

プラウイング性能のコンピュータ計測

I. 主要センサの開発

小松 實*・張 萃明**

平成2年5月31日受付

Studies on Computer Measurement System of the Plowing Performances

I. Development of Main Sensors

Minoru KOMATSU* and Cuiming ZHANG**

The objective of this study is to develop a computer system for use in the evaluation of plowing performances by realtime processing, as well as its use for the measurement of control data in an automated tractor system.

In the first report, sensors for the measurement of five main performance factors (soil resistance, plowing depth, plowing width, plowing speed and soil hardness) were developed and their characteristic diagrams and some field performances were disclosed. Especially, there are no sensors to the plowing width similar to the ones developed in this study in which a distance between disc coulter and face is measured as the plowing width.

緒 言

Chancellor ら¹⁾の報告のように、現在の土作用農業機械の制御においては、現象のみを把え、その現象がいかなる性能要因の変化によってもたらされたかは明らかに

されないままで行われている。その原因の一つに、関連性能因子の測定用センサが未開発であるとする現実がある。更に、制御対象は単純に主負荷要因だけを操作する方式の域を脱していない。本報告が取り上げたプラウイングに例を見ると、過大すべりを検知すれば直ちに耕深

* 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*

** 中華人民共和国 四川工業学院

** *Sichuan Institute of Industry, China*

を少なくして対応するという単純なものである。このような制御システムでは、本来のプラウイング性能である均一な耕深の維持は当初から否定されていることになる。過大すべりを発生する要因には、土の硬さや耕幅の変化なども考えられ、これらの状態量の測定なくしては特定することは不可能である。

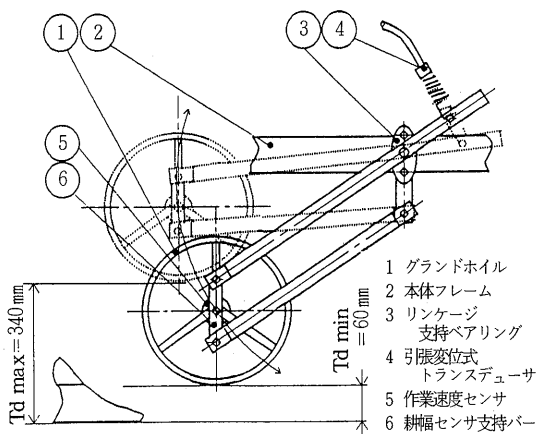
著者らは、既にこのような現状を打開すべく土作用機械関連の各種センサの開発研究とこれらを用いた圃場性能のコンピュータ計測システムなどの検討を行ってきた^{2~8)}。本報では、主要なプラウイング性能因子である土の抵抗、耕深、耕幅、作業速度及び土壌硬度などを測定するセンサの開発について報告する。この場合、センサが具備すべき基本的な条件は、プラウの実作動部に近接した場所での情報を移動しながら連続に出力することである。

試作センサの構造と作用

第1表に試作センサの概要を示した。土壤抵抗センサは、市販ロードセルを利用してプラウにかかる三次元

第1表 センサの概要

測定因子	トランスデューサ	摘 要
土壤抵抗	ひずみゲージ	引張式、最大10kN、 入出力抵抗350Ω±1%
耕 深	ひずみゲージ	引張・変位式、 出力2 V/200mm
耕 幅	ポテンショメータ	角度変位出力式、 有効電気角355°
作業速度	ホール I C	単位回転当り12パルス
土壤硬度	ひずみゲージ	引張・固定式、4ゲージ、 最大4 kN



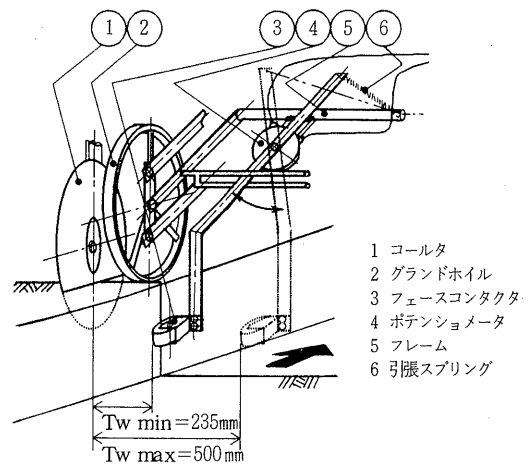
第1図 耕深及び作業速度センサ

力のうち水平抵抗（進行方向の分力）のみが検出される構造のものとして供試した。角型のプラウビームが4側面に装置した玉軸受列を持つ支持筒で支えられ、実作動ではその支持筒が水平に保持されるよう調整される。

