

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04572

研究課題名(和文)トラクタ・ドライブシミュレータによる事故シナリオ抽出と危険回避制御ロジック構築

研究課題名(英文)Development of farm tractor DS for fatal accident senario and control logic

研究代表者

酒井 憲司 (Sakai, Kenshi)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：40192083

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、小型農用トラクタに特化したDSの開発を御目的とする。CarSimDSを基盤としたコックピットを試作した。自由度のトラクタ運動方程式をMatlabのmファイル形式で作成し、Simlink形式に移植したトラクタモデルを構築した。典型的な事故シナリオについて、仮想現実環境における事故再現を検証し、制御ロジックを検証した。サロゲートアルゴリズムを用いて3次元の無限路面生成を行った。小型トラクタだけではなく大型のトラクタにおいての非線形挙動についても検証した。路面とタイヤ間のスティック・スライドモデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed tractor DS. Regarding a typical accident scenario, we verified the self-reproduction in the virtual reality environment and made prototype the control logic. Tractor DS platform We have constructed a 7-DOF nonlinear vehicle model incorporated in CarSim. 7DOF dynamics model was developed and impletemted with Matlab-Simlink. Stick-Slide model was established for road-tire interactions.

研究分野：農業環境工学

キーワード：トラクタ ドライブシミュレータ 非線形振動 ジャンプ Matlab-Simlink

1. 研究開始当初の背景

トラクタの転倒事故防止の観点からのトラクタダイナミクスに関する研究は1970年代から英国を筆頭に欧米や日本において精力的に行われてきた。欧米では、大型化と高速化に対応したサスペンショントラクタやキャビンなどの機体構造変更を伴う安全設計により事故低減が図られてきたが、小型トラクタではコストの面から限界があり、我が国では事故ケーススタディや安全教育・啓発等のソフト面を支援する研究が精力的に行われてきた。

一方、研究代表者らは、非線形力学（カオス理論）の導入することにより、乗用車では見られないトラクタ特有の異常な動的挙動を理論・実験両面で明らかにした。例えば、農用トラクタの道路走行時の凹凸によって発生する激しいジャンプ現象をカオス振動に特徴的な分数調波共振であることを示した（Sakai, 農業機械学会誌 62(4), 2000）。このような学術的背景を踏まえて、本申請研究においては、トラクタ機体の構造変更を行わないで、トラクタの転倒事故回避のための基盤技術の開発を目的とする。

2. 研究の目的

農業機械による死亡事故は我が国においては依然400人前後という高水準で推移し、中でも農用車両による事故はその半数を超える。急速に進む高齢化など様々な複合要因により、機体の安全研究、事故調査研究、教材開発による啓発の推進にかかわらず事故低減の兆しが見えない。本研究では、わが国で主流の小型トラクタを想定したドライブシミュレータ（トラクタDS）を開発し、事故シナリオの抽出し、事故回避のための車体運動制御ロジックを検討する。

3. 研究の方法

28年度はトラクタ（DS）の主要部の構築を行う。車両運動モデルは6自由度以上で、ジャンプ現象も再現できるものとする。仮想現実環境を構成する3次元地表面データの無限生成をサロゲーションによって行う。運転中のストレスモニタリングのためのイメージング脈波計測システムも試作する。農用トラクタ転倒事故シナリオの抽出のための仮想現実空間内における自動運転、実操舵運転を行う。

4. 研究成果

(1) サロゲーションによる無限路面生成
現実の路面と同様の統計的性質を有する路面形状を無限に生成することも、仮想堅実化における自律走行シミュレーションには必要であり FT サロゲーション法とコヒーレンスを組み合わせて、現実の路面と統計的に等価な性質を持つ3次元路面を無限に生成できる手法（低周波同位相化 FT サロゲーション法）を考案した。また、実路面においてコヒーレンスが存在するため、これを反映した無限路面生成法を考案した。

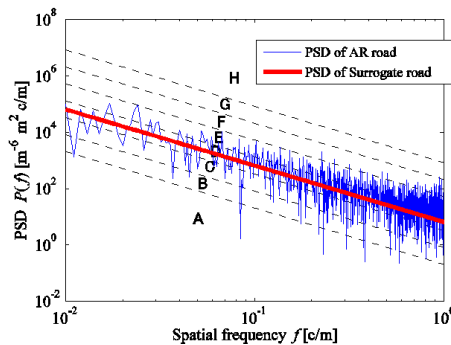


図1 サロゲート路面の統計的性質

(2) 開発プラットフォームの試作

トラクタ DS のプラットフォームは CarSim を基盤に構築し図1のようなコックピットを試作した。



図2 コックピット

(3) 車両物理モデルの構築

7自由度のトラクタ運動方程式を Matlab の m ファイル形式で作成し、Simlink 形式に移植したトラクタモデルを構築した。同一のフレームワークで12自由度モデルへの拡張は可能であることを確認した。構築した Simlink トラクタモデルを S ファンクションを用いて CarSim に接続しドライブシミュレータ（DS）として実装した。タイヤと路面の Stick-Slide ダイナミクスのモデル化の重要性が明らかとなったため、これをモ

