンジン部を交流モータに置き換えた実用的な日本初の電気トラクタ (1 号機) を開発した。この開発機によるロータリ耕うん作業では、バッテリー 1 回充電での作業面積は約 13 ไร่、作業時間は 1 ~ 1.5 時間であった。同機種のエンジントラクタの場合、1 タンク容量で 40 ไร่程度は作業できる。実用化を考えると、可能な限り既存トラクタの作業性能に近づくこと、このためには機械的ロスが少なく、省エネ化できる動力伝達機構の開発が必要である。すなわち歯車や軸受けからなる従来からの機械要素をなくし、モータ制御のみで走行、作業機駆動する摩擦損失の極めて小さい動力伝達機構を開発することである。

申請者は、これまでの過程において振動・騒音の軽減を体験した。このように農用トラクタの動力伝達機構を簡素化することで、さらなる省エネ化が可能であるとともに、騒音・振動等の作業環境の改善も期待できると考えた。

2. 研究の目的

電気トラクタによる快適農作業の実現にむけて、動力伝達機構の簡素化に取り組むこととしている。

これまで開発した 10 kW 交流モータ搭載の 4 輪駆動トラクタの歯車組み合わせからな

る動力伝達機構を全て取り外し、モータ回転制御のみで作業操作できる動力伝達機構の開発、これを搭載した電気トラクタから生じる騒音・振動の大きさ、それと作業者の心身負担への影響等を明らかにし、快適農作業が実現できる農用電気トラクタを開発する。

3. 研究の方法

試作した 2 号機は、前輪操舵、後輪駆動の 2 輪駆動式である。ベースのエンジントラクタからエンジンおよび動力伝達機構をすべて取り外し、左右それぞれの後輪軸と三相ブラシレスモータおよび減速機 (減速比 1 : 33.09) からなるモータユニット軸をチェーンおよびスプロケット (減速比 1 : 1.2) で連結した。通常トラクタには旋回を容易にするために、左右の車輪を異なる速度で回転させ、車輪の滑りをなくす差動装置がついているが、本機は、ステアリングセンサーに依る 2 モータ左右独立速度制御 (差動制御) 方式をとっている。エンジンが搭載されていたフロント部分に、鉛バッテリー (12V36Ah) 3 個を直列に接続した。ブレーキは後輪軸に機械式ブレーキを装着した。

2 号機の機械性能 (けん引性能) および、振動・騒音を計測した。また、快適性向上の検証のため、エンジン式トラクタ、1 号機、2 号機の振動・騒音をそれぞれ計測した。

4. 研究成果

(1) けん引性能

2 号機で木製ソリをけん引し、ブロック (約 14kg/個) を 2 個ずつ増やし、負荷荷重を変化させた。試験はコンクリート路面で実施し、けん引係数は 37~62% であった。ソリと 2 号機の間ロードセルを設置し、けん引力によって生じたひずみを、ストレインメータを介して、データロガーに記録させ、校正値を使ってけん引力を算出した。計測は速度 5 段階ごとにひずみ、電流、電圧をサンプリング間隔 100ms で行った。

図 1 に速度と消費電力の関係を示す。走

行速度が増加することで消費電力も増加する結果となった。また、負荷荷重が大きくなると、低速域ではけん引できなかった。図2にけん引力とけん引出力、図3にけん引力とすべり率の関係を示す。けん引無しで最高速走行時の消費電力は約300W(図1)となった。

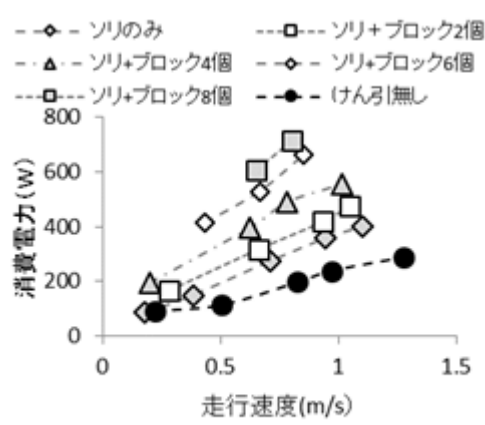


図1 2号機の消費電力

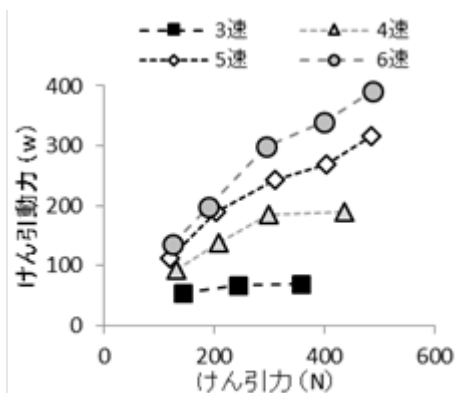


図2 けん引力とけん引出力

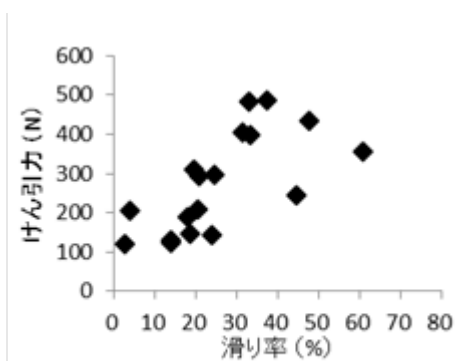


図3 けん引力と滑り率

1号機(総重量554kg)が同速度で走行時の消費電力は約1.8kWであり、単位重量当

たりの消費電力に換算し比較すると60%程度の省エネ効果が確認できた。負荷最大で最高速走行時のけん引出力は約400W(図2)、消費電力は約700W(図1)となり、けん引効率は57%程度となった。トラクタは通常すべり率20~30%以上になるとけん引力の増加は小さくなるが、本機では40%程度まではけん引力が増加した(図3)。

