

走行速度対応の繰出量制御システムの開発研究

I. 走行速度センサについて

小松 實*・庄 森*

Developmental Studies on Feed Volume Control System of Being Equivalent to Tractor Running Speed for Fertilizer and Seeder

I. On Tractor Running Speed Sensor

Minoru KOMATSU* and Sen ZHUANG*

Performances of ground wheels of three types were tested for the fitness for feeding volume control system of a seeder or a fertilizer so as to detect running speeds of a tractor, on which the seeder or the fertilizer is mounted.

As a result, the travelling ratio of the ground wheel without lugs is much stabler and higher than that of the other two types of ground wheels with lugs of height of 30mm or 15mm. And the soil water content is a main variable influencing the travelling ratio of ground wheels compared with cone penetration resistance and contact pressure.

結 言

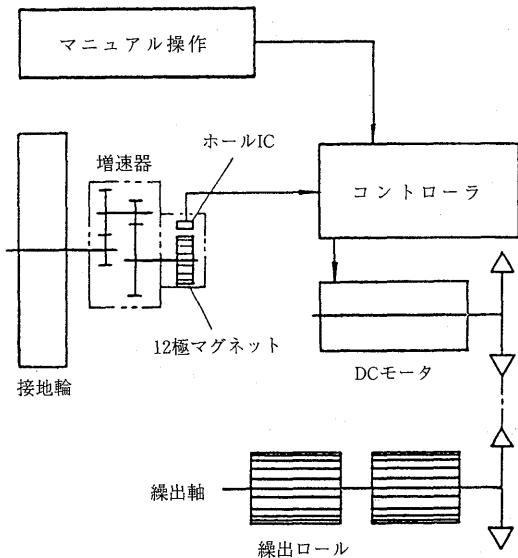
従来の施肥・播種機繰出装置の駆動方法は、その多くは、接地輪による駆動である。しかし、接地輪の回転は、繰出部の抵抗や土の状態によって大きく変動する。したがって、繰出精度も低いものとなっている。近年繰出精度を向上する目的から、DCモータ駆動の試みがあるが、この場合は繰出抵抗からの変動は少なくなる。ただ、トラクタの走行速度変化に対応し得ない。著者らはこのような実態を踏まえ、実走行速度に対応する繰出量制御システムを開発し、走行速度に関係なく一定の比施肥量あ

るいは比播種量を実現する課題に取り組んできた¹⁾。このようなシステムにおいては走行速度センサ、この場合特に接地輪の検出性能が重要になる。レーザなどの非接触型走行速度センサは²⁾地表面の状態の変化によって検出性能が変わるので、この種の作業では実用の域に達していない。

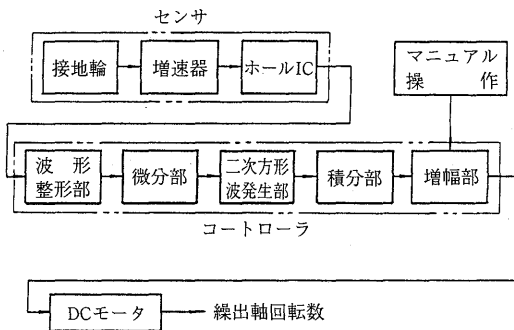
本研究は、接地輪の検出性能を、ラグの有無やその他の関連因子との関係から明らかにしようとしたものである。

*鳥取大学農学部農林総合科学科生産環境工学講座

*Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University



第1図 制御システムの概要図



第2図 制御システムブロック図

システム概要

1) システム構成

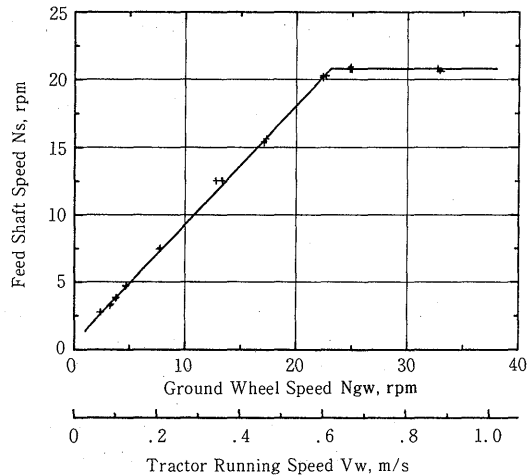
第1図と第2図は開発した走行速度対応繰出量制御システムを示したものである。速度センサには接地輪と増速器並びに回転数検出部があって、回転数検出部は接地輪の回転軸に直結された増速器軸部に取り付けられている。回転数検出部は、回転軸に取り付けた12極マグネットとそれに対向したホールICにより、磁束の変化を電圧変化としてとらえ、パルス信号を出力する磁気検出装置である。この速度センサにより、接地輪1回転にあたり360パルスの出力信号を取り得る。また、接地輪有効径と増速器の増速比を変更することにより、走行速度の

