

# 前後に作業機を装着したトラクタの作業安定性

李 季<sup>1</sup>・池見隆男<sup>2</sup>・土居栄城<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 愛媛大学大学院連合農学研究科施設生産連合講座・<sup>2</sup> 農学部施設生産工学講座)

## The Operating Stability of a Tractor with Front and Rear Mounted Implements

Ji LI<sup>1</sup>, Takao IKEMI<sup>1</sup>, and Eiki DOI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Major Chair of Plant and Animal Production under Structure,  
The United Graduate School of Agricultural Sciences, Ehime University;

<sup>2</sup> Chair of Biomechanical Systems, Faculty of Agriculture

**Abstract** : In this study, a method to improve the efficiency of a tractor which involves the drawbar pull, as well as vehicle mobility, and steering stability was investigated. The method mounts the plow at the front and the rotary tiller at the rear side of the tractor. Results have shown that the drawbar pull increased significantly when front hitch links is controlled. It is possible to adjust the distribution of tractor's load on front and rear wheels to improve the hitch structure. To give a small steering angle, it is possible to keep up the vehicle mobility and the steering stability of the tractor because of the increase of cornering force.

Key word: Tractor, Hitch, Operating stability, Cornering force.

### 緒 言

農作業の高効率化、高効率化が従来から図られてきたが、その一手段として、トラクタ前後に装着した作業機により同時作業を行う方式が考えられる<sup>1-3)</sup>。すなわち、前後装着ヒッチシステムでは、トラクタの性能を有効に利用することによって、異種作業または同種作業が可能となり、上述の意図が満される。

前後装着ヒッチによる異種作業の例としては、前部に耕うん機と後部に整地機、前部に耕うん機と後部に施肥機、前部に耕うん機と後部に播種機などの組み合わせが考えられる。しかしながら、前後の作業機により同時作業を行うには、克服しなければならない問題がある。すなわち、前後の作業機の抵抗がトラクタの走行の安定性及び操縦性に及ぼす影響を解明することである。

そこで、本研究は、代表的な作業機としてプラウをトラクタの前部に、碎土のためのロータリ耕うん機を後部に装着するシステムの例について、トラクタの走行安定性及び操縦性を検討する。

### 実験装置及び方法

供試トラクタは、定格出力19馬力(13.9kW/2500rpm)の四輪駆動で、タイヤは前輪6.00-12、後輪8.3-22である。作業機は、14インチ一連の発土板プラウを前部装着用に改造して、トラクタの前部に装着し、ロータリ耕うん機を後部に第1図のように装着した。トラクタは、実際の使用には小形に過ぎるが、実験モデルとして供試した。トラクタの走行速度は0.8m/sとした。

ヒッチの寸法は、前部装着ヒッチには、上部リンクの長さが470mm、下部リンクが630mm、後部装着ヒッチには、上部リンクの長さが215mm、下部リンクが630mmである。

リンク作用力の測定について、上部リンクは中空のリンク受筒部に直接ひずみゲージを張付けて使用した。下部リンクには八角リングを用いた。

土壌は砂壤土で、これを砕土、均平後ローラによる鎮圧を行い、含水比13~15%の比較的硬度の低い土壌条件で試験を行った。

諸量の計算に用いた諸元は、第1、2図において、次の通りである。

$$\begin{aligned} a &= 850\text{mm}, & b &= 515\text{mm}, & c &= 190\text{mm}, & d &= 575\text{mm}, \\ e &= 1845\text{mm}, & h_f &= 435\text{mm}, & h_r &= 440\text{mm}, & l &= 1365\text{mm}, \\ \alpha &= 17^\circ, & \beta &= 40^\circ, & \phi &= 76^\circ, & W_T &= 7350\text{N}, \\ W_p &= 700\text{N}, & W_r &= 2000\text{N}. \end{aligned}$$

