

DYNAMICS OF TRACTOR - IMPLEMENT COMBINATIONS ON SLOPES

(傾斜農地におけるトラクター作業機系の横方向安定性に関する研究)

学位論文内容の要旨

ナイジェリアではトレーラに人を乗せて農場に移動したり、農産物をほ場から倉庫や市場に運搬している。多くの場合、トラクタや作業機は「カスタムサービス」と呼ばれる営農家相互の請負作業で使用されるため、トラクタに作業機をけん引、または直装した状態で未舗装の丘陵地上の道路を走行し、農場から農場へと移動している。このような状態でトラクタを使用するのは、傾斜角や進行角が変化する複雑な傾斜地で作業するのと同様である。傾斜のないほ場は存在せず、時には急傾斜地を含むほ場もある。トラクタは異なった地形で運用されるため、外力に対する動的な応答性の研究は、「安全性」と「作業性能」の2つの側面から研究されなければならない。しかし、実際のトラクタ及び作業機ではほ場実験を行った場合、熟練したオペレータが必要で、しかもオペレータや機械にとっては危険性が高い。また、そのような実験を繰り返し行うことは不可能である。この理由から、トラクター作業機系の安定性やダイナミクスの研究ではコンピュータシミュレーションが有効な手法となる。コンピュータシミュレーションの有利な点を列記すると、①安全である、②危険な条件設定が可能である、③反復実験が可能である、④比較的低コストである、などである。設計段階において、ほ場条件や走行条件からトラクタがどのような挙動を示すかを予測できることも重要である。さらに、トラクタと作業機との相互作用が把握できれば、安全性が高い、高性能なトラクター作業機系 (TICs) の設計に有用であるとの見解から、本研究はコンピュータシミュレーション技法の修得を試みたものである。

1. 本研究の目的及び範囲

傾斜農地におけるトラクタとトラクター作業機系の安定性とダイナミクスに関する既往の文献を調査し、本研究の位置づけを行うとともに、本研究の目的を整理した。1) 傾斜農地におけるトラクター作業機系の横滑り現象について、2) トラクター作業機系の安定性を評価する基準の確立について、3) 高い安

定性を実現する最適なトラクタ・作業機の設計パラメータを決定するためのコンピュータシミュレーションモデルを構築する。最後に、作成した数式モデルの検証をするための模型実験方法を開発することを述べている。

2. シミュレーションモデルの開発

傾斜農地におけるトラクタ作業の横方向の運動特性の解析のために、それらを参考に数式モデルを開発した。数式モデルは進行方向、横方向、ヨー方向の3自由度を有しており、けん引荷重を与えることが可能である。このモデルを使用して、傾斜農地におけるトラクター作業機系の進行方向の安定性について詳細な解析を行った。その理由は、傾斜農地でのTICs作業時における横滑り現象及びロードトランスファディストリビューション(LTD)の影響を明らかにすることにある。コンピュータシミュレーションの結果から、傾斜農地におけるTICs作業の場合、操向制御が常に必要であることが判明した。所定の走行経路での作業を規定するための制御量は、システムとしての設定値、状態変数、傾斜角、進行角の関数で表現される。また、横滑り量とLTDの関係は非線形性を持つことが明らかとなった。

3. トラクタ単体モデルでの試験結果

傾斜農地でのトラクタ作業は常に操向制御が必要で、これは傾斜角・進行角による横滑り角の変化により明らかとなった。また、トラクタ作業機系の挙動は、LTDの影響を受けるので、LTDを調整することでその挙動を変化させることが可能となる。横滑りが最大となる進行角は 90° と 270° となり、この角度は等高線方向での走行時を意味し、既往の知見と一致した結果を得られた。このLTDに影響を与えるトラクタのパラメータを決定するためのシミュレーション結果から、トラクタの輪距がLTDに影響を与える設計パラメータであることが判明した。

4. トラクター作業機系モデルでの評価試験

最終的な目的はトラクター作業機系の解析であるため、直装式とけん引式の作業機を上記モデルに導入して、安定領域を確立した。安全作業領域の予測と、これらの領域を最大化するための設計パラメータを決定するために、3つの基準による方法を開発した。その3基準とは次の通りである。①横滑りによる基準は、制御不能な滑りを生じさせるような進行角と傾斜角を決定する。②転倒による基準は1つ又は2つの車輪の垂直抗力がゼロになるときである。③“一般的な基準”は、トラクタの左右前輪、もしくは左右のどちらか一方の前後輪にかかる荷重がトラクター作業機系の総質量の20%以下になったときである。

以上の3基準を同時に適用すれば最適な安定性を確保できる設計パラメータを決定することが可能であり、以下の結論が得られた。

1) けん引式作業時では、傾斜地で優れた性能を引き出すためには作業機の重

- 心が車軸より後方になければならないこと、
- 2) スプレーヤや施肥機のような直装式作業機の場合は、質量が減少するにつれて作業機の重心位置を前方に移動させる配慮が必要であること、
 - 3) 作業機の質量は操舵制御に影響を与えるので、一定の前輪負担荷重を確保するためにも、容易で安定した操舵を可能とするには、作業機の質量はトラクタ総質量の21%以下にすることが望ましいことを明らかにした。

5. 模型実験とシミュレーション結果の比較検証

さらに、傾斜角が連続して可変となる走行路面と模型トラクタ及び作業機からなる実験装置を設計・製作し、それを使用して傾斜角3，操舵角3，進行角2，合計18点の組み合わせ条件下での比較のための検証実験を行った。その結果、模型モデル機の走行軌跡は数式モデルのシミュレーション軌跡とほぼ一致した実験結果が得られた。

