

転輪配置および重心位置が農用ゴム履帯車両に与える影響

光岡, 宗司
九州大学大学院生物資源環境科学府

井上, 英二
九州大学大学院農学研究院

稲葉, 繁樹
佐賀大学農学部生物生産学科

原, 定広
九州大学大学院生物資源環境科学府

他

<https://doi.org/10.15017/4312>

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 58 (1/2), pp.33-41, 2003-10-01. 九州大学大学院農学研究院

バージョン：

権利関係：

転輪配置および重心位置が農用ゴム履帯車両に与える影響

光岡宗司*・井上英二†・稲葉繁樹**・原定広*
福島崇志*・丸谷一郎*・平井康丸*・森健

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門生産環境情報学講座生産環境情報学研究室
(2003年6月27日受付, 2003年7月15日受理)

Effects of the Arrangement of Track Rollers and the Center of Gravity on Vibration Characteristics of the Agricultural Rubber Crawler Vehicle

Muneshi MITSUOKA*, Eiji INOUE†, Shigeki INABA**,
Sadahiro HARA*, Takashi FUKUSHIMA*, Ichiro MARUTANI*,
Yasumaru HIRAI* and Ken MORI

Laboratory of Bioproduction and Environmental Information Sciences,
Division of Bioproduction and Environmental Information Sciences,
Department of Bioproduction Environmental Sciences,
Faculty of Agriculture, Kyushu University,
Fukuoka 812-8581, Japan

緒 言

ゴム履帯走行装置は、不整地での機動性、牽引性の面から自脱コンバイン走行部として開発初号機から使用されている。さらに、合成ゴム等の耐久性向上に伴い現在では小型2条刈から大型6条刈の自脱全機種および汎用コンバインの走行装置として機体重量に関わりなく、使用、普及している。一方、ゴム履帯は等間隔に配置されるラグおよび剛性確保のための鉄製の芯金等の構成要素により、力学的には圧縮強度がラグピッチ間で周期的に変化する。そのため、特に高速走行時において、車輪走行装置と比較すると機体振動が大きく、最高速度も限定されており、ゴム履帯走行装置に起因する機体振動の低減化が急務となっている。ゴム

履帯車両の振動特性は、転輪配置、機体重量・重心位置、慣性モーメント等の設計要素およびゴム履帯の動バネ定数、粘性減衰係数等の動的パラメータに大きく影響される。そのため、振動低減化には上記に挙げた設計および動的パラメータをモデルパラメータとした振動特性予測モデルの構築が必要不可欠である。以上のような背景より井上ら(1990a, 1990b, 1990c)はゴム履帯と転輪との力学的相互作用に着目した力学モデルを導出し、剛性路面走行時のゴム履帯車両の振動特性を定性的に予測している。

そこで本研究では、特に振動特性に影響を及ぼすと考えられる転輪配置および重心位置を変化パラメータとして前記の力学モデルに基づくゴム履帯車両の運行シミュレーションを行い、振動特性に与える影響を考

* 九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻生産環境情報学講座生産環境情報学研究室

** 佐賀大学農学部生物生産学科農業生産機械学

* Laboratory of Bioproduction and Environmental Information Sciences, Division of Bioproduction and Environmental Information Sciences, Department of Bioproduction Environmental Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

** Faculty of Agriculture, Saga University, Saga 845-8502

† Corresponding author (E-mail: inoeiji@brs.kyushu-u.ac.jp)

察した。

解析方法

1. 農用ゴム履帯車両の振動特性モデルおよび運動方程式

図1に剛性水平路面走行時の農用ゴム履帯車両の動的3次元モデル(井上ら, 1990b, 1990c)を示す。本モデルは、転輪が走行部フレームに剛体連結された固定転輪の場合である。したがって、転輪はサスペンションの役割をなさず、本モデルにおける k , c は、一部切断したゴム履帯を用いた加振実験の値を基にラグピッチで周期的に変動するフーリエ級数(井上ら, 1990b)で表現された転輪荷重に対するゴム履帯固有の k と c である。そのため、モデルは、ゴム履帯を除く走行部がゴム履帯上面を走行する状態とみなすことができる。その際、ゴム履帯の k と c はラグ間において周期的に変化するため、 k と c の時間的変化による係数励振系となり振動が励起される。