### 結果及び考察

通常の耕うんでは、作業機をトラクタの後部に装着することによって、重量転移により後輪荷重が増加し、前輪荷重は減少して、四輪駆動トラクタでは前輪のけん引能力が十分発揮されず、操縦性も低下する。このため、作業機の形状寸法と質量の大きさは限定される。一方、前部装着ヒッチではトラクタの作業性能を向上させるだけではなく、前輪荷重を増加させて、そのけん引能力を増加し、操縦性が確保される。

#### 1 トラクタのけん引力に対する車輪荷重の影響

トラクタのけん引力に影響を与える主な要素は土質、タイヤの直径、幅、空気圧、構造や作業機の抵抗作用点(ヒッチの瞬間中心の位置)などである。ここでは、土質やタイヤなどの要素を除いたトラクタのけん引力の発生要因及びかじ取りの重さに影響する車輪荷重について検討する。

第1図において、けん引力Pは次式のように表すことができる。

$$P = \mu_1 R_f + \mu_2 R_r = F_{fx} - F_{rx} \quad (1)$$

ここで、

$R_f, R_r$ : それぞれ前後輪荷重

$F_{fx}, F_{rx}$ : それぞれ前後の作業機によるけん引抵抗

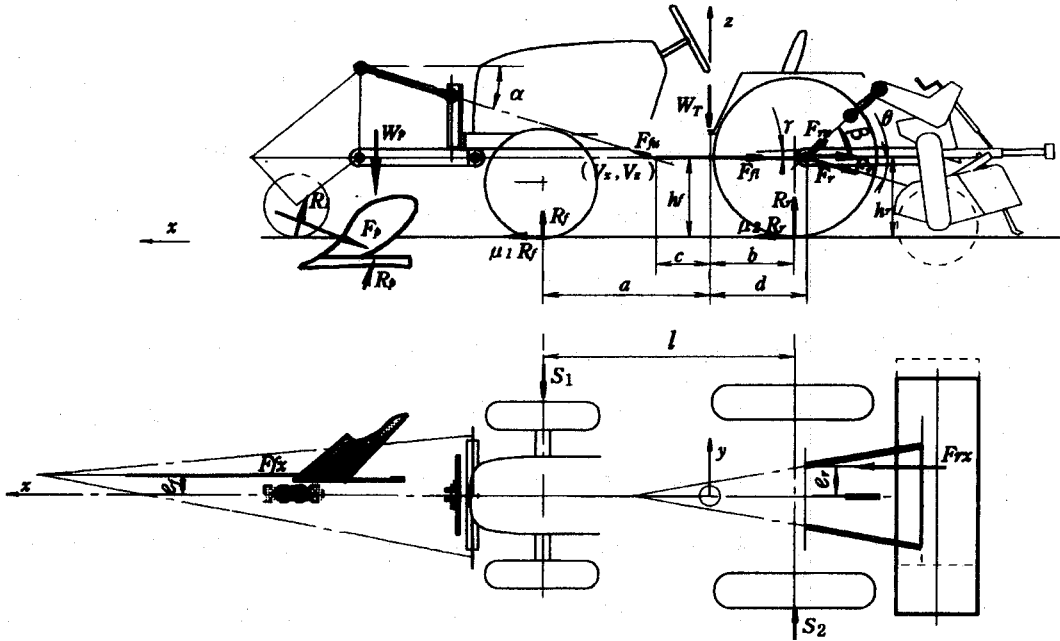
$\mu_1, \mu_2$ : それぞれ前後輪のけん引係数<sup>4-6)</sup>(転がり抵抗を含む)