検出範囲が可変である。

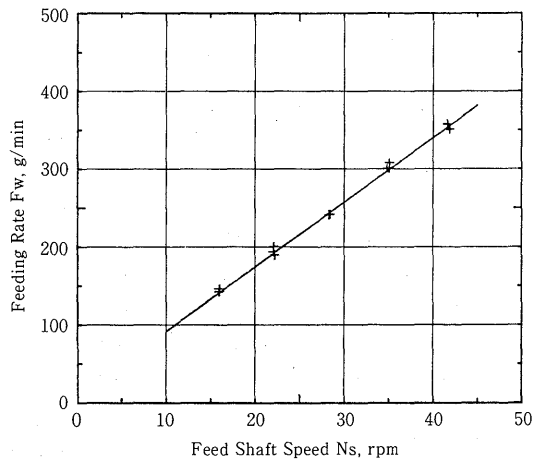
速度センサからのパルス信号は、まずシステムコントローラのF-V変換部に入って、そこでパルス波形整形、微分、電圧変換用2次方形波発生、積分などの一連の処理をされ、入力周波数に比例した直流電圧に変換される。この直流電圧がコントローラの増幅部で増幅され、DCモータの制御電圧となって、DCモータの回転を制御し、繰出軸回転を制御する。マニュアル操作も可能にするため、増幅部に可変抵抗による定電圧出力機構を付随させた。

2) 基本性能

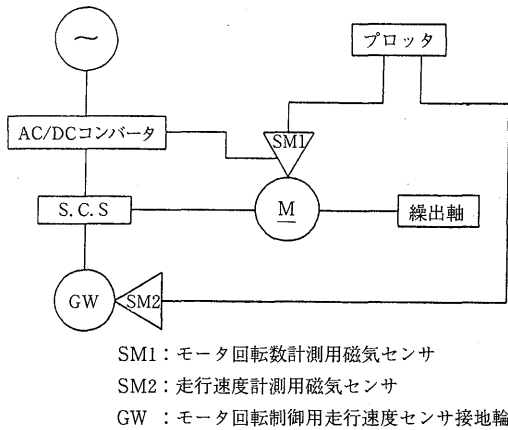
実用中のトラクタ用播種機 (T社製TS240型播種機)