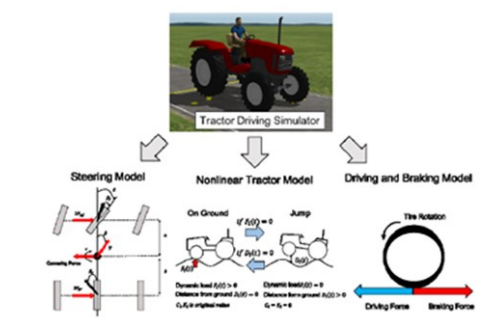


図3 非線形7自由度トラクタモデル

デル化し、Matlab.m ファイル形式に実現した。

パラメータスタディによって、分岐が確認された。Subharmonics や Ultra harmonics も観測された。これらの結果は、米国 ASABE 年次大会（スポケーン）、農業食料工学会年次大会（東京農業大学）において発表した。

(4) トラクタサイズによる非線形挙動ジャンプ現象にともなう、トラクタ走行、旋回時の非線形挙動が適切に再現できているか否かの検証過程において、従来の路面離脱条件をより細かに分類する必要が明らかとなったために、Phase I, Phase II, Phase III の 3 相を定義し、これをモデルに組み込んだ。反力条件と距離条件を組み合わせたものであるが、粘性減衰項の存在により、従来 2 相としていたものを 3 相とする必要が明らかになったためである。車体の物理的・機械的パラメータの大きく異なる小型 (1ton) と大型 (7.5ton) のトラクタを対象としてジャンプ挙動の差異を示した。これらは、ミュンヘン工科大学との共同研究によって行った。

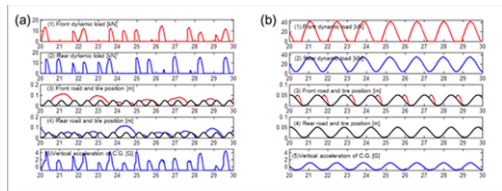


図4 異なるサイズのトラクタの非線形挙動 (a) 小型トラクタ (b) 大型トラクタ

(5) スティック・スライドダイナミクス路面とタイヤ間のジャンプ現象だけではなく、スティック・スライド現象も非線形要素として重要であることが判明したため、路面を絶対座標とした場合の走行中のトラクタタイヤモデルを構築した。トラクタの道路走行時において減速および加速時においてそれぞれスッキドとスリップが発生するが、スティック・スライドが発生することに因り、

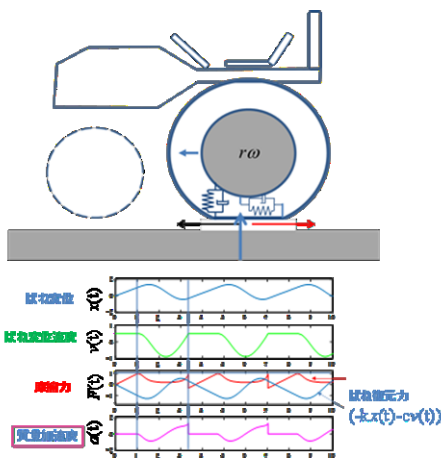


図5 スティック・スライドモデルのトラクタタイヤ-路面相互作用への実装

ピッチ方向の自励振動が発生する状況を再

現することができた。

(6) 車両物理モデルと DS との連結

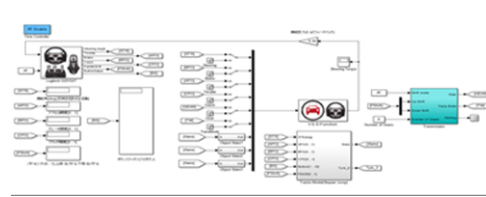


図6 車両モデルのCarSimへの組み込み

Matlab で構築したトラクタ物理モデルを Simlink 形式に変換し、S-Function を介して DS のプラットフォーム CarSim に接合した。

(7) 事故シナリオの再現

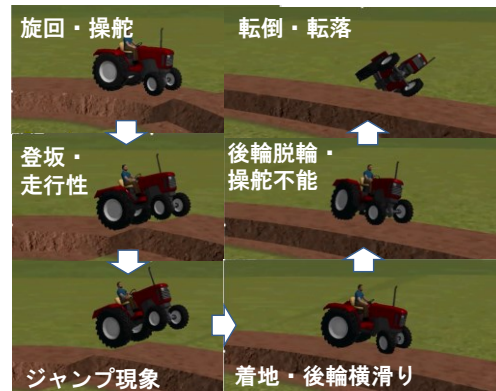


図7 事故シナリオの再現例

典型的な事故発生シナリオが構築した DS において再現できるかを検証した。水田から農道への侵入路などにおいては急な傾斜から車道に侵入するため危険性が高い。図に示すように、急傾斜から平坦路への接続路面において転倒事故のプロセスを再現した。また、速度制御による事故回避効果についても確認できた。