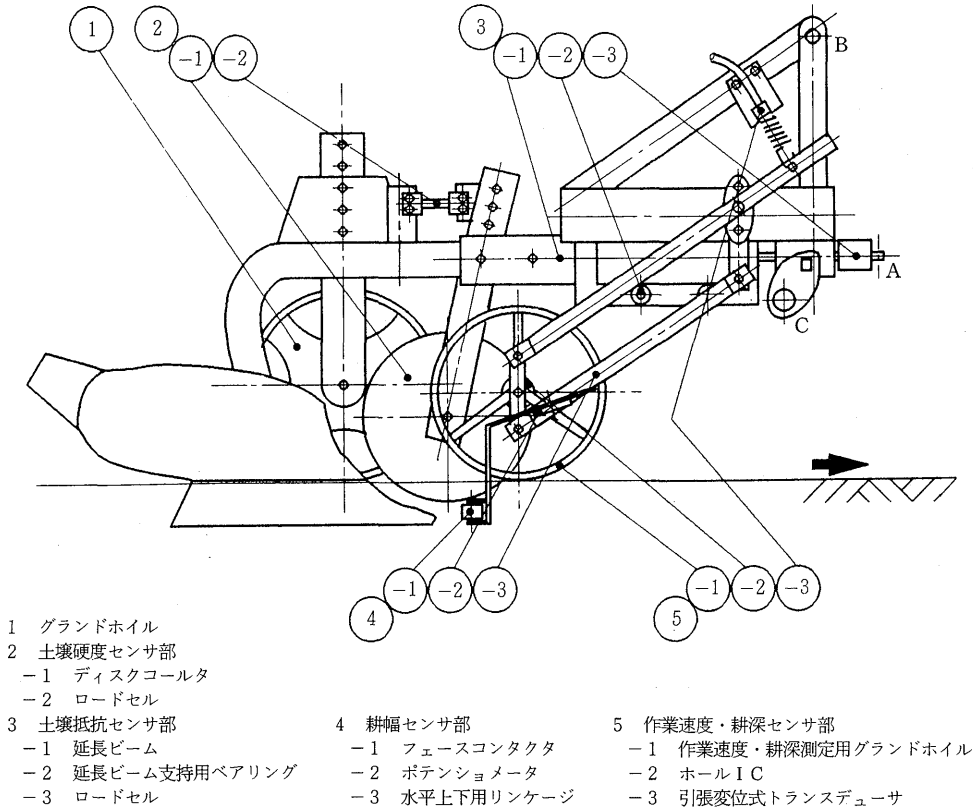
耕深センサは、第1図に示すようにプラウ本体フレームに取り付けられた4節リンクージの1節である耕幅センサ支持バーに装置したグランドホイールの上下で測定する。試作したセンサでは、同図で示したように耕深Tdの最大が340mm、同様に最小が60mmの範囲を測定する。リンクの延長端に引張変位式のトランスデューサを装着している。これは著者らがロータリ耕うんの耕深やトラクタ車輪沈下深さを測定するために開発したトランスデューサ²⁾を流用したもので、引張変位の範囲はレバー比の変更で広汎に適応させることが可能である。

第1図には、グランドホイール軸部にホール効果で回転数を検知するためのホールICを装着した作業速度センサも示している。グランドホイール1回転で12のパルスを出力する構造のもので、このパルスがF-V変換され作業速度信号としてコンピュータに取り込まれる。

第2図は耕幅センサの構造と機能を示すものである。耕幅センサ支持バーに固定されたフレームにポテンショメータを取り付け、このポテンショメータ軸にフェースコンタクタを持つアームを固定している。前行程のプラウイングで作られたフェースにフェースコンタクタが常に接するよう引張スプリングでフェースコンタクタのA