式(1)は、ロータリ耕うん作業において、トラクタに対する推力が発生する場合のトラクタの水平方向の力のつり合い式である。ロータリ耕うん機による砕土耕の場合、前部ヒッチに装着したプラウが耕起した後は耕土の硬度が低下するので、トラクタに対してけん引抵抗となる場合には、式(1)は次のように表すことができる。

$$P = \mu_1 R_f + \mu_2 R_r = F_{fx} + F_{rx} \quad (2)$$

式(1)、(2)を比較すると、式(2)の方がトラクタのけん引抵抗は大きくなる。

言うまでもなく、軟弱土を除けば（車輪が軟弱土では沈下する）車輪荷重が大きいほどけん引力も大きくなる。しかし、前輪荷重が大きすぎると、トラクタの操縦性に与える影響が大きくなる。



第1図 前部装着ヒッチとして用いる自由リンクのトラクタのモデル

車輪荷重の影響は、第1図において、前部装着ヒッチのリンク作用力及び抵抗作用点は、自由リンクの場合、トラクタの重心に近いのでトラクタの車輪荷重に影響するが、作用の程度は小さい。車輪荷重は次のように求められる。

$$R_{ff} = j_1 W_T + j_2 F_{fu} - j_3 F_{ft} + j_4 F_{ru} - j_5 F_{rt} \quad (3)$$

$$R_{fr} = m_1 W_T - m_2 F_{fu} + j_3 F_{ft} + m_3 F_{ru} + j_5 F_{rt}$$

ここで、

$$j_1 = \frac{b}{a+b}$$

$$j_2 = \frac{h_f \cos \alpha - (c+b) \sin \alpha}{a+b}$$

$$j_3 = \frac{h_f}{a+b}$$

$$j_4 = \frac{h_r \cos \beta - (d-b) \sin \beta}{a+b}$$

$$j_5 = \frac{h_r}{a+b}$$

$$m_1 = \frac{a}{a+b}$$

$$m_2 = \frac{h_f \cos \alpha + (a-c) \sin \alpha}{a+b}$$

$$m_3 = \frac{(a+d) \sin \beta - h_f \cos \beta}{a+b}$$

ただし,  $R_{ff}$ : 自由リンクの場合の前輪荷重

$R_{fr}$ : 自由リンクの場合の後輪荷重

$F_{fu}$ ,  $F_{fu}$ : それぞれ前部装着ヒッチの上下リンク作用力

$F_{ru}$ ,  $F_{ru}$ : それぞれ後部装着ヒッチの上下リンク作用力

拘束リンクの場合, 第2図のように前部装着ヒッチの作用点がトラクタの重心を離れているので, 前輪荷重は増加, 後輪荷重は減少する傾向にある. 車輪荷重は次のように求められる.

$$R_{cf} = j_1 W_T + j_2 F_{fu} - j_3 F_{fu} + j_4 F_{ru} - j_5 F_{ru} + j_6 F_t$$

$$R_{cr} = m_1 W_T - m_2 F_{fu} + j_3 F_{fu} + m_3 F_{ru} + j_5 F_{ru} - m_4 F_t \quad (4)$$

ここで,

$$j_5 = \frac{(e+b) \sin \phi + h_f \cos \phi}{a+b}$$

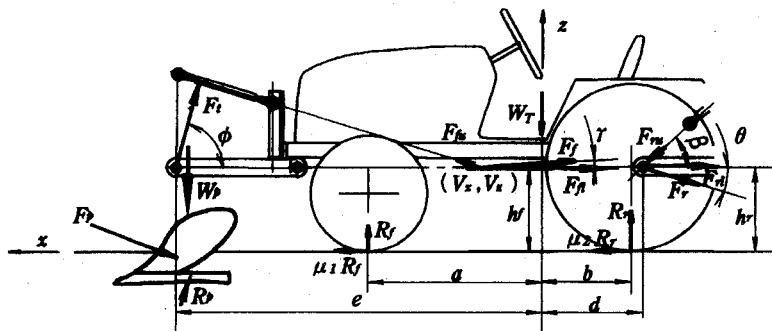
$$m_4 = \frac{(e-a) \sin \phi + h_f \cos \phi}{a+b}$$