第3図 繰出制御システムにおけるトラクタ走行速度と繰出軸回転速度



第4図 繰出量—繰出軸回転数線図



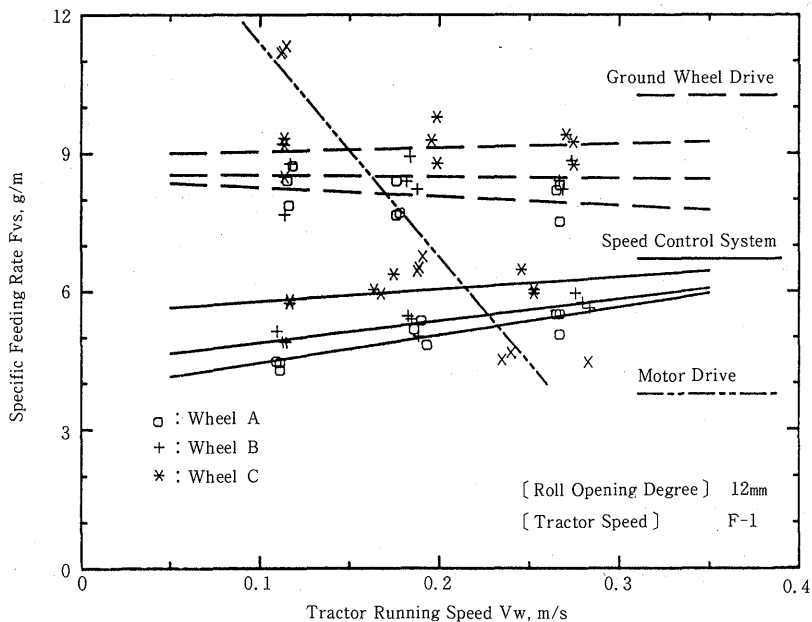
第5図 繰出制御システムの圃場実験装置

に組み込んでシステムの性能を検討した。供試機の繰出部は溝付きロールである。第3図はシステムの供給電圧DC12Vの場合の接地輪回転数と繰出軸回転数との関係を示したものである。接地輪回転数2.4~39.1rpmの範囲内で数段階のサンプリングをしたもので、ほぼ24rpmまでの間を制御し、繰出軸回転との間に直線的な関係がある。第4図は繰出軸回転と繰出量の関係線図である。繰出ロールの開度12mmに設定した時のもので、相関係数0.999で直線的な変化を示している。

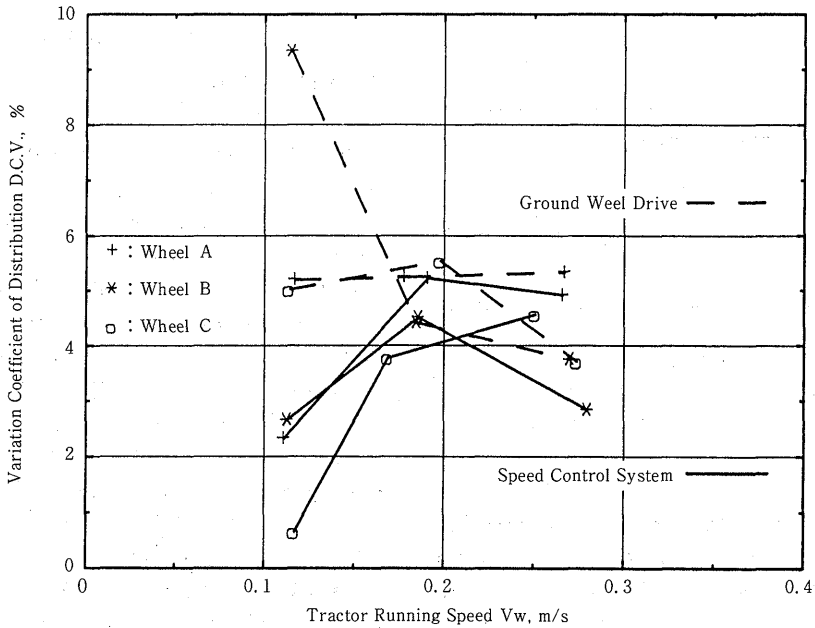
走行速度対応性能

1) 実験方法と条件

トラクタの後部の3点リンクヒッチにより装着し、繰出軸をM.D. (Mortor Drive), G.W.D. (Ground Wheel Drive), S.C.S. (Speed Control System) の3方法で駆動した場合の走行速度対応繰出性能について検討した。S.C.S.における実験計測システムを第5図に示した。G.W.D.とS.C.S.においては、走行速度検出用接地輪はラグ高さ30, 15mmおよびラグなしの3種類(以下Wheel A, B, Cとする)を供試した。接地輪本体は質量約3kg, 踏面幅30mm, 直径350mm, 踏面部に肉厚5mmのゴム皮膜を施したものである。トラクタの走行速度をほぼ0.11, 0.19, 0.26m/sの3段階に変化させ、その時の3m間の繰出量を測定した。供試種子は水稻で、品種は「ささにしき」、千粒重26.86g, 平均長さ7.35mm, 平均最大幅3.17mm, 平均厚さ2.19mm, 比重量0.62g/cm³のものである。実験圃場はシルト質ロームで、塑性限界35.8%, 液性限界45.0%の土壌である。実験時の土壌含水比22.7~30.2%, 湿潤容積重1.02~1.38g/cm³, コンシステンシ指数1.61~2.42及び円錐貫入抵抗0.03~0.06MPaのものである。