いま、機体重心位置での上下変位を z 、ピッチング角変位を ϕ 、ローリング角変位を ψ とおくと、各転輪直下の鉛直方向の変位 Z_{RL} は、

$$Z_{Li} = z + l_i \phi + l_{Li} \psi, \quad Z_{Ri} = z + l_i \phi + l_{Ri} \psi \quad (1)$$

となる。さらに、各転輪に作用する鉛直方向の動荷重を $F_{Li, Ri}$ とおくと、

$$\begin{aligned} F_{Li} &= k_{Li}(t)Z_{Li} + c_{Li}(t)\dot{Z}_{Li}, \\ F_{Ri} &= k_{Ri}(t)Z_{Ri} + c_{Ri}(t)\dot{Z}_{Ri} \end{aligned} \quad (2)$$

となる。

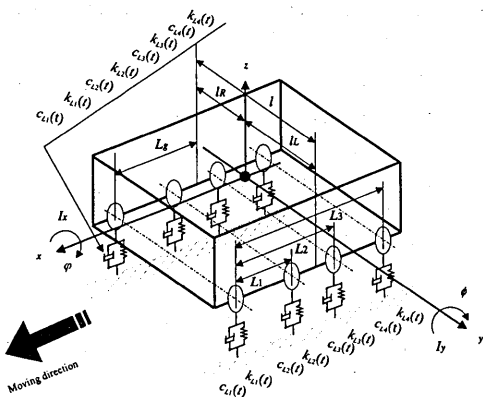


図1 農用ゴム履帯車両の動的3次元モデル

ここで、

$$\begin{aligned} Y_1 &= z, \quad Y_2 = dz/dt = \dot{z}, \quad Y_3 = \phi, \quad Y_4 = d\phi/dt = \dot{\phi} \\ Y_5 &= \psi, \quad Y_6 = d\psi/dt = \dot{\psi} \end{aligned} \quad (3)$$

とおくと、モデルの時間的変化は、

$$\dot{Y}_1 = Y_2 \quad (4)$$

$$Y_2 = -\frac{1}{M} \left\{ \sum_{i=1}^n (F_{Li} + F_{Ri}) - Mg \right\} \quad (5)$$

$$\dot{Y}_3 = Y_4 \quad (6)$$

$$Y_4 = -\frac{1}{I_y} \left\{ \sum_{i=1}^n (F_{Li} + F_{Ri}) l_i \right\} \quad (7)$$

$$\dot{Y}_5 = Y_6 \quad (8)$$

$$Y_6 = -\frac{1}{I_x} \left\{ \sum_{i=1}^n (F_{Li} l_{Li} - F_{Ri} l_{Ri}) \right\} \quad (9)$$

となる。式(6)~(11)の1次微分方程式からルンゲ・クッタ法を用いて、機体重心位置での変位、速度、加速度および各転輪軸に作用する鉛直方向の動荷重のシミュレーションが可能である。

2. 解析条件

i) 転輪配置

一般に、転輪配置は各転輪間距離とゴム履帯のラグピッチとの関係から決定される。これは、ラグ・芯金部とラグピッチ中央部をそれぞれ凸と凹部とし、周期的な凹凸をもつ路面上を転輪が走行すると考えると、凹凸の周期と各転輪間の距離によって振動の良否が容易に推測できることから理解できる。そこで、左右履帯各々の転輪数が偶数の場合として4転輪と奇数の場合として5転輪での転輪配置として以下の条件に基づいて設定し、そのときの各転輪間距離を図2に示す。

- ① ラグピッチにおける奇数番目の転輪と偶数番目の転輪との位置が半ピッチずれている場合(4転輪-配置4-1, 5転輪-配置5-1)
- ② 第1, 最終転輪がラグピッチにおいて同じ位置を通過し、残りの転輪が半ピッチずれた位置を通過する場合(4転輪-配置4-2, 5転輪-配置5-2)
- ③ 偶数転輪において、前方と後方の転輪がラグピッチにおいて半ピッチずれている場合(4転輪-配置4-3)
- ④ 奇数転輪において、中央転輪を含む前方と残りの後方転輪とがラグピッチにおいて半ピッチずれている