第2図 耕幅センサ



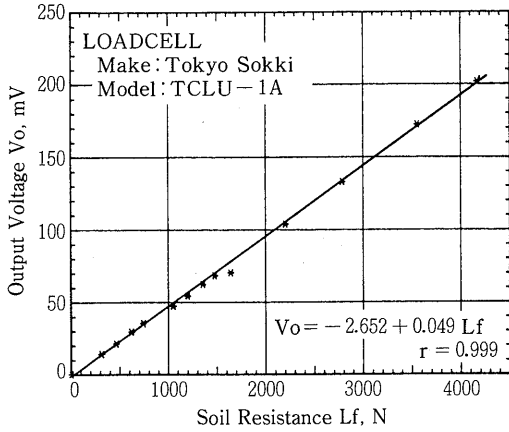
第3図 プラウイング部と各種センサの配置

ームを引張る。図示のとおりコルタからのフェースコンタクタ接触面までの距離変化を、ポテンショメータ軸の回転角にともなう電気変化に置換している。本試作センサでは耕幅 T_w は235~500mmを測定する構造である。第1図で示したグランドホイール支持の4節リンケージは、耕深の変化によってグランドホイールが上下動しても耕幅センサ支持バーが常に地面に垂直状態を保って耕幅センサを作動させるためのものである。このことによってフェースに対するフェースコンタクタの接触状態が一定に保たれる。なお、フェースコンタクタの地表面からの作用深さに変化はなく、当初の構成上の寸法取りによって定まる。本耕幅センサでは地表よりおよそ100mmの位置で作動する。

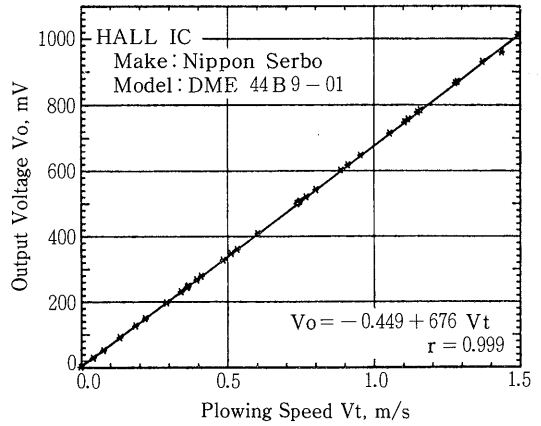
第3図は実作動状態を示すものである。この図に土壌硬度センサとして、ディスクコルタが受ける土の抵抗をひずみゲージをちょう付したロードセルで検知する方

法を示した。なお、土壌抵抗を測定するロードセルの一端(A部)は、トラクタボディのヒッチに連結され、トップリンクはB部、ローリンクはC部で連結される。

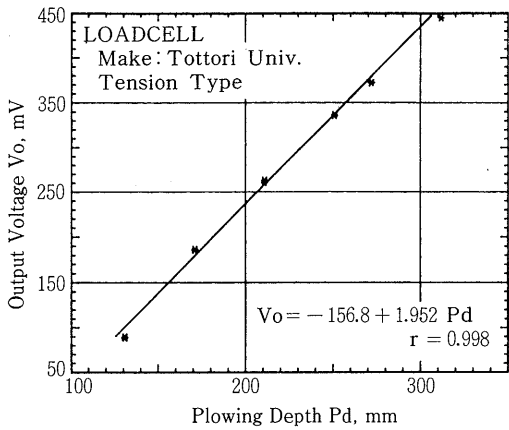
以上のように、プラウイング性能因子5種類を測定するための各センサを比較的コンパクトに構成し配置することができた。特に、グランドホイールとコルタはプラウ本体に附随したもので、新たに設定したセンサ機具は作業速度・耕深測定用グランドホイールとこれに取りつけた耕幅センサ、及びプラウビーム前方に設けた土壌抵抗測定用の機具である。配置で留意した点は、プラウ本体の作動部に近接し、プラウイングによって移動するファロスライスに影響されないプラウ前方のヒルに、前述の作業速度・耕深測定用グランドホイールを位置させることであった。なお、プラウ本体は、14インチボトムプラウである。