(8) 動画脈拍計測システム

コックピット内における脈波計測の可能性を検討し、web カメラなどの簡易な動画計測によって脈拍の生体情報の検出可能性が得られた。

(9) カリフォルニアデービス校において 7 月に非線形力学に関する WS を開催した

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

1. Masahisa Watanabe, Kenshi Sakai, "NONLINEAR DYNAMICS OF THREE-DIMENSIONAL TRACTOR MODEL INCORPORATING BOUNCING PHENOMENON", The Proceedings of the 9th

International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering, 2018 (査読無)

2. Masahisa Watanabe, Josef Bauerdick, Kenshi Sakai, Heinz Bernhardt, "Comparison of jumping process between small-sized and large-sized tractors", Berichte der GIL, 38. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst-, und ernährungswirtschaft-Jahrestagung, pp247,2018. (査読有)

3. Kenshi Sakai, Shrinivasa K. Upadhyaya, Pedro Andrade-Sanchez and Nina V. Sviridova, "Chaos Emerging in Soil Failure Patterns Observed during Tillage: Normalized Deterministic Nonlinear Prediction (NDNP) and Its Application", Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, 27:033115, 2017 (査読有)

4. Masahisa, Watanabe. Kenshi, Sakai. "Development of a Nonlinear Tractor Model using in Constructing a Tractor Driving Simulator," ASABE paper, In 2017 ASABE Annual International Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers, No. 1700374, 2017. (査読無)

5. 渡辺将央, 酒井憲司, "トラクタドライブシミュレータに用いる路面生成アルゴリズム," 農業食料工学会誌, 農業食料工学会, vol. 79, no. 2, pp. 149-157, 2017年3月. (査読有)

6. 渡辺将央, 酒井憲司, "3次元農用トラクタにおける非線形ダイナミクスの数値的解析," 信学技報, 電子情報通信学会, vol. NLP216, no. 113, pp. 43-46, 2017年3月. (査読無)

[学会発表] (計 10 件)

1. Masahisa Watanabe, Kenshi Sakai, "Development of a Nonlinear Tractor Model using in Constructing a Tractor Driving Simulator", American Society of Agricultural and Biological Engineers, Machinery Systems(MS), 307 Machinery Systems POSTER Session, Paper No.1700374, Spoken, Washington USA, July 16-19, 2017.

2. Masahisa Watanabe, Josef Bauerdick, Kenshi Sakai, Heinz Bernhardt, "Comparison of jumping process between small-sized and large-sized tractors", 38. Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst-, und ernährungswirtschaft-Jahrestagung, February 26-27, 2018, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

3. Masahisa Watanabe, Kenshi Sakai, "NONLINEAR DYNAMICS OF THREE-DIMENSIONAL TRACTOR MODEL INCORPORATING BOUNCING PHENOMENON", The 9th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering, Jeju,

Korea, May, 28-30, 2018

4. 酒井憲司, 仮想現実環境下のトラクタ工学, 農業食料工学会第76回年次大会, O-13, 東京農業大学, 2017年9月.

5. 渡辺将央, 酒井憲司, "トラクタドライブシミュレータの開発(第1報)-非線形7自由度モデル- 農業食料工学会第76回年次大会, O-13, 東京農業大学, 2017年9月.

6. 渡辺 将央, 酒井 憲司, "3次元農用トラクタにおける非線形ダイナミクスの数値的解析," 電子情報通信学会・非線形問題研究会, ねぶたの家 W・ラッセ, 2017年3月.

7. 酒井 憲司, 渡辺 将央, "ドライブシミュレータによるトラクタダイナミクス解析" 農業食料工学会第75回年次大会, W106, 京都大学, 2016年5月

8. 酒井憲司, 渡辺将央, Sviridova Nina, "トラクタドライブシミュレータ(DS)の非線形ダイナミクス" 農業環境工学関連5学会2015年合同大会, P101, 岩手大学, 2015年9月.

9. 酒井憲司, 渡辺将央, Sviridova Nina, "トラクタドライブシミュレータ(DS)におけるサロゲート路面生成," 農業環境工学関連5学会2015年合同大会, F406, 岩手大学, 2015年9月.

10. Nina Sviridova, Kenshi Sakai, Application of comprehensive nonlinear time series analysis on human photoplethysmogram for occupational health monitoring, 農業環境工学関連5学会2015年合同大会, I102, 岩手大学, 2015年9月

[その他]

ホームページ等

<http://kenkyu-web.tuat.ac.jp/Profiles/1/0000021/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 憲司 (SAKAI, Kenshi)

東京農工大学・大学院農学研究院・教授

研究者番号： 40192083