ただし,  $R_{cf}$ : 拘束リンクの場合の前輪荷重

$R_{cr}$ : 拘束リンクの場合の後輪荷重

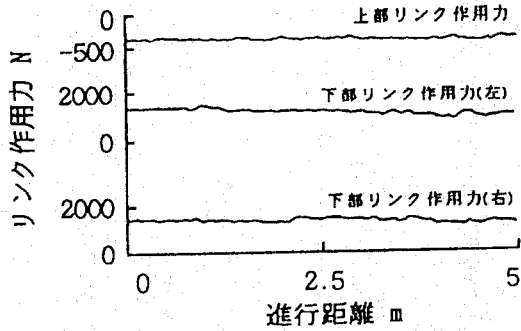
$F_t$ : リフトロッドの作用力

他の記号は第1, 2図の通りである.

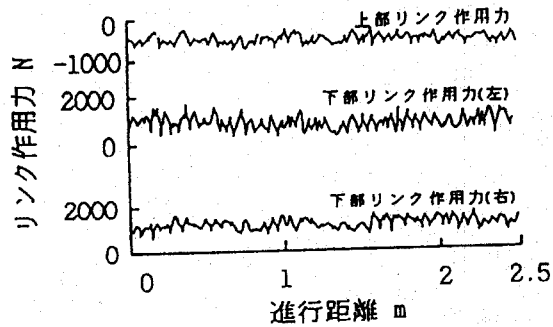


第2図 前部装着ヒッチとして用いる拘束リンクのトラクタのモデル

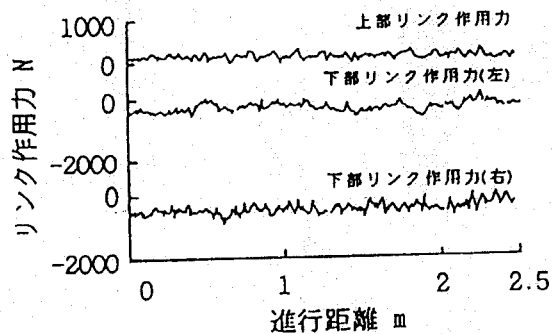
第3, 4, 5図は, それぞれ前部に装着したプラウと後部に装着したロータリ耕うん機による三点リンクの作用力の実測値である。第3図は, 前部装着ヒッチが自由リンクの作用力の実測値の例であり, 第4図は, 後部装着ヒッチにおける硬土の場合の実測値である。第5図は, ロータリ耕うん機による碎土耕の場合の実測値である。



第3図 前部装着ヒッチのリンク作用力

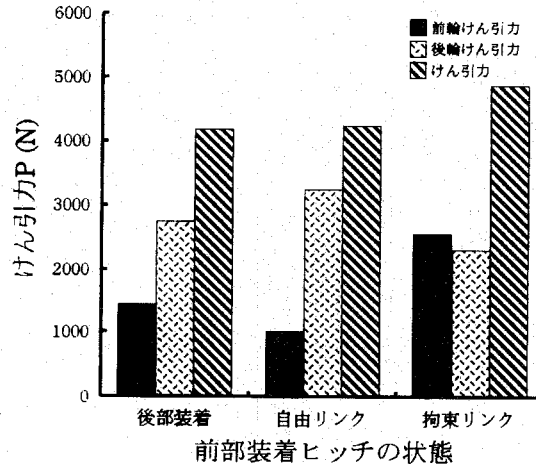


第4図 後部装着ヒッチのリンク作用力(硬土)



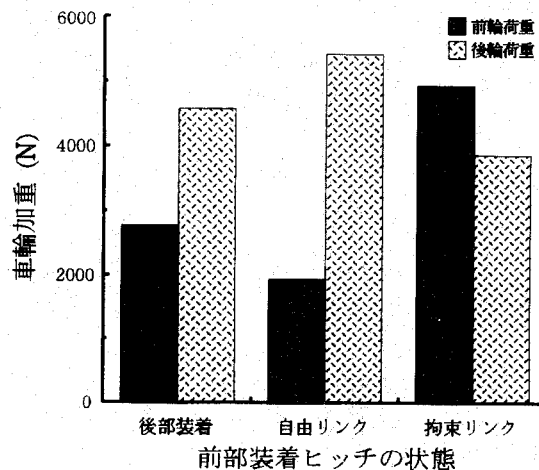
第5図 後部装着ヒッチのリンク作用力(軟弱土)

