

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月6日現在

機関番号： 11201  
 研究種目： 基盤研究（C）  
 研究期間： 2009～2011  
 課題番号： 21580305  
 研究課題名（和文） 高速走行時における農用トラクター作業機系の振動および安定性解析  
 研究課題名（英文） Analysis on vibration and stability for tractor-implement systems in high speed running  
 研究代表者  
 武田 純一（TAKEDA JUN-ICHI）  
 岩手大学・農学部・教授  
 研究者番号： 80133908

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、高速走行が可能となった、我が国の農用トラクタ（機関出力 25kW）について、各種路面を供試して車体振動特性と制動特性を把握した。車体の固有振動数の同定試験では、キャンベル線図と加速度の時間軸データを基にした位相を考慮することにより、回転及び並進運動の固有振動数を同定した。また、各路面での高速走行における座席振動について分析した。更に、トラクタ単体及びトレーラをけん引した場合の制動特性についても検討した。以上の結果、農作業安全や快適性の面から貴重な資料を得ることができた。

## 研究成果の概要（英文）：

In this research work, the vibration characteristics and braking performances were analyzed for high speed tractor-implement systems. The natural frequencies on tractor chassis for rotational and translational motions were analyzed by using Campbell diagram and phase of each acceleration waves in time domain. The vibration characteristics of operator seat on the several road conditions were also analyzed. Furthermore, the braking performances were analyzed for the tractor itself and tractor-trailer combinations. Consequently, the several valuable data on agricultural safety and comforts for the tractor operators were obtained.

## 交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2009年度 | 2,700,000 | 810,000   | 3,510,000 |
| 2010年度 | 800,000   | 240,000   | 1,040,000 |
| 2011年度 | 500,000   | 150,000   | 650,000   |
| 年度     |           |           |           |
| 年度     |           |           |           |
| 総計     | 4,000,000 | 1,200,000 | 5,200,000 |

研究分野： 農学

科研費の分科・細目： 農業工学・農業環境工学

キーワード： 農用トラクタ，トレーラ，振動，制動特性，農作業安全

## 1. 研究開始当初の背景

一般に日本の乗用トラクタは、水田作業に対応するためタイヤラグが高い、重心が高い、車軸にサスペンションが装備されていない等、高速走行時の車体の安定性が劣ると言わ

れている。しかし、近年の土地利用型農業においては、経営面積の大規模化に伴い圃場間移動する機会が増え、農用車輛の高速化並びに高速走行時の安全性、安定性の確保が急務となっていることが、本研究の背景になって

いる。

## 2. 研究の目的

以上のような情勢をふまえ、本研究では、走行速度 30km/h 前後で走行している乗用トラクタ（以下、トラクタ）-作業機（ロータリ作業機及びトレーラ）系について、各種走行路面を供試し、系の 6 自由度の運動を解析することにより、振動現象や制動性能について基本的な特性を把握し、安全性や安定性に関する資料を得ることを目的とした。従って、以下の 3 項目について分析・検討を行うこととした。

- (1) トラクタの固有振動数の同定
- (2) 高速走行時のトラクター作業機系の車体及び座席振動の分析
- (3) 高速走行時のトラクター作業機系の制動現象の分析

## 3. 研究の方法

### (1) 供試機

供試機は、機関出力 25 kW のキャビン付きトラクタで、高車速（ハイスピード）仕様である。また、供試ロータリ作業機は、作業幅が 1.7m のものを、供試トレーラは荷台寸法が 5.25m×1.90m のもので、慣性ブレーキが装着されている。トレーラを装着した実験については、1.2t 及び約 2t のトラクタを積載した場合についても、走行実験を行った。図 1～図 2 に供試機を示す。



図 1 供試トラクタ



図 2 供試トレーラ

### (2) 加速度計とデータ収録装置

トラクタには、シャシ部とキャビン部のそれぞれ前後左右に 3 軸の加速度計を装着した。また、ロータリ及びトレーラを装着した場合は、各々に 1 個の 3 軸加速度計を装着した。また、座席の振動については、別途座席振動計を装着して、座席上の 3 軸方向振動波形を記録した。

これらの加速度計によってセンシングされた振動波形は、キャビン内のデータ収録装置に同時に記録し、別途 FFT 解析を行い、キャンベル線図を描いて振動の分析を行った。