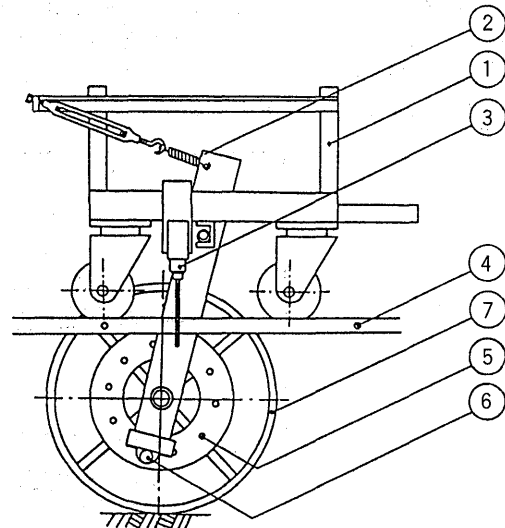
第6図 走行速度変化と比繰出量の関係



第7図 繰出システムごとの分布変動係数の比較

2) 結果考察

第6図に示すのは走行速度と比繰出量の関係である。この図を見ると、G.W.D.とS.C.S.両方とも走行速度の変化に対して比繰出量は大きく変化しないことで、初期の目的を達している。G.W.D.、S.C.S.ともWheel C、Wheel B、Wheel Aの順に比繰出量が減少することが分かる。これは、ラグが高くなると接地輪の有効径が増大する結果、繰出軸回転数が減少するからである。また、走行速度が大になるにつれてS.C.S.駆動方式の場合に比繰出量がやや増加するが、これは接地輪の回転がより動的となり、ラグの貫入が大になるため、接地輪有効径が低速時より小となるためと解される。この傾向に対しG.W.D.の場合は走行速度の増加とともに接地輪間の差が大になる。この場合は動的になるに伴い土の強さが相対的に低下し、ラグのある接地輪で回転すべりが発生して比繰出量が低下したのと思われる。第7図に示すのが繰出システムごとの分布変動係数である。G.W.D.全体の分布変動係数の平均が5.27%であるのに対し、S.C.S.では、3.47%であって、S.C.S.駆動方式はより安定した繰出量が得られることが分かる。この開発したS.C.S.の性能は西独農業機械学会の定めた実用域の値を示している。



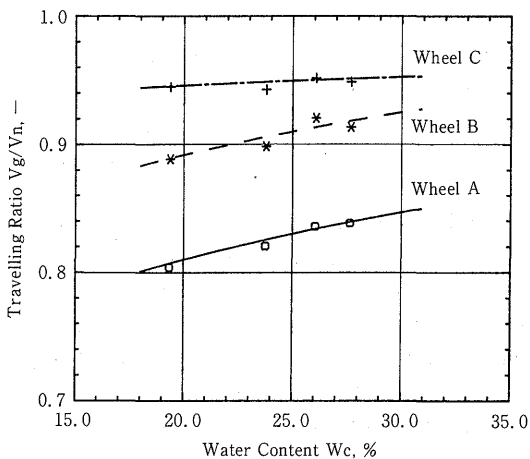
1. 台車
2. 接地圧調整部
3. 作業速度計測用接触スイッチ
4. 作業速度計測用チェッカ
5. 接地輪走行速度計測用チェッカ
6. 接地輪走行速度計測用磁気センサ
7. 供試接地輪