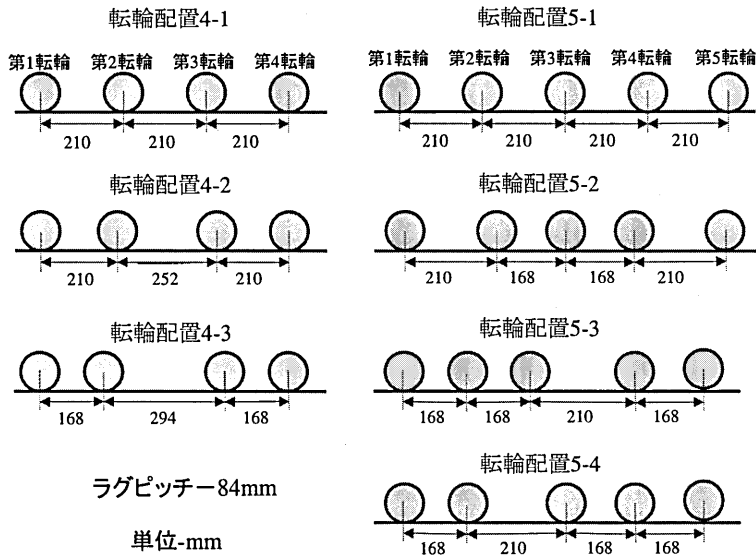


図2 転輪配置

場合 (5 転輪-配置 5-3)

- ⑤奇数転輪において、前方と中央転輪を含む残りの後方転輪とがラグピッチにおいて半ピッチずれている場合 (5 転輪-配置 5-4)

- ⑥各転輪間隔とラグピッチとに関係がない場合 (4 転輪-配置 4-4, 5 転輪-配置 5-5)

転輪配置のみの影響を検証するため、上記の転輪配置においては、機体重量、慣性モーメントは同一にし、重心位置は履帯接地長 (第 1 転輪中央から最終転輪中央までの水平距離) 中心およびトレッドの中央とする。

ii) 重心位置

収穫作業に伴い機体重量、重心位置は変化する。特にコンバインでは、操縦席、グレンタンクが進行方向に対して右前方および後方に位置する。そのため、タンク内の穀粒量の増加とともに右後方に重心が移動する。そこで、重心位置が振動特性に与える影響を考察するために、履帯接地長中心およびトレッド中央を基準位置として進行方向に対し前方、後方および右方向に重心位置を変更し、その時の振動加速度の解析を行った。重心位置は、図 3 のように前後方向に接地長中心を A 点として進行方向側に接地長の 15%、30% ずらした位置を B 点、C 点とし、逆に機体後方側にずらした位置を D 点、E 点とする。さらに、トレッド中心を R0 とし、そこから更に、トレッドの 1/6、1/3 ずらした位置をそれぞれ R1、R2 とする。また、今