式(1)~(4)から、トラクタのけん引力は車輪荷重及び前部装着ヒッチとして用いる三点リンクの拘束の有無に左右されることが分かる。第6図に示すように、けん引力は、後部装着の場合と比較して、前部装着ヒッチが自由リンクの場合にはほとんど差はないが、拘束リンクの場合には増加する傾向にある。式(1), (2)の計算に用いたけん引係数  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  は車輪寸法を考慮して、それぞれ 0.52, 0.6にした<sup>4, 5)</sup>。



第6図 けん引力と前部装着ヒッチの状態の関係

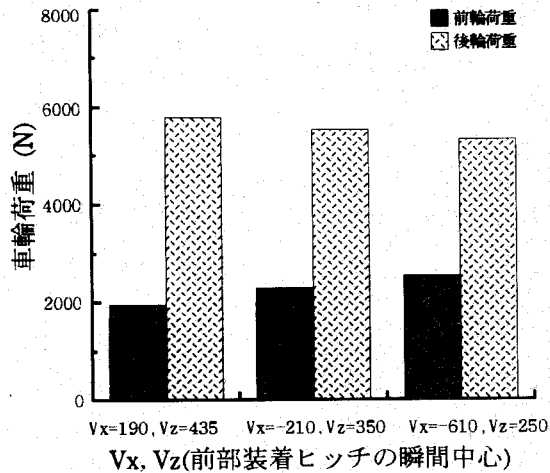
けん引力とかじ取り安定性から考察すれば、前輪荷重は過小、過大いずれであっても、トラクタの操縦性にとって不利である。したがって、前輪荷重が適当であることが重要である。第7図は、前部装着ヒッチが自由リンクと拘束リンクの場合の前輪荷重及び後輪荷重の違いを示す。



第7図 車輪荷重と前部装着ヒッチの状態の関係

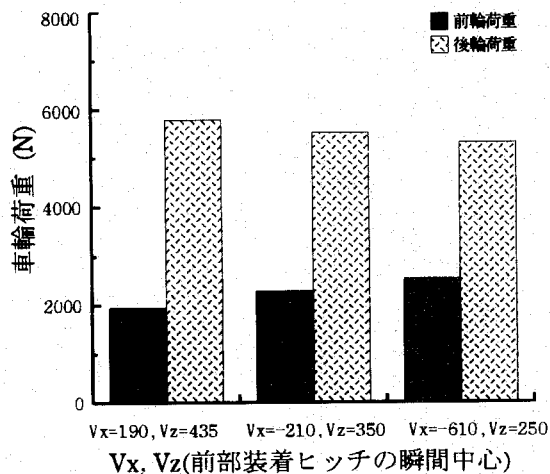
第1図において、前部装着ヒッチが自由リンクの場合は、前部装着ヒッチ機構の重量が支持輪に支持されているので、第7図のように、トラクタの前輪荷重は減少し、後輪荷重が増加する。前輪

荷重の減少は、トラクタのかじ取り荷重やけん引力に影響する。第1図において、重心を通る垂線の接地点を原点とする前部装着ヒッチの瞬間中心 ( $V_x, V_y$ ) を、トラクタの下後方に移動調整することによって、前後輪荷重を、第8図に示すように変えることができる。



第8図 前部装着ヒッチ点と前後輪荷重の関係 (自由リンク)