### (3) 供試路面

走行実験は、農学部附属寒冷 FSC 教育研究センター滝沢農場のアスファルト路面上および同農場の幹線農道上にて実施した。

### (4) 実験方法

振動の分析については、トラクタのエンジン回転速度と変速段を適宜組み合わせ、直線走行実験を行った。走行速度は、トラクタの固有振動数分析用として 0.13m/s～2.6m/s まで 21 条件、高速走行実験として、1m/s から 8m/s までの 8 条件を供試した。

トレーラの積載量については、無積載、約 1t、及び 2t の 3 種類とした。供試した走行路面はアスファルト路面と砂利を敷いた農道である。

また、トレーラの制動試験は、トラクタのブレーキペダルに踏圧計を装着し、初速度条件、ブレーキの制動条件、負荷の積載条件を数種づつ組み合わせてアスファルト路面上にて実施した。図 3 に実験風景を示す。



図 3 アスファルト路面上での走行試験

## 4. 研究成果

### (1) 固有振動数の同定

#### ① トラクタ単体の場合

ロール、ピッチ、ヨーの各回転運動の固有振動数は、それぞれ 5.38, 9.75, 4.00Hz と推定された。また、上下、左右、前後の並進運動の固有振動数は、それぞれ 4.13, 2.13, 4.88Hz と推定された。これらの固有振動数は、前後輪のタイヤラグ数またはタイヤラグ数の 1/2 の周波数で励振され発生していた。特に後輪ラグ数の 1/2 の周波数が大きな影響を

及ぼしているようであった。なお、タイヤのラグピッチの位相が車体振動に影響を与えらると思われ、左右の後輪ラグの位置を同じくした場合と1/2変えた場合について走行実験を行ったが、固有振動数に与える影響はほとんど認められなかった。図4と図5に、本実験のキャンベル線図の一例を示す。

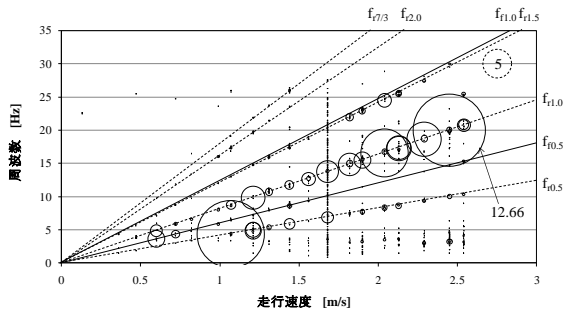


図4 アスファルト路面での固有振動数同定試験結果の一例(1)  
(トラクタ単体, キャビン左部加速度計)

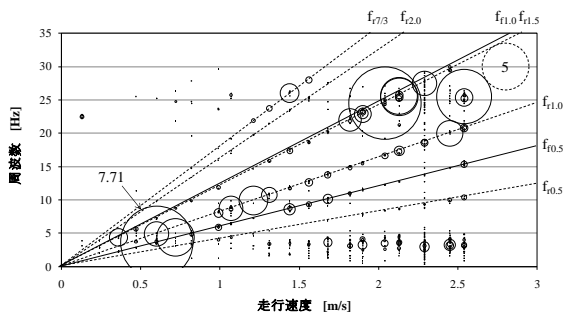


図5 アスファルト路面での固有振動数同定試験結果の一例(2)  
(トラクタ単体, キャビン左部加速度計)

### ②トレーラ装着時の振動現象

固有振動数については、トレーラのみを牽引した場合は、ロールが4.4Hz、ピッチが9.9Hz、バウンスが3.4Hzと同定された。トレーラに荷重を積載した場合は、ロールについては同定することができなかったが、ピッチとバウンスについては、トレーラのみを牽引した場合と、ほぼ同様であった。

### (2) 高速走行時のトラクター作業機系の振動

#### ①トラクタ単体の場合

5.0m/s以上の走行速度において、上下並進運動では、3.5Hz～5.0Hzの間で広くスペクトル値の大きな振動が分布していた。特に最大速度付近では、最も大きなスペクトル値を記録した。また、前後の並進運動において、0.25Hzの低周波振動が発生していた。