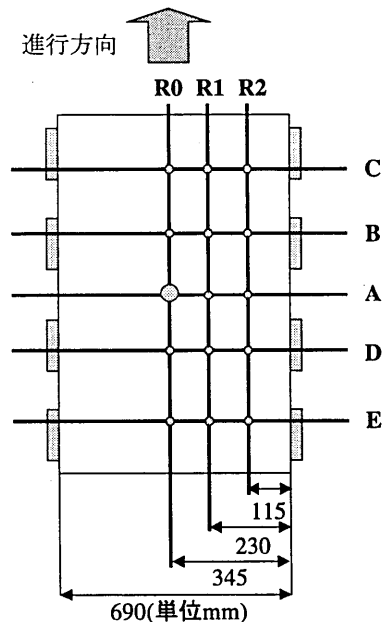


図3 重心位置

表1 その他の解析条件

Main Title	Vibration Analysis for Rubber Crawler Vehicle	
Sub Title	Experiment at Kyushu Univ	
File Name	C:\¥VB¥CBD_1_6¥DATA¥I_KYU_2.CDT	
Model Number	1	
Number of Arrangement Pattern	2	
Number of Track Roller	8	
Lag Pattern	Parallel	
Number of Lag Pattern	0	
Width of Two Lags	0.084	m
Calculation Start Time for Simulation	0	s
Calculation End Time for Simulation	4	s
Number of Simulation Sampling Point	400	
Number of MEM Samp. Point (from Last Point)	64	
Max Frequency for MEM Analysis	10	Hz
Number of Dynamic k and c	16	
Dynamic Spring Constant $a0$	1106924.94	N/m
Dynamic Spring Constant $a1$	238077.01	N/m
Dynamic Spring Constant $a2$	-9848.31	N/m
Dynamic Spring Constant $b1$	-36690.89	N/m
Dynamic Spring Constant $b2$	-28533.43	N/m
Viscous Damping Constant $c0$	5176.38	N · s/m
Viscous Damping Constant $c1$	486.878	N · s/m
Viscous Damping Constant $c2$	30.4503	N · s/m
Viscous Damping Constant $d1$	-47.9526	N · s/m
Viscous Damping Constant $d2$	-6.06	N · s/m
Frequency	9	Hz
Phase	0	rad
Phase Between Right TR and Left TR	0	rad
Horizontal Distance from TR 1 to G	0.3415	m
Horizontal Distance from TR 1 to 1	0	m
Horizontal Distance from TR 1 to 2	0.21	m
Horizontal Distance from TR 1 to 3	0.42	m
Horizontal Distance from TR 1 to 4	0.63	m
Mass of Rubber Crawler System	550	kg
Moment of Inertia of RCV for Pitching	116	kgm ²
Moment of Inertia of RCV for Rolling	60	kgm ²
Treadof RCV	0.69	m
Horizontal Distance from G of RCV to Left TR	0.345	m
Horizontal Distance from G of RCV to Right TR	0.345	m

※RCV-Rubber Crawler Vehicle, TR-Track Roller, G-Center of Gravity

回の解析では左右のラグ位相差を0として行ったので、重心位置がトレッド中心にある場合はおいてはローリングが生じない。

さらに、走行速度は転輪がラグピッチを通過する周

波数が6 Hz および9 Hz に相当する0.504m/s、0.756m/sとした。その他のシミュレーション条件は表1に示す。

解析結果

1. 転輪配置による振動特性の差異

図4に各転輪配置毎の上下加速度、ピッチング角加速度のrms値を示す。転輪数が4個と5個、どちらの場合においても前方と後方の転輪とがラグピッチにおいて半ピッチずれた転輪配置である4-3、5-3、5-4が上下加速度、ピッチング角加速度共に大きな値を示した。これらの配置は図5に示すように、前方の転輪がラグ・芯金部を走行する時、後方の転輪は圧縮強度が最も低いラグピッチ間中央を走行し、更に半ピッチ進むと、逆に前方と後方の転輪はそれぞれラグピッチ間中央とラグ・芯金部を通過する。そのため走行中、各転輪中心を結んだ軸がピッチングを起すような形となり、振動が大きくなったと考えられる。

一方、配置4-2および5-1、5-2は上下加速度、ピッチング角加速度共に低い結果となった。これらの配置は先の高加速度の配置とは逆に、各転輪中心を結ぶ軸の変動が微小で走行するような状態になっているため、機体全体の振動も低い値を示したと考えられる。また、

振動が低い配置では走行速度の上昇による加速度の顕著な増加がみられないのに対し、悪い配置においては加速度が高い値を示す結果となった。

上記の結果は、感覚的にも予測可能なものであるが、このことは、本シミュレーションが剛性水平路面走行時のゴム履帯車両の振動特性の定性的な予測において非常に有用な解析ツールであることを示唆している。

2. 重心位置による振動特性の差異

振動加速度が比較的低い値であった配置4-1、4-2および5-1、5-2について上下加速度およびピッチング、ローリング角加速度のrms値を図6～9に示す。配置4-1を除くと、全ての加速度は接地長中心Aの重心位置で最小値を取り、B→C、D→Eと重心がAから離れるに従い高い値を示した。また、重心がトレッド中心R0からR1→R2と右方向への移動に伴ってローリング角加速度値が増加するのに対し、同速度における上下加速度、ピッチング角加速度の顕著な変化はみられなかった。特に、速度が6Hz（走行速度0.504 m/s）ではその変化は微小であった。