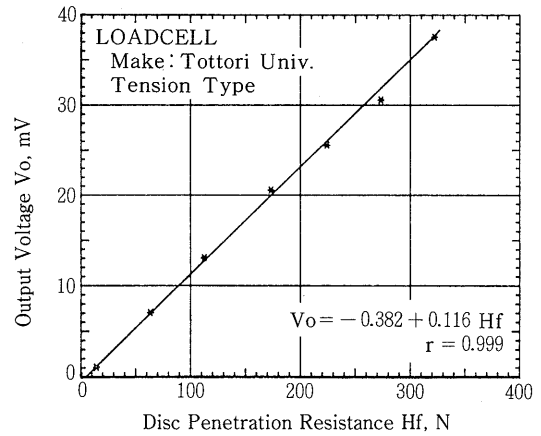
第4図 土壤抵抗センサの出力線図



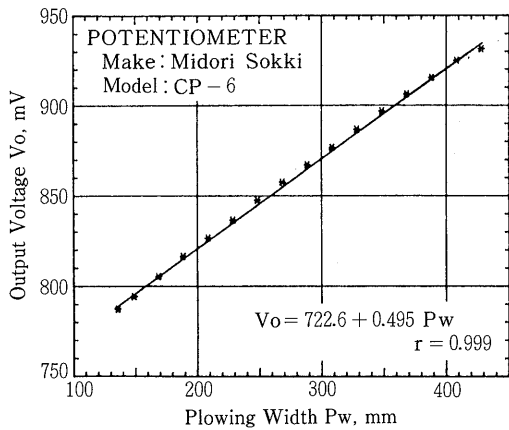
第7図 作業速度センサの出力線図



第5図 耕深センサの出力線図



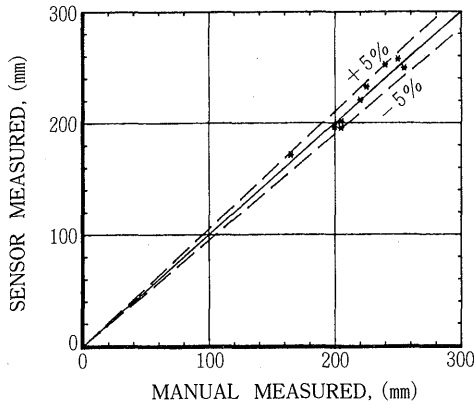
第8図 土壤硬度センサの出力線図



第6図 耕幅センサの出力線図

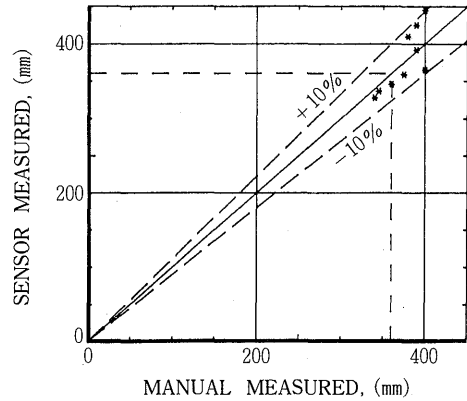
第2表 センサ出力値 V_o (mV)の校正式

測定因子	校正式	
土壤抵抗 L_f (N)	$L_f = 68 + 20.5V_o$	$r = 0.999$
耕 深 P_d (mm)	$P_d = 80.9 + 0.511V_o$	0.998
耕 幅 P_w (mm)	$P_w = -1452 + 2.01V_o$	0.999
作業速度 V_t (m/s)	$V_t = 1.431 \times 10^{-5} + 1.484 \times 10^{-3}V_o$	1.000
土壤硬度 H_f (N)	$H_f = 3.575 + 8.591V_o$	0.999



DATE 1989/12/3
 Location Tottori Univ.
 Field Silty Loam (UPLAND)
 Plastic Limit 35.8%
 Liquid Limit 45.0%
 Water Content 30.8-33.4%
 Wet Density 1.44-1.76 (g/cm³)
 PLOW MAKE, MODEL STAR, B. PLOW (14in)
 SENSOR Loadcell, Tention type

第9図 耕深のセンサ測定値と人手測定値の比較



DATE 1989/12/3
 Location Tottori Univ.
 Field Silty Loam (UPLAND)
 Plastic Limit 35.8%
 Liquid Limit 45.0%
 Water Content 30.8-33.4%
 Wet Density 1.44-1.76 (g/cm³)
 PLOW MAKE, MODEL STAR, B. PLOW (14in)
 SENSOR Potentiometer