#### ②ロータリ作業機を装着した場合

作業機の固有振動数と思われる3.0Hz前後の上下振動が、広範囲の走行速度条件に見ら

れ、特に高速域では振動のレベルが大きくなっていた。

### ③農道での走行

トラクタ単体では3Hz～5Hzでの上下振動のレベルが高かった。作業機装着時もアスファルト走行と同様、作業機の影響と見られる3Hz付近の振動が、広範囲の走行速度条件にて発生していた。図6と図7に本実験のキャンベル線図の一例を示す。

以上のように、本実験では、規制緩和以降の高速走行可能なトラクタの車体振動について、初めて明らかにした。

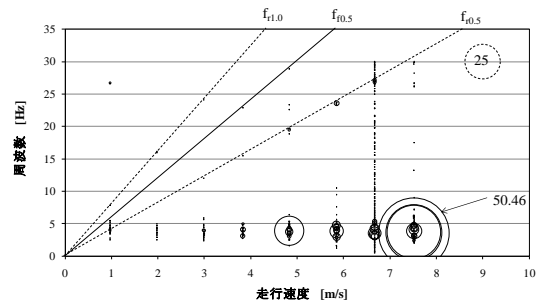


図6 農道での高速走行実験の結果の一例  
(トラクタ単体走行, シヤン後部上下加速度計)

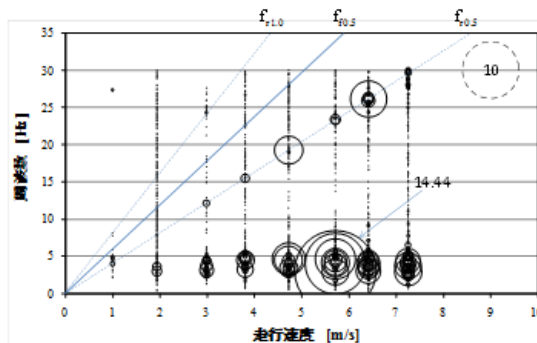


図7 農道での高速走行実験の結果の一例  
(トラクタ+トレーラ+2t 負荷, シヤン後部上下加速度計)

### (3) 高速走行時の座席振動

上下方向の振動のRMS値は、一部ばらつくことがあったが、概ね走行速度に比例して増加した。路面については、アスファルト路面より農道の方が2～3倍の値であった。農道では、瞬間的に大きな振動になることもあり、咄嗟のブレーキ操作等に支障を来す可能性も認められた。更に、積載有無では、トレーラのみの方が若干大きかった。振動方向別には、左右方向に比べ、前後と上下方向は、より多く増加し、アスファルト路面では0.1～0.9m/s<sup>2</sup>、農道路面では0.3～1.8m/s<sup>2</sup>であり、健康上許容される暴露時間は、アスファルト路面では制限無し～10時間以下、農道路面では

は 1.5 時間以下～20 時間以下であった。

大規模化により分散した圃場間の移動が増加すると言われており、快適性や安全性からさらなる振動低減が必要と考えられた。図 8 に結果の一例を示す。

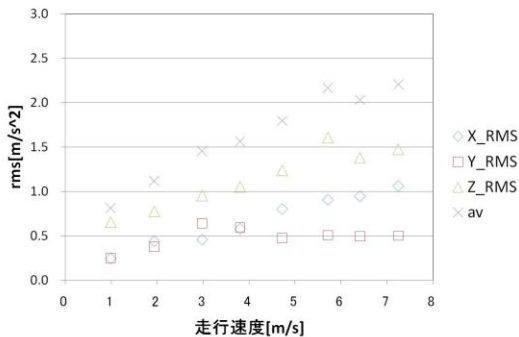


図 8 農道での高速走行時の座席振動 (トラクタ+トレーラ+2t 負荷)

#### (4) トラクター作業機系の制動特性

走行実験は、本学部附属農場のアスファルト路面を供試して実施した。なお、ジャックナイフ現象を回避するため、トレーラ側の連動ブレーキを利用して試験を実施し、ブレーキを踏んでから停止するまでの走行距離やブレーキペダルの踏圧等との関係を明らかにし、以下の結果を得た。