前部装着ヒッチが拘束リンクの場合、第2図のように支持輪の代わりにリフトロッドによって作業機重量を支持するので、前部装着ヒッチに対する抵抗の方向と作用点が変わる。その結果、第7図に示すように、前輪荷重が増加し、後輪荷重は減少する。上部リンクの位置の調整によっても、第9図に示すように、前後の車輪荷重が変わる。すなわち、前輪荷重を増加、後輪荷重を減少させることが可能である。後部装着ヒッチの荷重を増加させることができ、しかも前輪重錘を必要とせず、四輪駆動トラクタのけん引性能の向上が期待できる。



第9図 上部リンクの傾き角と前後輪荷重の関係 (拘束リンク)

## 2 直進安定性

トラクタは、作業時常に作業機からの外力を受け、それにより生じるヨーモーメントと平衡して直進させるため、わずかに実だ角を与えて前輪にコーナリングフォースを発生させることが必要である<sup>7, 8)</sup>。その条件は、

$$S_l \cdot l \geq F_{fz} \cdot e_f - F_{rz} \cdot e_r \quad (5)$$

である。また、コーナリングフォースは次式のように表される。

$$S_l = n \cdot k \cdot R_f \cdot \beta_l \quad (6)$$

ここで、

$S_l$ : 前輪におけるコーナリングフォース

$e_f, e_r$ : それぞれ  $F_{fz}, F_{rz}$  の作用点からトラクタ中心までの距離

$l$ : トラクタの軸距

$n$ : タイヤの大きさの修正係数

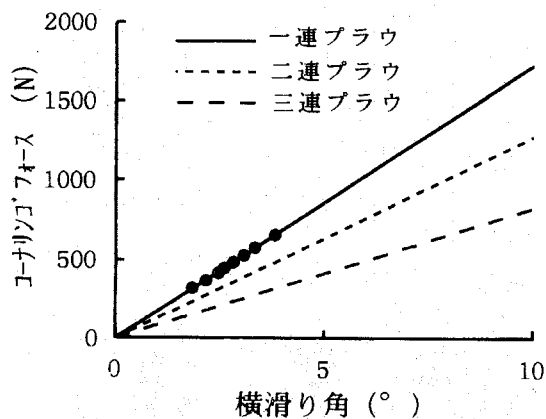
$k$ : コーナリング係数

$R_f$ : 前輪荷重

$\beta_l$ : 前輪の横滑り角

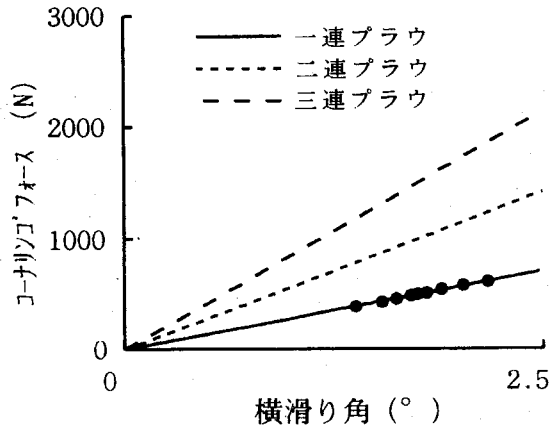
第10, 11図は、式(6)より求めた、それぞれ前輪荷重の違いによる横滑り角に対して、発生させ得るコーナリングフォースを表している。図における直線上の値は、一連、二連、三連プラウの場合の、前後の作業機抵抗がトラクタに対して非対称に作用することにより発生した前輪におけるコーナリングフォースである。自由リンクの場合、第10図のようにプラウの数の増加によってコーナリングフォースは減少する。拘束リンクの場合、第11図のように、プラウの数の増加によってコーナリングフォースが増加し、前輪のわずかな実だ角によって、作業機抵抗の非対称による横方向力を克服するコーナリングフォースを発生することができる。

以上から、前部装着ヒッチは拘束リンクを用いることによって、トラクタの安定した作業が期待できる。



第10図 前輪の横すべり角とコーナリングフォースの関係 (自由リンク)