第10図 耕幅のセンサ測定値と人手測定値の比較

センサの出力線図

本研究で設定したセンサからの出力は、最大1.5Vとしセンサ感度もその範囲で調整した。各センサの台上テストにおける出力線図が第4, 5, 6, 7, 8図である。いずれの線図も高い相関の一次式で表示され、非直線性は認められない結果を示している。

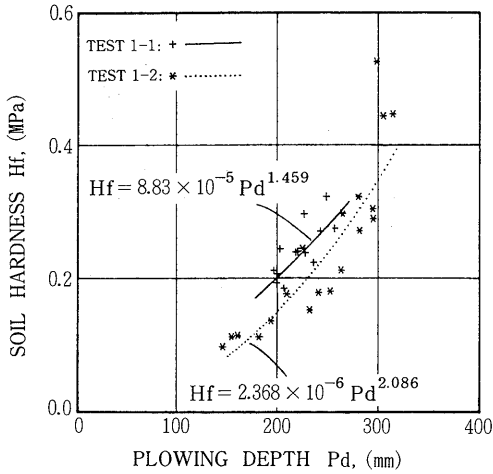
各センサの出力値Voから実際値を求める校正式を第2表に示した。実際の圃場測定においては、台上の静的状態とことなり動移動での測定となること、特に構造上のひずみなども加わり前出の校正式を更に補正する必要が生ずる。第9図と第10図はそれぞれ耕深と耕幅のセンサ測定値と人手測定との比較である。これらの図のセンサ測定値は第2表の校正式を更に修正したもので表示した値である。第10図の耕幅測定比較では、広幅の状態に変動する結果を示している。14インチのブラウサイズからみるとおよそ1.07倍の耕幅状態がそれである。なお、同図の鎖線部が14インチ耕幅相当部を示したものである。耕深センサについては、トラクタ本体あるいはヒッチングからの外乱現象の関与は認められなかったが、耕幅セ

ンサにおいては、主としてファロを走行するトラクタタイヤのハイラゲ接地における横振れが外乱として関与する傾向がみられた。特に耕深増によって土の抵抗が大となり、トラクタ駆動輪のすべり発生がそれを増大するようである。これが耕幅を変動させる第1外乱要因であり、実際の耕幅もかなり変動しているのが認められた。

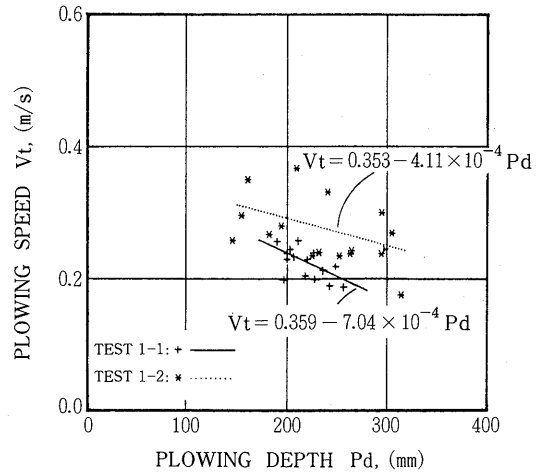
性能因子間の関連測定例

開発したセンサの利用によって性能因子間の関連を測定した例を、土壌硬度—耕深並びに作業速度—耕深線図で示したのが第11図と第12図である。第11図の土壌硬度は、土壌硬度センサであるブラウコールタとブラウポイントとの間隙を80mmに設定しているため、実耕深より80mm上方の土の硬さを示していることになる。なお、土壌硬度センサからの出力電圧は、ディスク貫入抵抗(N)に換算され、更に耕深データを利用してコンピュータ計算されたディスク作用断面積当りの貫入抵抗(MPa)をもって土壌硬度Hf(MPa)としている。