第8図 接地輪性能の実験装置

走行速度センサ用接地輪性能

1) 実験方法

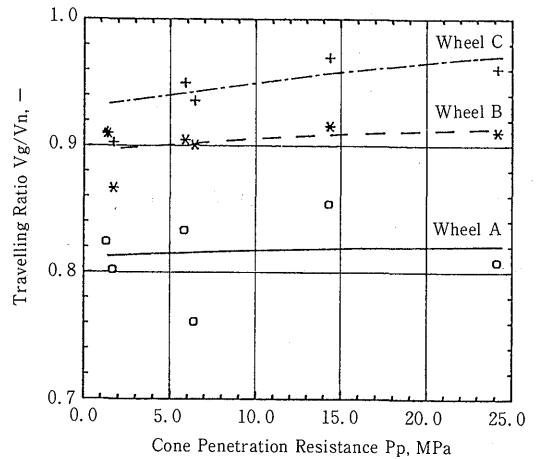
走行速度対応繰出量制御システムの走行速度センサ部に接地輪を用いていることは前に述べた。この接地輪の検出性能が、土壌因子や接地輪の踏面の形からどのような影響を受けるかを調べるために、室内土槽で実験的に検討した。実験装置概要を第8図に示した。土槽上にレールを載せ、そのレール上の台車に供試接地輪を取り付けている。台車はロープを介して回転数を一定に設定した可変モータにより牽引される。実走行速度 (V_n) を測るため、レールの150cm区間に50cmごとに取り付けたチェッカにより台車に取り付けた接触スイッチを作動させ記録した。また、接地輪には等間隔に取り付けた8個のチェッカを取り付け、磁気センサでこれを検出することにより回転数を測定した。この回転数から検出速度 (V_g) を求める。供試接地輪は、前述の圃場実験のものと同じのものである。それぞれは前と同様にWheel A, Wheel B, 及びWheel Cとした。土槽は幅60cm, 高さ40cm, 長さ300cm, 有効区間150cmであって、その中に塑性限界35.8%, 液性限界45.0%のシルト質ローム土を充填したものである。対象にした土の変量は、土壌含水比, 土壌圧密状態を示す容積重並びに円錐貫入抵抗である。土壌含水比は約20~30%の範囲を5段階に設定し、土壌圧密状態は耕うん後均平にされただけのものと、15kgと60kgの重しで押しながら均平したもの3種類を設定した。接地圧は接地輪軸荷重2.2, 7.4, 8.4, 9.6kgの4種類とした。



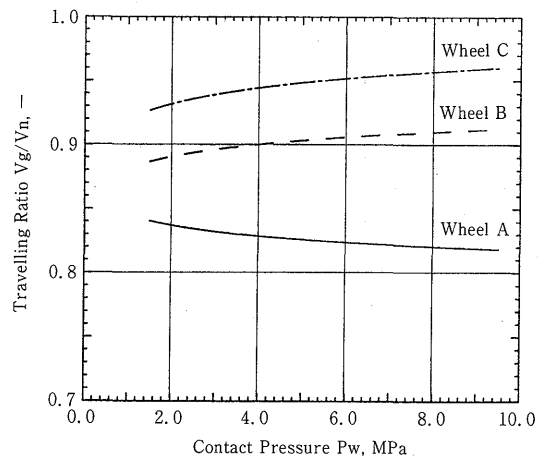
第9図 土壌含水比と進行比との関係

2) 検出性能

土槽実験における接地輪の検出速度 (V_g) と、実走行速度 (V_n) との比 V_g/V_n を進行比として諸因子との関連から考察した。第9図は進行比と土壌含水比との関係を示したものである。Wheel A, B, Cとも土壌含水比の増加に対して進行比がわずかに増加する関係にあるが、Wheel CではWheel A, Bに比べて土壌含水比差の進行比に与える影響が小さい。第10図は進行比と土壌硬度との関係を表わしたものでWheel A, B, Cともわずかに土壌硬度が増すに伴い増加する傾向を示している。第11図は進行比と接地圧との関係である。Wheel B, Cでは緩やかな増加傾向を示し、Wheel Aでは減少傾向が見られた。これらはいずれもラグなしの接地輪において高水準の進行比を示している。



第10図 土壌硬度と進行比の関係



第11図 接地圧と進行比の関係

第1表 次元解析に用いた変量

変 量	符 号	次 元
接地輪検出走行速度	V_g	LT^{-1}
実 走 行 速 度	V_n	LT^{-1}
接 地 輪 の 直 径	D	L
接 地 輪 の 幅	B	L
接 地 圧	P_w	FL^{-2}
円錐貫入抵抗	P_p	FL^{-2}
湿潤容積重	U_w	FL^{-3}
土 壤 含 水 比	W_c	—

第2表 II 項

$\Pi_1 = V_g/V_n$	$\Pi_2 = P_w/(BU_w)$
$\Pi_3 = P_p/(BU_w)$	$\Pi_4 = W_c$
$\Pi_5 = D/B$	

3) 主パラメータによる次元解析と予測式

進行比と諸因子との関係をもとにして、次元解析による検討を行った。次元解析に用いた変量を第1表に示した。これよりII定理による無次元項は、第2表のようになる。II₅項はここでは定数であるので除外した。目的とする進行比をII₁項とし、次のような関係が成り立つものとして考察した。すなわち

