

農業機械学会東北支部報

NO. 36 DEC. 1989

平成元年 12 月

目 次

論 説

東北支部の活性化のために (その 2)清水 浩..... 1

研究報告

- トラクタのかじ取りハンドル作用力について.....太田義信..... 3
- 傾斜地用トラクタ (テラトラック TT33) の作業性能 (第 3 報).....嶋田浩・本橋罔司・田中勝千..... 9
- 傾斜地用トラクタ (テラトラック TT33) の作業性能 (第 4 報).....田中勝千・本橋罔司・嶋田浩..... 15
- 農用作業車の動的側方転倒に関する研究.....高橋照夫・武田太一・西川裕之..... 19
- 車両の低速時の運動と追跡曲線.....鳥巢 諒..... 23
- その場反転プラウに関する研究 I).....上出順一・王 世学..... 29
- スピードプレーヤの騒音低減に関する研究 (第 2 報)福地 博・金須正幸・加藤弘道..... 35
- 小麦乾燥での水分むらとこれに起因する水分計の精度.....西山喜雄・水沢秀一..... 39
- トレーラ輪に操舵機構を持つ 2 輪トレーラ系の基礎方程式について.....鳥巢諒・武田純一・伴野達也..... 45
- 大規模稲作経営の農業機械化について.....武田純一・伴野達也..... 51
- 拡張円形分力計および八角形分力計の応力特性.....広間達夫・太田義信..... 57
- メカトロニクス教育用の簡易ロボットアームの製作.....小林由喜也..... 63
- 大底面積槽での有機物発酵過程の研究.....呉星五・琵琶坂育雄・清水浩..... 69
- 生ごみコンポスト化装置の実用研究.....清水 浩・高木良太..... 73
- 農用トラクタ機関の出力制御に関する研究.....高橋照夫・武田太一・落合賢一..... 79
- レーザ光利用による水田の自動均平化技術の開発 (第 3 報)
木村勝一・今園支和・藤井清信・坂上修..... 85
- 自動走行管理機の開発 (第 2 報)大下泰生・古川嗣彦・屋代幹雄・矢治幸夫..... 89
- シェートソルガム用長切り収穫機の開発.....矢治幸夫・古川嗣彦・屋代幹雄・大下泰生..... 95
- シェートソルガム茎葉分離・搾汁装置 (1 号機) の開発について
屋代幹雄・古川嗣彦・大下泰生・矢治幸夫.....101
- 簡易ハイドロボニクス装置による水稻育苗の可能性について
屋代幹雄・古川嗣彦・大下泰生・矢治幸夫.....105
- ソイルブロックマシンによるレタスの育苗.....鶴田正明・荻原武雄・小田原和弘.....109
- 福島県における降水量からみた作業期間の地域的特徴.....荒川市郎.....113
- シンポジウム.....農業機械におけるハイテク利用.....117
- 東北地域における農業機械化研究の歩み—第 10 回—.....福島県農試・山形県農試・秋田県農試.....133
- 支部会記事.....139
- 団体賛助会員名簿および大学・試験研究機関一覧.....146

東北支部の活性化のために (その2)

清水 浩*

Activation for the Tohoku Branch of JSAM (Part 2)

Hiroshi SHIMIZU*

図らずも今回、再び支部長をお受けすることとなった。至らぬところ多いとは思うけれど、規約では再選までとなっているので、あと3年間、支部のお世話をさせて載きます。丁度、岩手大学を停年となるまでなので、そこで後進へ途を開くべく、微力を尽くします。

思えば、初回にお引き受けした時点の支部会は正に深刻な転機にあった。それは農機の置かれた社会的な立場の変化に起因する危機であったとみえた。それまでの農機学会は産業界躍進の波に乗り、農村への機械化の急激な浸透を背景として、時代の寵児の如く我が世の春をおう歌できたようであった。行政も機械化へ相応の比重を置いたので、その上に乗った学会運営は安楽であった。親睦会的な意味合いを含めて、派手やかに実施してきた趣きがあったと記憶する。しかし、その春の時代が永遠に続くことはない。今や秋を経て冬の時代へ向かわんとしているようである。日毎に寒さを増す中で、冬への備えなき者が戸惑ったという時点が、丁度、その転機と呼ぶ時期であったろう。

支部会は、この3年間で備えが一応できた。東北農試へ全面的に負んぶしていた事務局は、各大学が協力して支援する体制へ転換できた。支部大会開催県へ、とくにその県農試へ過大な負担をお掛けしていた従来の慣行は、他の応援で負担軽減する体制が確立できた。何とかこれで、県の方々にも継続してお付き合い載ける支部会へと転換できたように思う。