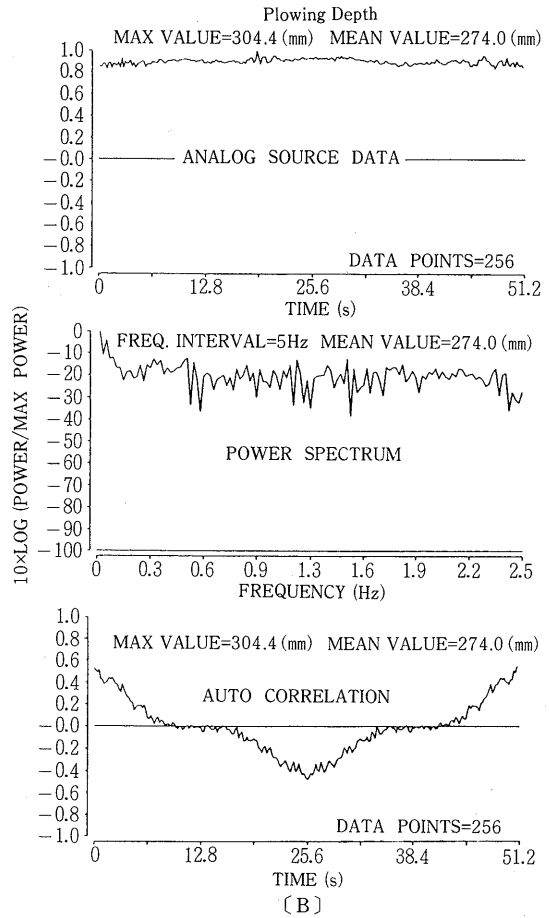
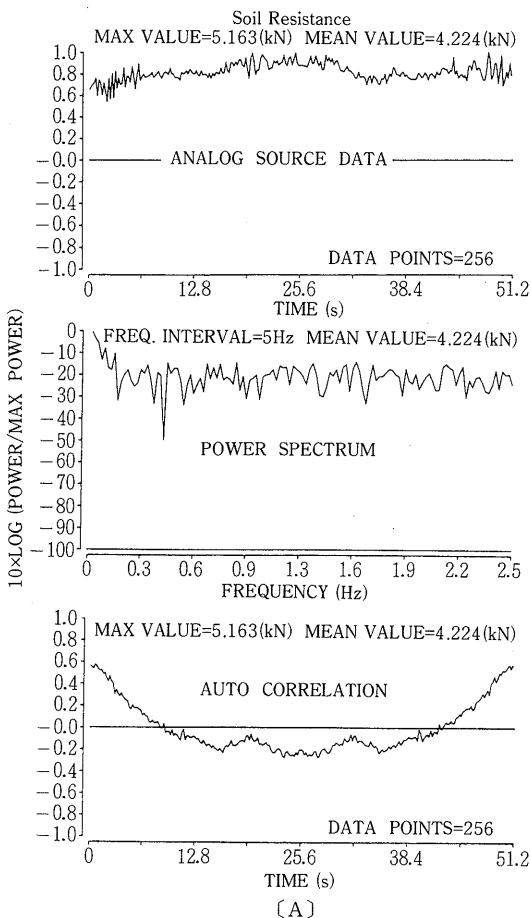
一般に円錐貫入抵抗で表示される土壌硬度は、深さのべき乗に比例して増加する線図とされ、べき乗値はおよ