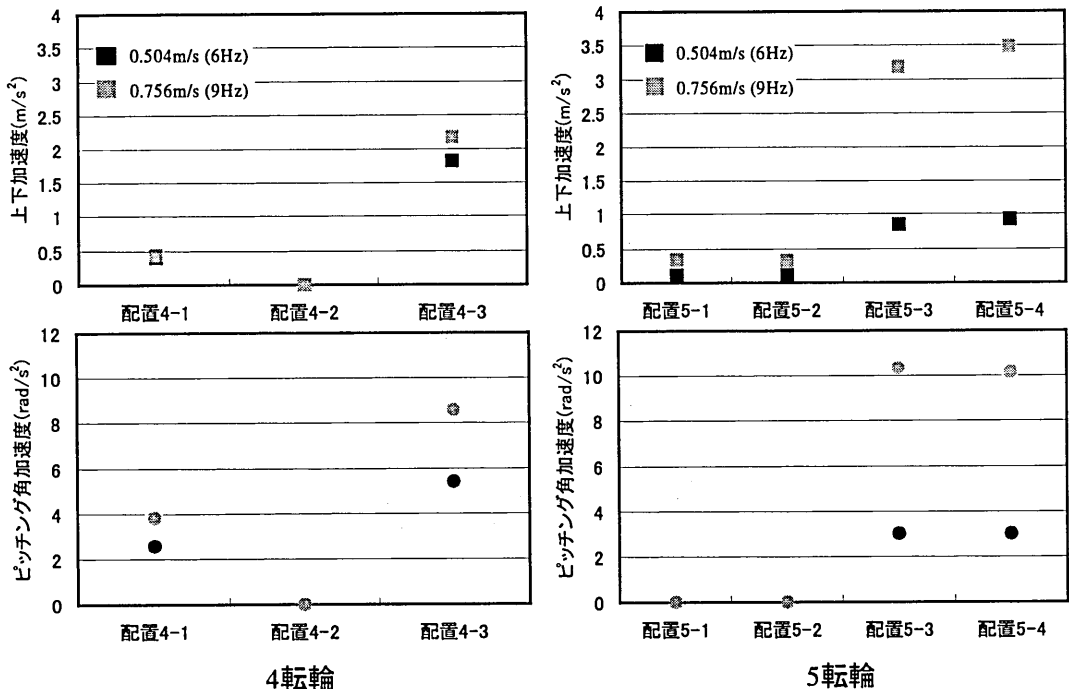


図4 各転輪配置での上下加速度およびピッチング角加速度のrms値

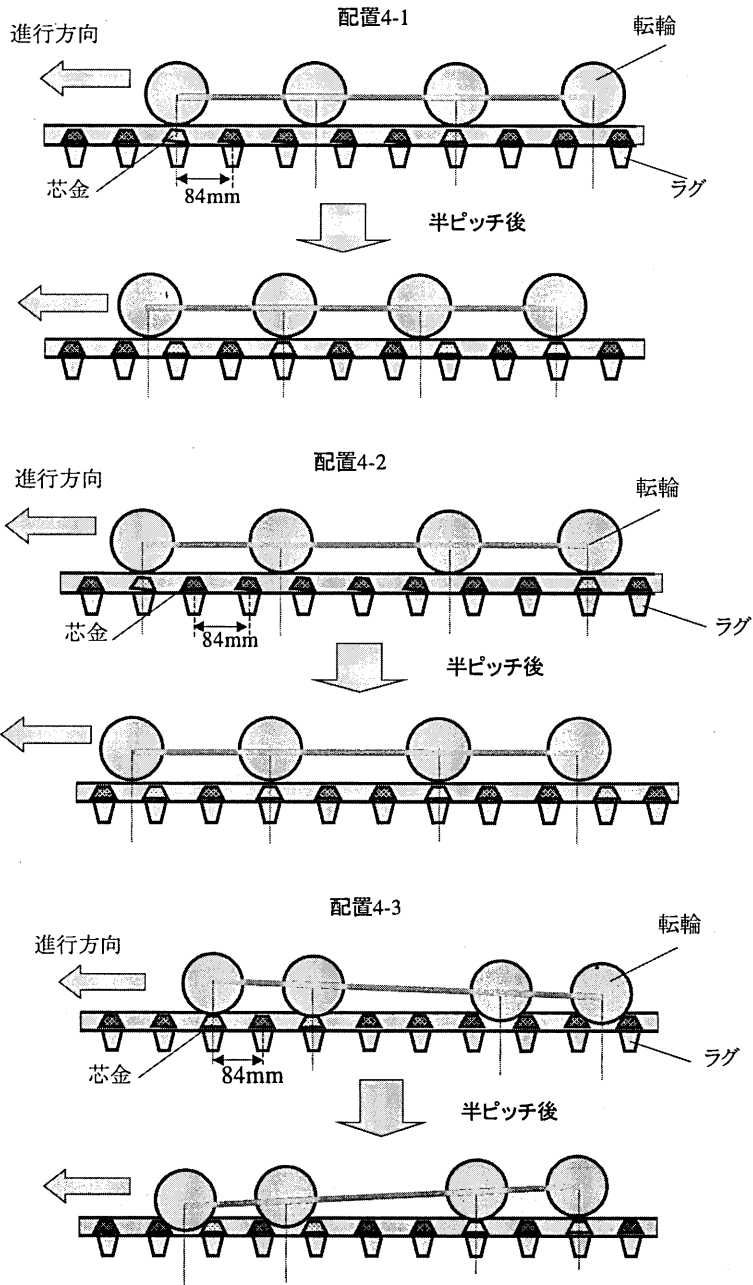