##### ①踏圧と制動距離の一般的傾向

一般的関係は、指数関数的傾向を示し、踏圧が大きくなるほど制動距離は小さくなった。

##### ②トラクタ単体での制動試験

踏圧が大の条件では、停止距離の最小値が 5.0m となり保安基準を満たしていた。図 9 に本実験の結果を示す。

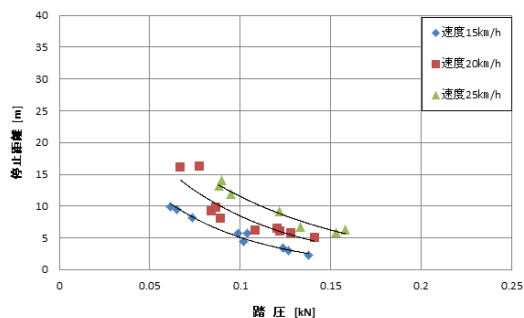


図 9 トラクタ単体での踏圧と停止距離の関係

##### ③トレーラに負荷を積載した場合

トレーラに 1.2t のトラクタ及び 1.995t のトラクタを積載した場合は、停止距離の最小値が 5.69m 及び 6.50m となり、保安基準より大きくなっていた。本トレーラの最大積載量は、2.5t であることから、最大積載時には更

に停止距離が延びると予想され、十分な安全対策を取ることが望まれる。図 10 に本実験の結果を示す。

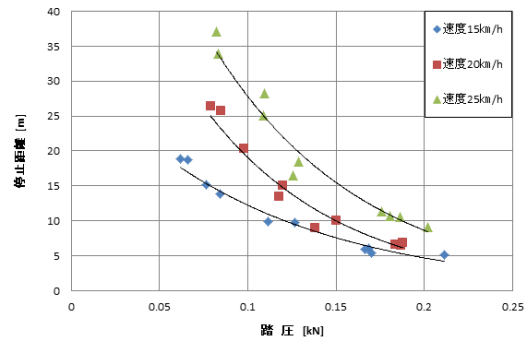


図 10 トレーラに約 2t の負荷を積載した場合の踏圧と停止距離の関係

以上、3 年にわたる研究において、高速走行仕様の乗用トラクタの固有振動数、高速走行時の振動現象及び制動性能について分析を行ったが、国内ではこのような試験結果はほとんど見られなく、今後のトラクター作業機系の防振や座席の設計、作業機等を装着した場合のオペレータの安全性や安定性に関する貴重な資料を得ることができた。今後、本研究では実施できなかった突起物の乗り越し等に関する実験も行い、更にトラクタの高速化に対応したデータの収集・分析と農作業安全に資する資料の収集を図っていく予定である。

#### 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)

[学会発表] (計 5 件)

- ① 武田純一・菊池 豊・及川 忠 (2011)  
トレーラけん引時の高速走行トラクタの車体振動について、第 70 回農業機械学会年次大会講演要旨、20-21. (弘前大学), (2011.09.27-28)
- ② 武田純一、長坂佳奈子、呉 迪、小出章二、庄野浩資、菊池 豊 (2011)  
キャビン付き中型トラクタの車体振動、農業機械学会東北支部平成 23 年度支部大会講演要旨集、27-28. (岩手県農業研究センター) (2011.08.18)
- ③ 菊池 豊・武田純一・長坂佳奈子・及川 忠 (2011)  
乗用トラクタの高速走行時の座席振動 (第 2 報) - トレーラけん引時の振動 -、日本農作業学会 2011 年度春季大会、99-100. (京都大学) (2011.07.16-17)

④武田純一・菊池 豊・寫田 優・廣間達夫・  
呉 迪(2010)

高速走行時におけるキャビン付きトラクタ  
の車体振動について, 第 69 回農業機械学会  
年次大会講演要旨, 474-475. (愛媛大学),  
(2010. 09. 13-16)

⑤菊池 豊・武田純一・寫田 優(2010)

乗用トラクタの高速走行時の座席振動 (第  
1 報), 日本農作業学会 2010 年度春季大会,  
農作業研究, 45 (別号 1), 55-56, (東京農  
業大学) (2010. 05. 15-16)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

武田 純一 (TAKEDA JUN-ICHI)

岩手大学・農学部・教授

研究者番号 : 80133908