第11図 土壤硬度—耕深線図



第12図 作業速度—耕深線図



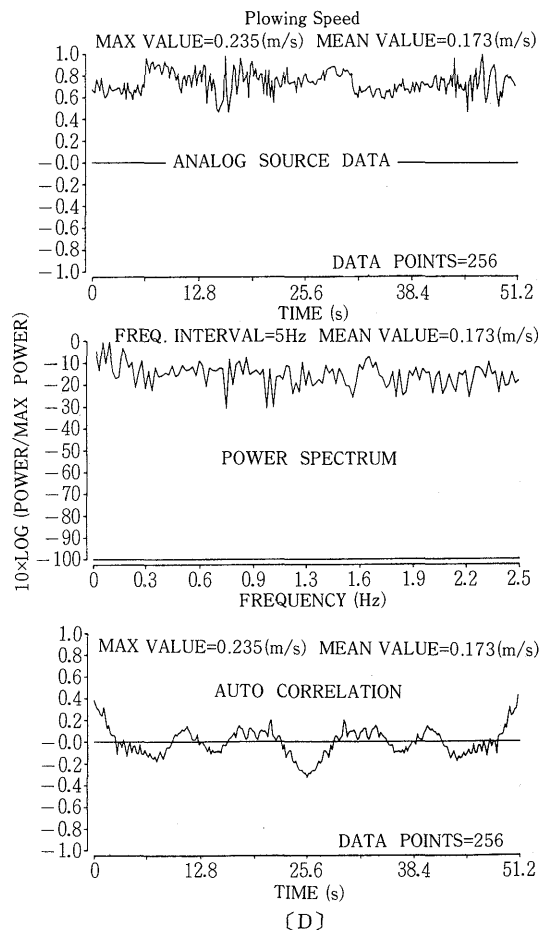
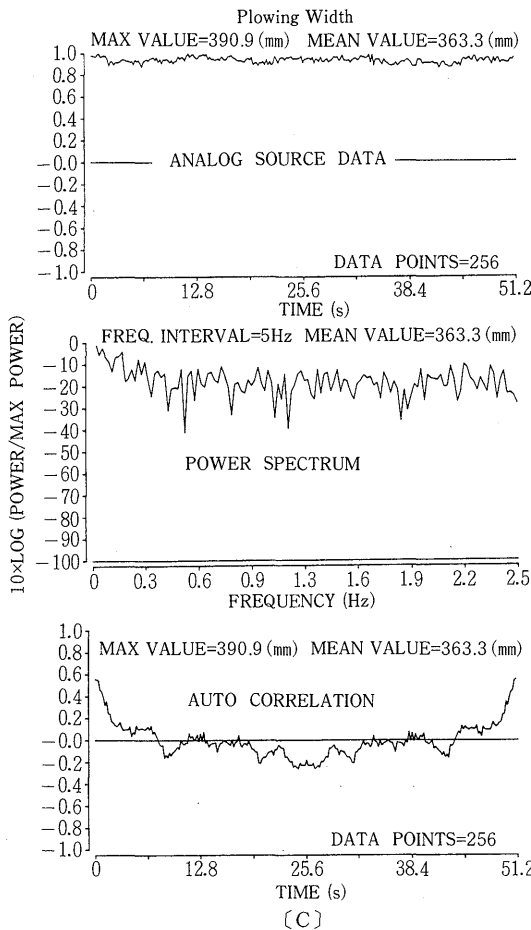
第13-1図 センサの出力波形解析

を2.0前後であるとする報告が多い。第11図で示した結果もこの定説と大差はなく、既報の著者らの結果^{5,6)}と同様にディスク貫入抵抗と円錐貫入抵抗との近似性を認めることができる。

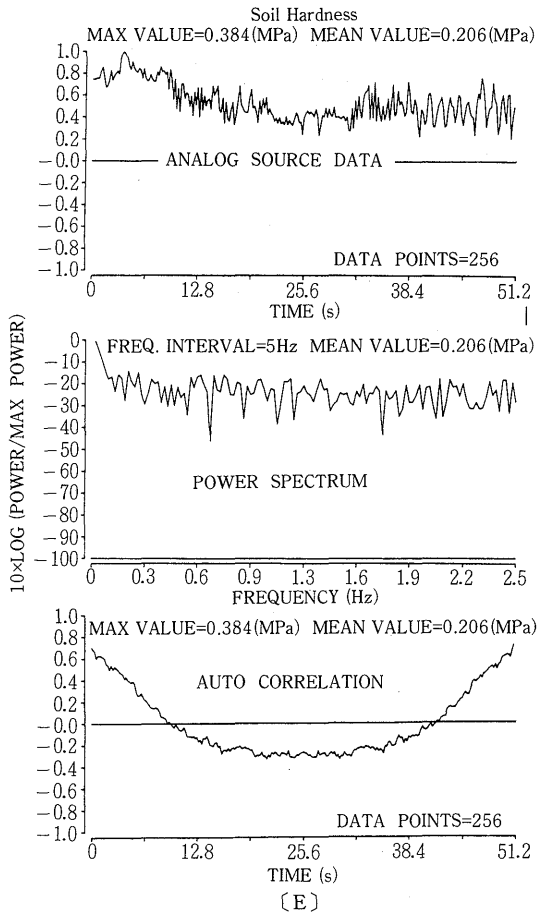
第12図は、耕深の変化とブラウイングの速度との関連をみたものである。耕深の増加は土壤抵抗の増加となるから、トラクタ駆動輪のすべりが大となり、作業速度の低下を現象したとみられる。前第11図で示されているとおりテスト1-1がテスト1-2の圃場より硬度が大で、したがってテスト1-1がテスト1-2より相対的に低い作業速度となっている。ただし、前第11図が耕深の増加に対して土壤硬度が二次的に大となる線図であるが、第12図では耕深の変化に対して作業速度の変化を一次的な関係として示している。因子間の関連性能については、更に詳細な検討を必要とする。