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4) \dots\dots\dots(1)$$

その結果、各接地輪ごとに次のような関係が得られた。

$$\begin{aligned} \text{Wheel A: } \Pi_1 &= 0.2722 \Pi_2^{-0.0145} \Pi_3^{0.0008} \Pi_4^{0.3061} \dots\dots (2-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wheel B: } \Pi_1 &= 0.3273 \Pi_2^{0.0181} \Pi_3^{0.0012} \Pi_4^{0.3741} \dots\dots (2-2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wheel C: } \Pi_1 &= 0.2419 \Pi_2^{0.0193} \Pi_3^{0.0013} \Pi_4^{0.4878} \dots\dots (2-3) \end{aligned}$$

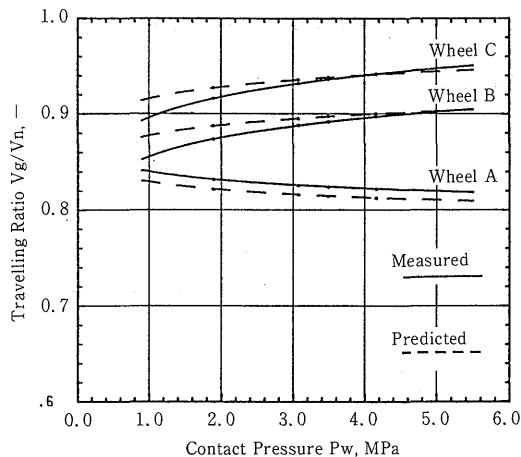
これを整理して各変量ごとにまとめると

$$\begin{aligned} \text{Wheel A: } V_g/V_n &= 0.2722 P_w^{-0.0145} P_p^{0.0008} U_w^{0.0137} B^{0.0137} W_c^{0.3061} \dots\dots (3-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wheel B: } V_g/V_n &= 0.3273 P_w^{0.0181} P_p^{0.0012} U_w^{-0.0193} B^{-0.0193} W_c^{0.3741} \dots\dots (3-2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wheel C: } V_g/V_n &= 0.2419 P_w^{0.0193} P_p^{0.0013} U_w^{-0.0206} B^{-0.0206} W_c^{0.4878} \dots\dots (3-3) \end{aligned}$$

になる。



第12図 予測値実験値の比較

実験値と予測値との比較例を第12図に示した。これらの結果は、Wheel Cで進行比の水準が高く、安定した性能を示している。次元解析の結果から変量としては土壌含水比が最も進行比に大きく影響することが分かる。

総 合 考 察

走行速度センサとして地表接触式の接地輪を用い、その輪軸の回転から得られる感磁変化を走行速度の増減変化としてとらえている。そして繰出軸を駆動するDCモータの供給電圧を前記走行速度の変化に対応して制御し、施肥、播種量を一定にするシステムを開発してきた。

本報で述べたように、分布変動係数の平均が4%以下で、これまでの接地輪駆動方式に比し高精度の繰出しを実現した。

しかし、本システムにおいては、繰出軸の回転変化に対し、繰出量が比例関係にあること、走行速度の変化を接地輪が確実にとらえること、さらに電気的なコントローラの精度が問題になる。これらのシステム要素について、更に精度向上の余地は十分にあると考えられる。本報では走行速度センサの接地輪のラグに関する検討を行ったのであるが、このような転動車輪では接地面にラグのあることはかへって回転変化を起す原因となることが明確になった。圃場における結果について、室内の次元解析で裏付けを行った。そして地表状態も比較的乾燥した状態よりも水分を含み膨軟な状態が転動を平滑にし、結果として適確な進行速度の変化を検出している。

摘 要

走行速度対応の繰出量制御システムにおける走行速度センサ用接地輪の検出性能について実験的な検討を行った。ラグなし接地輪がラグをもつ接地輪に比べて常に安定した高い進行比を示した。土壌含水比，接地圧，土壌硬度などの関連因子では，土壌含水比が進行比に最も影響を与える結果となった。

文 献

- 1) 小松 實他：走行速度対応の施肥システムの開発. 農機学会関西支部報, **64** 69-70 (1988)
- 2) F.D.Tompkins et al : Comparison of Tractor Ground Speed Measurement Techniques. ASAE, **31** (2) 369-374 (1988)