図5 転輪配置の違いによる転輪中心軸の挙動（4転輪での場合）

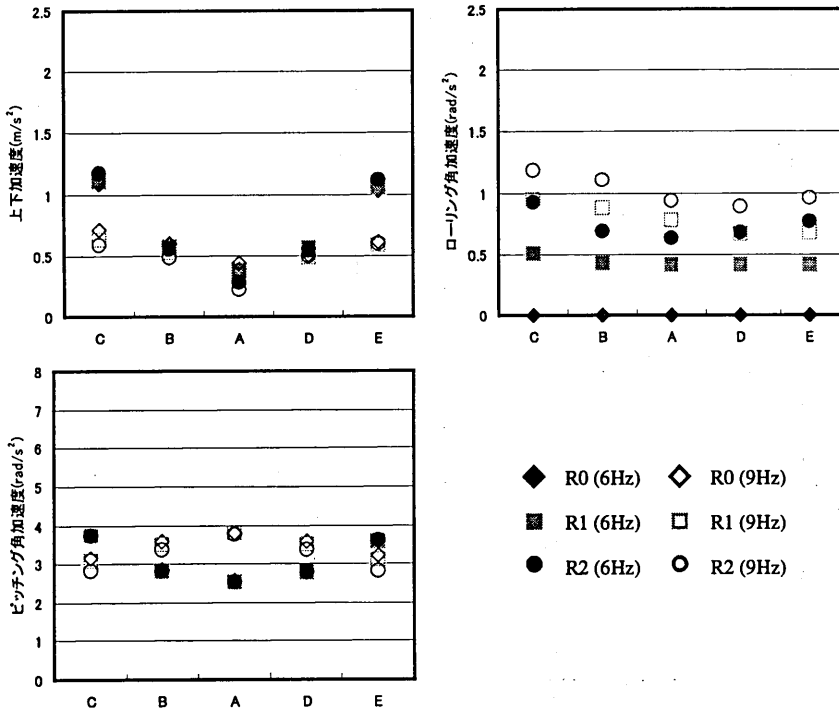


図6 各重心位置における上下加速度, ピッチング角加速度, ローリング角加速度のrms値(転輪配置4-1)