センサの実働波形

第13-1, 13-2及び13-3図にセンサ5種類からの実働波形を示した。〔A〕は土壤抵抗, 〔B〕は耕深, 〔C〕は耕幅, 〔D〕は作業速度, 〔E〕が土壤硬度センサ出力で、それぞれの原波形、パワースペクトル及び自己相関係数を示した。この波形処理は、圃場の測定データをデータレコーダに収録し、室内でコンピュータ処理し描出させたものである。処理プログラムは、著者らが開発したもので、これまで報告したコンピュータ計測関連で使用したものをブラウイング性能計測用にアレンジした。いずれの波形も、同時測定のもので、耕深と耕幅並びに作業速度の三つの作業条件は同一、変化する因子は同一圃場内での土壤硬度にみられるが、従属因子の土壤抵抗は、必ずしも変動因子に呼応した波形とはなっ



第13-2図 センサの出力波形解析



第13-3図 センサの出力波形解析

いない。プラウイングの条件としては耕深や耕幅は、故意に操作しない限りでは定常性を持続するから原波形の変動が少ない。ただし、耕幅については、ランダムな変動の中に周期性の変動が持続して表われている。これは既述のセンサ出力線図で述べた外乱要因そのものではないが、ひん度として多少緩和された形に変わり周期成分の原因となっている。耕深の波形及び土壤硬度の波形には、周期成分が認められず、特に土壤硬度の高いランダム性の持続がみられる。作業速度は土壤抵抗の大小によって変動することを第12図が示した結果から述べたが、ここでもその傾向がみられ、結果としてランダムな変動と周期成分が合成された線図の自己相関係数を示している。変動の振幅と周期がかなり明確に表われている。

摘 要

トラクタのけん引性能³⁾やロータリ耕うん性能⁴⁾のコンピュータ計測に続き、プラウイング性能についてもコンピュータによるリアルタイム処理の計測を試みた。本報では、プラウイング性能に関与する主要因子5種類を計測するセンサの開発について述べた。移動計測する耕幅センサは他に類例のない構成のもので、限られたプラウ本体の周辺に、他のセンサと複合して構成し装置することができた。

コンピュータ計測用センサには、同期した同一機能位置での連続した測定が条件となる。センサ素子もこのような条件から選定し、基本性能線図に高い相関の直線性を確認した。更に圃場での作動、主因子関連性能、並びに実働収録データ再生によるセンサ出力波形について解析した。

文 献

- 1) Chancellor, W. and Zang, N. : Automatic wheel-slip control for tractors. *Transactions of the ASAE*, **32** 17-22 (1989)
- 2) 小松 實・田中 孝 : ロータリ耕うん機による整地耕うん (第4報). *農業機械学会誌*, **35** 21-24 (1973)
- 3) 小松 實・広田幸人・岡崎充之 : フィールドテストにおけるコンピュータ計測 (第1報). *農業機械学会誌*, **48** 103-106 (1986)
- 4) 小松 實・岡崎充之・広田幸人 : フィールドテストにおけるコンピュータ計測 (第2報). *農業機械学会誌*, **48** 242-246 (1986)
- 5) 小松 實・中尾 浩 : フィールドテストにおけるコンピュータ計測 (第3報). *農業機械学会誌*, **49** 493-496 (1987)
- 6) 小松 實・加藤 昭・坂本克美 : ソイルパラメータの自動計測システムに関する研究. *鳥大農研報*, **41** 39-46 (1988)
- 7) 小松 實・黒川義一・檜原作二 : ソイルパラメータの自動計測(1). *農業機械学会関西支部報*, **66** 27-28 (1989)
- 8) 小松 實・檜原作二・黒川義一 : ソイルパラメータの自動計測(2). *農業機械学会関西支部報*, **66** 29-30 (1989)