以上のように、本研究で考案されたシミュレーション技法の有効性が検証され、新しいトラクタ・作業機の設計研究に適用されることが明かとなった。また、この手法を適用することにより、現行トラクタ作業時のダイナミックスや安定性の解析を行うことも可能であると結論している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 寺 尾 日 出 男
副 査 教 授 伊 藤 和 彦
副 査 教 授 高 井 宗 宏
副 査 助 教 授 近 江 谷 和 彦

学 位 論 文 題 名

DYNAMICS OF TRACTOR – IMPLEMENT COMBINATIONS ON SLOPES

(傾斜農地におけるトラクター作業機系の横方向安定性に関する研究)

本論文は、総頁数114の英文論文で、図43、表17、引用文献107を含み、6章で構成されている。

ナイジェリアではトレーラに人を乗せて農場に移動したり、農産物をほ場から倉庫や市場に運搬している。多くの場合、トラクタや作業機は「カスタムサービス」と呼ばれる営農家相互の請負作業で使用されるため、トラクタに作業機をけん引、または直装した状態で未舗装の丘陵地上の道路を走行し、農場から農場へと移動している。このような状態でトラクタを使用するのは、傾斜角や進行角が変化する複雑な傾斜地で作業するのと同様である。傾斜のないほ場は存在せず、時には急傾斜地を有するほ場もある。トラクタは異なった地形で運用されるため、外力に対する動的な応答性の研究は、「安全性」と「作業性能」の2つの側面から研究されなければならない。設計段階において、ほ場条件や走行条件からトラクタがどのような挙動を示すかを予測、理解できることが特に重要である。さらにトラクタと作業機との相互作用が把握できれば、安全性が高く高性能なトラクター作業機系 (TICs) の設計に有用な手法となる。本論文は以上の見地からの検討・考察を試みたものである。

1) 本研究の目的及び範囲は、①傾斜農地におけるトラクタとトラクター作業機系の安定性とダイナミクスに関する文献を調査し、問題点とその解決策を明らかにする。②傾斜農地におけるトラクター作業機系の横滑り現象、トラクター作業機系の安定性を評価する基準の確立、高い安定性を実現する最適な設計パラメータの決定などを考慮したコンピュータシミュレーションモデルを開発する。③作成した数式モデルの検証をするための実験方法を開発する。

2) まず、トラクター作業機系の安定性とダイナミクスの研究の詳細な文献調査を行った。傾斜農地におけるトラクタ作業の横方向の運動特性の解析のために、それらを参考に数式モデルを開発した。モデルは進行方向、横方向、ヨー方向の3自由度を有しており、けん引力を与えることが可能である。このモデルを使用して、傾斜農地におけるトラクター作業機系の進行

方向の安定性について詳細な解析を行った。その理由は、傾斜農地でのTICs作業時における横滑り現象及びロードトランスファディストリビューション(LTD)の影響を明らかにすることにある。コンピュータシミュレーションの結果から、傾斜農地におけるTICs作業の場合、操向制御が常に必要であることが判明した。所定の経路での作業を規定するための制御量は、システムとしての設定値、状態変数、傾斜角、進行角の関数で表現される。また横滑り量とLTDの関係は非線形性を持つことが明らかとなった。

3) 以上のシミュレーションの結果は、①傾斜農地での作業は常に操向制御が必要で、これは傾斜角・進行角による横滑り角の変化から明らかとなった。②傾斜農地におけるトラクター作業系の挙動は、LTDの影響を受ける。よってLTDを調整することでその挙動を変化させることが可能となる。③横滑りが最大となる進行角は 90° と 270° となり、この角度は等高線方向での走行時を意味し、既往の知見と一致した結果を得ることができた。④LTDに影響を与えるトラクタのパラメータを決定するためのシミュレーションを行った結果、トラクタの輪距がLTDに影響を与える設計パラメータであることが判明した。

4) 最終的な目的はトラクター作業機系の解析であるため、直装式とけん引式の作業機をモデルに導入して、安定領域を確立した。安全作業領域の予測と、これらの領域を最大化するための設計パラメータを決定するために、3つの基準による方法を開発した。①横滑りによる基準は、制御不能な滑りを生じさせるような進行角と傾斜角を決定する。②転倒による基準は1つまたは2つの車輪の垂直抗力がゼロになるときである。③“一般的な基準”は、トラクタの左右前輪、もしくは左右のどちらか一方の前後輪にかかる荷重がトラクター作業機系の総質量の20%以下になったときである。以上の3基準を同時に適用すれば最適な安定性を確保できる設計パラメータを決定することが可能である。

5) 以上のシミュレーション結果からは、①けん引式作業時では、傾斜地で優れた性能を引き出すためには作業機の重心が車軸より後方になければならない。②スプレーヤや施肥機のような直装式作業機の場合は、質量が減少するにつれて重心位置を前方に移動するような配慮が必要である。③前輪負担荷重の結果からは、作業機の質量は操舵制御に影響を与え、容易で安定した操舵を行うには作業機の質量はトラクタの総質量の21%以下にすることが望ましいことを明らかにした。

6) さらに、傾斜角が連続可変の走行路面と模型トラクタ・作業機からなる実験装置を設計・製作し、傾斜角3、操舵角3、進行角2の組み合わせ条件下で模型実験を実施して検証実験を行った。その結果、走行軌跡において計算機シミュレーションとほぼ一致した結果が得られたと結論している。

以上のように、本研究で展開されたシミュレーション技法は危険を伴う農業機械の走行安定性やダイナミックスの教育研究に有効な手法であり、学術的にも高く評価できる。よって審査員一同は、最終試験の結果と合わせて、本論文の提出者Mohammed Gana, YISAは博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格あるものと認定した。