今回実施したコンクリート路面のけん引係数から理論的に算出した本機のけん引力は約834~1397Nとされたが、理論値に近いけん引力を作用させようとすると、ソリ側に作用する瞬間の最大静止摩擦力がこれよりも大きくなり、車軸とモータユニット軸を連結する部分の軸保持力の設計値を超え、連結部分に影響が及ぶ結果となった。

(2) 振動・騒音

振動を圧電式加速度ピックアップ(PV-97I)、騒音を普通騒音計(NL-42)で計測した。騒音計は操縦者の耳元に設置し騒音レベル(A、C特性)を計測した。加速度ピックアップは座席下ボディフレーム、足元、ハンドル付近に進行方向をX軸正方向、左をY軸正方向、鉛直上をZ軸正方向となるように瞬間接着剤で固定した。各データは、4チャンネルレコーダーDA-21で記録した。振動は測定周波数範囲0~500Hzとし、データ数512、サンプリング周波数1280Hz、パワースペクトル密度により0~50Hz間の振動加速度実効値(RMS値)を振動の大きさとした。騒音は波形分析ソフト(CAT-WAVE)を用いて1/3オクターブ分析を行い、複合音波全体の大きさを表すオーバーオール音圧レベル(OA値)を求めた。モータ停止時および走行速度0.2~1.6m/sの6段階ごとに計測した。

改造前のエンジンベース(カタログ値)のハンドル部の振動のRMS値 1.54m/s^2 、耳元騒音のOA値83dB(A)に対し、電動化した2号機のハンドル部の振動のRMS値 0.26m/s^2 、耳元騒音のOA値61dB(A)となった。計測条件

が同一ではないが、振動、騒音ともに電動化により低減されたことが確認できた。

(3) 快適性向上の検証(振動・騒音)

振動および騒音面から快適性の検証をするために、エンジントラクタ、電気トラクタ1号機においても、3と同様の振動、騒音計測を実施した。エンジン又はモータ停止時、ニュートラルギアでアクセル全開時、低速3段階、高速3段階で走行時の振動、騒音を計測した。

図4に走行時の各計測点の振動のRMS値の平均を示す。エンジンからモータに改造(1号機)、さらにトランスミッションを削除したこと(2号機)で振動が大幅に軽減したことが確認できた。走行時の耳元騒音のOA値の平均も、エンジン95dB(A)、1号機74dB(A)、2号機61dB(A)となり、大幅に軽減したことが確認できた。

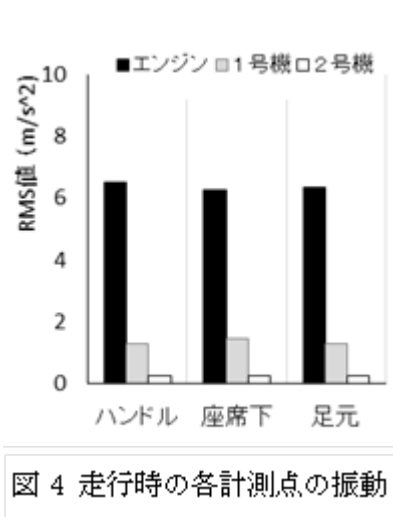


図4 走行時の各計測点の振動

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 2 件)

Theoretical Consideration of Electric Consumption and Power Distribution of Electric Tractor, Yuko UEKA, Kazunobu SATO, Jun YAMASHITA, Yoshinori DOI, Proc. 8th Int. Symp. Mach. Mech. Agr. Biosys. Engng. (ISMAB), CD-ROM, (2016) 査読有

消費電力シミュレーションによる電動トラクタの簡素化動力伝達機構の考察, 木下武士, 上加裕子, 佐藤員暢, 山下淳,

小出龍一, 農業食料工学会関西支部報第117, 23-24. (2015)査読無

〔学会発表〕(計 5 件)

省力的な農業生産を目指した技術開発の現状と課題, 上加裕子, 平成 28 年度知的財産の技術移転加速化事業及び産学連携支援事業『中四国の農業を支えるAI・省力化技術開発の最前線』国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 西日本農業研究センター・四国研究拠点・仙遊地区, 香川県善通寺市, 2016.10.26.

高回生システムを有する電動モノレールの開発, 上加裕子, 有馬誠一, 佐藤員暢, 片山了輔, 神岡弘貴, 千種英樹, 東澤英則, 隅田茂, 農業食料工学会第 75 回年次大会, 京都大学, 京都府京都市 2016.5.27-30.

Theoretical Consideration of Electric Consumption and Power Distribution of Electric Tractor, Yuko UEKA, Kazunobu SATO, Jun YAMASHITA, Yoshinori DOI, Int. Symp. Mach. Mech. Agr. Biosys. Engng. (ISMAB), TOKI Messe, Nigata, Nigata, 2016.5. 23-25.

消費電力シミュレーションによる電動トラクタの簡素化動力伝達機構の考察, 木下武士, 上加裕子, 佐藤員暢, 山下淳, 小出龍一, 農業食料工学会関西支部会第 132 回例会, 岐阜大学, 岐阜県岐阜市 2014.9.25-26.

電気トラクタの動力伝達機構簡素化による消費電力予測シミュレーション, 上加裕子, 小出龍一, 木下武士, 佐藤員暢, 山下淳, 農業食料工学会第 73 回年次大会, 琉球大学, 沖縄県中頭郡 2014.5.16-19.

〔その他〕

ホームページ等

<http://web.agr.ehime-u.ac.jp/~brs/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

上加裕子 (UEKA, Yuko)

愛媛大学・大学院農学研究科・講師

研究者番号: 00527103