次の課題は、この冬を乗り越えて、春での飛躍を期待し準備することである。備え有れば冬もまた楽しであろう。体制を整えて支部会は、これからますます厳しさを増すと予測される冬の時代でも有効に活躍を続けて行くのだが、やがて迎える新春で飛躍できるように、いや、春を無事に迎え得るように、同じ志を抱く支部会員は協力して役割を果たさねばならない。言わずもがなではあるけれども、それは次のように要約できるだろう。あるいは、他の積極的なご意見が有ればどンドン申し出て、活力有る支部会へと育て上げて載きたい。

1) 農業あつての農機研究

この標題は言わば当然のことと思う。しかし連結し難いところに問題があった。農試は地域農業へ役立つ研究をしているのだが、その成果が十分に評価されぬところから人員・予算の圧縮を受けつつあると見える。大学は直接の影響が少ないけれども、苦しい立場へ寄せられたことに変わりはない。

元来、研究はあくまで個人の自由である。各人が重要と信じ、興味を感じる課題へ熱中するのが研究者の信条である。しかし、結果として農業の活性化へ貢献できなければ、社会的役割を達し得ぬだけでなく、自己の置かれた環境も悪化することとなる。

要するに、問題は如何なる研究が農業の活性化へ貢献できるかである。言うは易いが、その判断は極めて難しい。支部会員の多くは工学系

* 農機学会東北支部長、岩手大学農学部

など理学の狭い専門に立脚しているのです、総合的な判断は自己の学問領域の枠外だからだ。

一人一人の守備する専門領域は狭小であっても、支部会として集えし補填し合って領域を拡大すれば、総合的な判断を科学的に誘導できるはずである。学会はその役割を果たして行くべきだと、私はかねがね思っている。どうやってその効果を発揮するのか、支部会運営上で工夫を凝らして行こうけれども、その点をご理解の上、ご協力願いたい。

2) 産業界の積極的参加

学会は得てして大学人に片寄った場になっている。東北支部会は農試の人達の多数の積極的参加を得ていて、それは立派な伝統と受け取れて継承したい。それは当然として、農機業界や農協・農民をも含む産業界全般からの積極的な参加をも実現したいのだ。

上項に掲げた農業へ役立つ研究のためには、現場で活躍する産業界との接触がぜひ必要だからである。産業界の需要に応え得る学会であることが求められているからなのだ。

産学協同は学会の悲願であるが、なかなか実現し難い。それは産の方に学会への魅力が乏しいからであり、なかなか難しい問題なのである。それが、今年のシンポジウムで農機業界からの積極的参加が実現できたのは、新製品紹介の場にもなっていたからと思う。その結果は、学会員へも新鮮な知見を供与できたであろうから、一挙両得であった。手を変え品を変えて、今後も試みて行きたい。

3) 支部報の役割

支部報は編集幹事のご努力を得て、見違えるように充実し整備された。本部報では論文形式の細かい審査がますます厳格になって、気安く出し難くなってきた一方で、支部報は日頃の貴

重な研究成果を死蔵せずに発表できる場として、不可欠な存在を持ってきたと思う。形式よりも内容なのである。しかし、発表した成果の権威も同時に保ち得るように、編集には一層の工夫と努力をお願いした。そのような支部報の維持は、支部の一つの存在価値なのである。

大学・農試などの研究者には論文発表の機会が支部報の価値であるけれども、産業界の人達は必ずしも同じ価値を求めてはいない。即戦の効果を求めるのが通例であろう。支部報は比較的その需要にも応え得る研究内容を備えているのだけれども、もっと積極的に応えて行く工夫が必要と思うのだ。

産業界の人達に実践の手段として支部報を利用してもらうための工夫である。例えば、業界が開発した新製品紹介、その利用試験結果、機械化農業の実例発表、その評価・討論など、基礎的な研究成果の報告と並列して掲載できたなら良いだろう。ご理解を得て順次に試みて行きたい。

4) 連合大学院博士過程の新設

今回、東北3大学の連合で大学院博士過程を設置できる運びとなった。これは一つの朗報である。東北地区の農機研究者へ論文博士の途を地元でお世話できることとなる。

とは言え具体的にそうできるまでには、まだ過程を要することなのだけれども、その途が開かれたことで、支部としての連帯は一段と比重を増すだろう。そのお世話が充分に果たせ得るように、大学側も体制を一層に充実させる必要があるけれども、支部会員が立派な研究を蓄積して大勢の新博士を輩出し、支部活動がますます活性化することに期待するのである。

—以上—

トラクタのかじ取りハンドル作用力について

太田義信*

Force Acting on the Steering Wheel during Operation of Tractor

Yoshinobu OTA*

Abstract

A measuring instrument was developed to know the three components of force on the steering wheel. The relationship between the force on the steering wheel and the pedal operation on the tractor was investigated by using this measuring instrument.