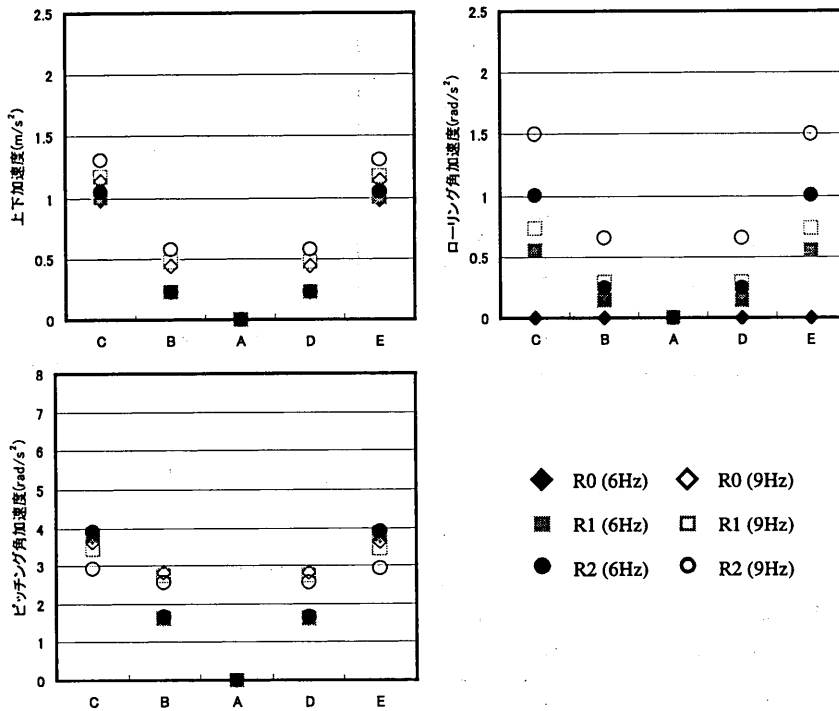


図7 各重心位置における上下加速度, ピッチング角加速度, ローリング角加速度のrms値(転輪配置4-2)

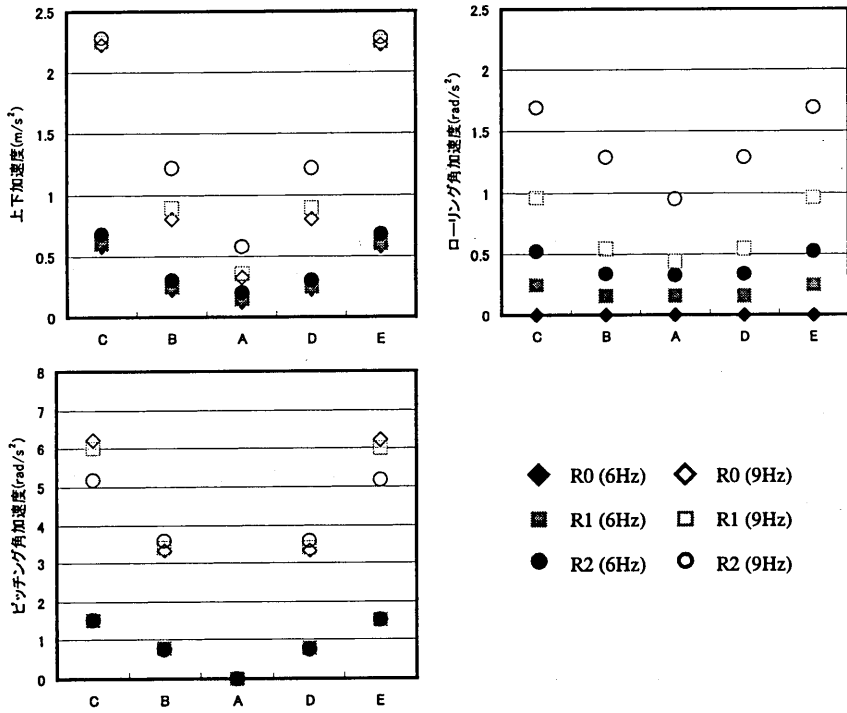


図8 各重心位置における上下加速度, ピッチング角加速度, ローリング角加速度のrms値(転輪配置5-1)