第11図 前輪の横すべり角とコーナリングフォースの関係(拘束リンク)

### 3 かじ取り安定条件

前後の抵抗合力及びその作用点の位置によって、トラクタの重量転移が発生し、前輪荷重が変化する。かじ取りが安定に行われるためには、前輪荷重にかじ取りに必要なコーナリングフォースを発生し得る大きさが必要である。

かじ取りが安定に行われるために、

$$k_1 W_T \geq R_f \geq k_2 W_T \quad (7)$$

ただし、 $k_2 W_T$ : コーナリングフォース発生に必要な限界荷重

$k_2$ : 前輪荷重を与える係数 ( $k_2=0.272$ )

$k_1 W_T$ : 前輪荷重がこの値を越えるとかじ取りが困難になる前輪荷重の上限荷重

$k_1$ : 前輪荷重の上限係数

式(3)、(4)及び第7図をみると、前部装着ヒッチが拘束リンクの場合、前輪荷重  $R_f$  は2000Nを越え、 $R_f/W_T \geq k_2$  であるので、かじ取り安定条件を満足する。自由リンクの場合、前部装着ヒッチの瞬間中心(仮想ヒッチ点)  $(V_x, V_y)$  を第8図のように調節することによって、 $R_f/W_T \geq k_2$  を満足することができる。 $k_1 W_T$  については、かじ取りの重さだけでなく、土の締固めの問題と関連がある。

### 摘 要

前後に装着した作業機により同時作業を行う場合の、トラクタの作業安定性に影響する要因を明らかにした。

- 1) けん引力は、前部装着ヒッチが自由リンクの場合には後部装着の場合に比べほとんど差はないが、拘束リンクの場合には増加する。
- 2) 前部装着ヒッチが自由リンクの場合、後部装着の場合に比べ、前輪荷重は減少、後輪荷重は増加する傾向がある。瞬間中心をトラクタの後方に移動させることによって、前後輪荷重の配分を改善することができる。
- 3) 拘束リンクの場合、トラクタの前輪荷重が増加し、後輪荷重は減少するので、後部装着ヒッチ

の荷重を増すことができる。すなわち、後部装着作業機の重量を大きくすることが可能となる。上下部リンクの姿勢によって前後輪荷重の大きさも調節でき、四輪駆動トラクタの潜在力が利用できる。

4) 前部装着ヒッチが自由リンクの場合、前部装着作業機の抵抗の増大によって、コーナリングフォースが減少する。拘束リンクの場合には、コーナリングフォースが増加するので、小さい実だ角を与えることによって、トラクタの直進性を維持させることができる。

#### 参考文献

- 1) RENIUS, K.T.: Trends in Tractor Design with Particular to Europe. *J. agric. Engng Res.*, 57, 3-22 (1994).
- 2) COWELL, P.A., SARFERT, A. and AUSTEN, J.R.: The Lateral Stability and Dynamic Behaviour of Tractor Front Linkages. *J. agric. Engng Res.*, 58, 145-157 (1994).
- 3) 李 季・池見隆男・土居栄城: 前後に作業機を装着したトラクタの走行安定性. 第55回農機講演要旨, 19-20 (1996).
- 4) 農業機械学会: 新版農業機械ハンドブック, p.348-357, コロナ社, 東京(1984).
- 5) 増田正三・梅田重夫: トラクタのけん引性能に関する研究 (第4報). 農機誌, 25(4), 219-222 (1964).
- 6) 農業機械学会: 改訂農業機械ハンドブック, p.318-365, コロナ社, 東京(1969).
- 7) 安田与七郎・土井淳多: ホイル型トラクタの走行安定のためのコーナリングフォースについて. 農機誌, 26(2), 79-83 (1965).
- 8) 近藤政市: 基礎自動車工学 (前), p.177-207, 養賢堂, 東京(1988).

平成9 (1997)年 9月30日受理  
平成9 (1997)年12月25日発行