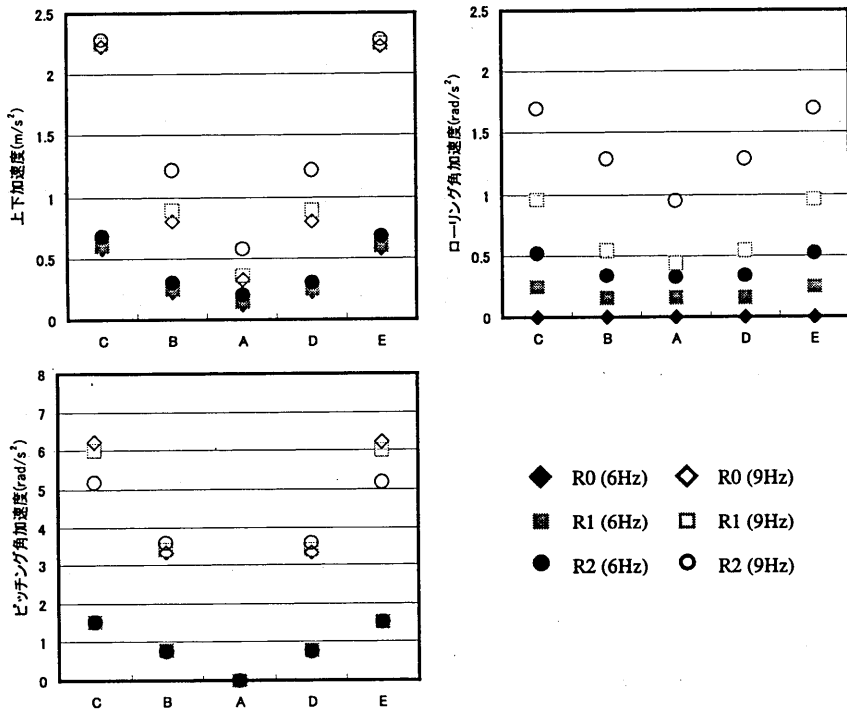


図9 各重心位置における上下加速度, ピッチング角加速度, ローリング角加速度のrms値(転輪配置5-2)

一方、走行速度に関しては、配置4-1のピッチングを除き、6 Hz → 9 Hz へと高速に伴い加速度は増加した。特に、配置5-1、5-2の5転輪の場合では4転輪の配置4-1、4-2と比較すると、重心位置が接地長中心 A から前後に離れるに従って加速度は急激に上昇している。

以上のように同転輪配置においても重心位置の違いによって機体振動特性は大きく異なることが予測可能であり、設計の際に、重心位置の考慮が必要であると考えられる。

結 言

本研究では、転輪配置および重心位置がゴム履帯車両の振動特性に及ぼす影響を検討するために、力学モデルに基づく運行シミュレーションを行った。その結果、ゴム履帯車両の振動特性は転輪配置、重心位置に多大に影響を受けることが明らかとなった。特に、良好な転輪配置においても重心位置が接地長中心より機体前方および後方へ移動するに従って、振動が増加する傾向を示し、また、4転輪と比較すると5転輪においてその傾向が顕著であった。以上の結果より、ゴム

履帯車両の転輪配置の設定には重心位置の移動による振動特性の変化を考慮する必要があり、それによってさらに、振動低減化に関するより最適な転輪配置を導出することが可能であると考えられる。

文 献

- 井上英二・坂井 純・稲葉繁樹 1990a 農用ゴム履帯走行部の振動特性に関する基礎的研究(第2報). 農業機械学会誌, 52(4): 29-36
- 井上英二・坂井 純・稲葉繁樹 1990b 農用ゴム履帯走行部の振動特性に関する基礎的研究(第3報). 農業機械学会誌, 52(5): 11-18
- 井上英二・坂井 純・稲葉繁樹 1990c 農用ゴム履帯走行部の振動特性に関する基礎的研究(第4報). 農業機械学会誌, 52(6): 19-26
- 野口良造・井上英二・中野和司 1998 農用ゴム履帯走行部の動的パラメータの同定. 農業機械学会誌, 60(1): 7-17
- 松尾隆明・橋口公一・坂井 純・田中栄三郎・藤木徳実 1987 ゴムクローラ型コンバインの走行性に対する重心位置の影響. 佐賀大農学部彙報, 62: 89-98

Summary

Vibration characteristics of agricultural rubber crawler vehicle vary depending on the center of gravity, mass, moment of inertia, location arrangement of track rollers and dynamic spring constant and viscous damping coefficient of a rubber crawler and so on. Especially, location arrangement of track rollers and center of gravity are important design factors in order to reduce machine vibration.

In this study, analytical simulation based on the dynamic 3-D model of a rubber crawler vehicle driving on a solid horizontal surface was performed in order to assess the effects of arrangement of track rollers and the center of gravity on vibration characteristics of rubber crawler vehicle. As a result, it was certified that vibration characteristics of rubber crawler vehicle were significantly influenced by arrangement of track rollers and the center of gravity. Especially, as center of gravity deviates from center of crawler's ground contact length to forward or backward, machine vibration increased and this tendency was remarkably in the arrangement of four track rollers compared with five track rollers. Therefore, it is necessary to consider the vibration characteristics of rubber crawler vehicle due to deviating of center of gravity at designing of location arrangement of track rollers.