The experimental results showed that the downward force on the steering wheel exerted a fixed value at about 25 N and the backward force was usually increased as the tilting angle of backrest was increased. Furthermore, the results showed that the value was small during the operator kept looking ahead and depressing of the pedal was finished. The downward force on the steering wheel was changed little during the individual pedal was pressed down. The force on the steering wheel was changed rapidly to support the leg motion of the operator in a short time when the right and left pedals were simultaneously pressed down.

1. はじめに

トラクタ運転操作時の運転者の動作を運動学的に解明しようとする場合、運転席回りの作用力やペダル踏力の測定ばかりでなく、運転者が常に保持しているかじ取りハンドルへの作用力についての測定も必要となる。

かじ取りハンドルへの作用力には、トラクタの操向操縦のためにかじ取りハンドルを回す時の操舵力と、トラクタの進行方向を保持する場合及び地面の凹凸によるトラクタのゆれやペダル操作において、運転者の身体を支えるためにかじ取りハンドルを握っていてハンドルに作用する力とがある。このような場合にかじ取りハンドルに作用する力を「かじ取りハンドル作用力」と名付ける。本報では、かじ取りハンドル作用力の測定法とペダル踏み込み動作に伴うかじ取りハンドル作用力について検討した。

2. 実験装置及び実験方法

かじ取りハンドル作用力は、直角座標系で3

軸方向成分に分ければ、トラクタ進行方向を正とするX軸方向成分は H_x 、進行方向と直角で右側を正とするY軸方向成分は H_y 、及び上下方向で下方を正とするZ軸方向成分は H_z となる。

これら3分力の測定装置は、運転者がかじ取りハンドルを操作することによってハンドル外周に生じる曲げとねじりモーメントが、3分力検出部の出力に干渉しないように、出来るだけハンドルに近い位置に取り付けることが肝要である。そのため平面形状の3分力計が望まれる。

本報では G. Krick が車輪表面の3方向力を測定するのに用いた割り円環型を採用して¹⁾²⁾、図1のような直径250mmの割り円環を試作した。この円環外側の直交する2方向に、2ゲージ法によるひずみゲージを張り付けて、X軸及びY軸方向成分の2分力を検出することとした。Z軸方向成分の検出には、外径45mmの円環型ロードセルを用いた。割り円環の中央横ビームは、かじ取りハンドルを取り付けるため

* 岩手大学農学部
Faculty of Agriculture, Iwate Univ.

に剛性を持たせたので、Z軸方向成分は横ビームに張り付けたひずみゲージ部では、高感度のひずみ出力が得られなかった。

3分力計の直交軸の1軸方向に作用力を加えると、他の2軸分力検出部においても若干のひずみ出力が生じる。それらを1次式の最小二乗法を用いて、次のように表した。

X軸方向作用力 H_X については、

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{XX} &= A_1 \cdot H_X + B_1 \\ \epsilon_{YX} &= A_2 \cdot H_X + B_2 \\ \epsilon_{ZX} &= A_3 \cdot H_X + B_3 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Y軸方向作用力 H_Y については、

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{XY} &= A_4 \cdot H_Y + B_4 \\ \epsilon_{YY} &= A_5 \cdot H_Y + B_5 \\ \epsilon_{ZY} &= A_6 \cdot H_Y + B_6 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Z軸方向作用力 H_Z については、

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{XZ} &= A_7 \cdot H_Z + B_7 \\ \epsilon_{YZ} &= A_8 \cdot H_Z + B_8 \\ \epsilon_{ZZ} &= A_9 \cdot H_Z + B_9 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

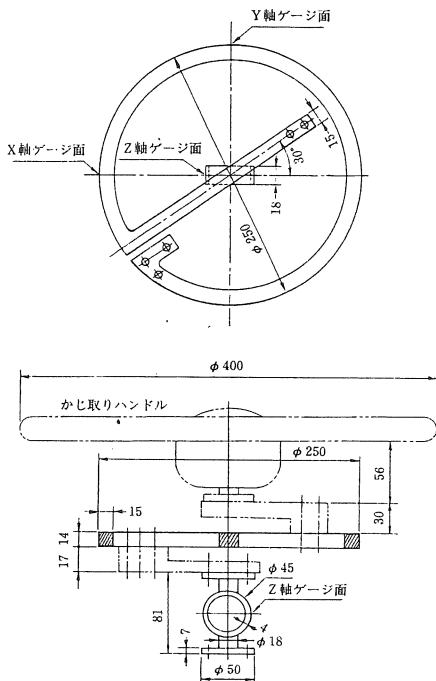


図1 かじ取りハンドル3分力計

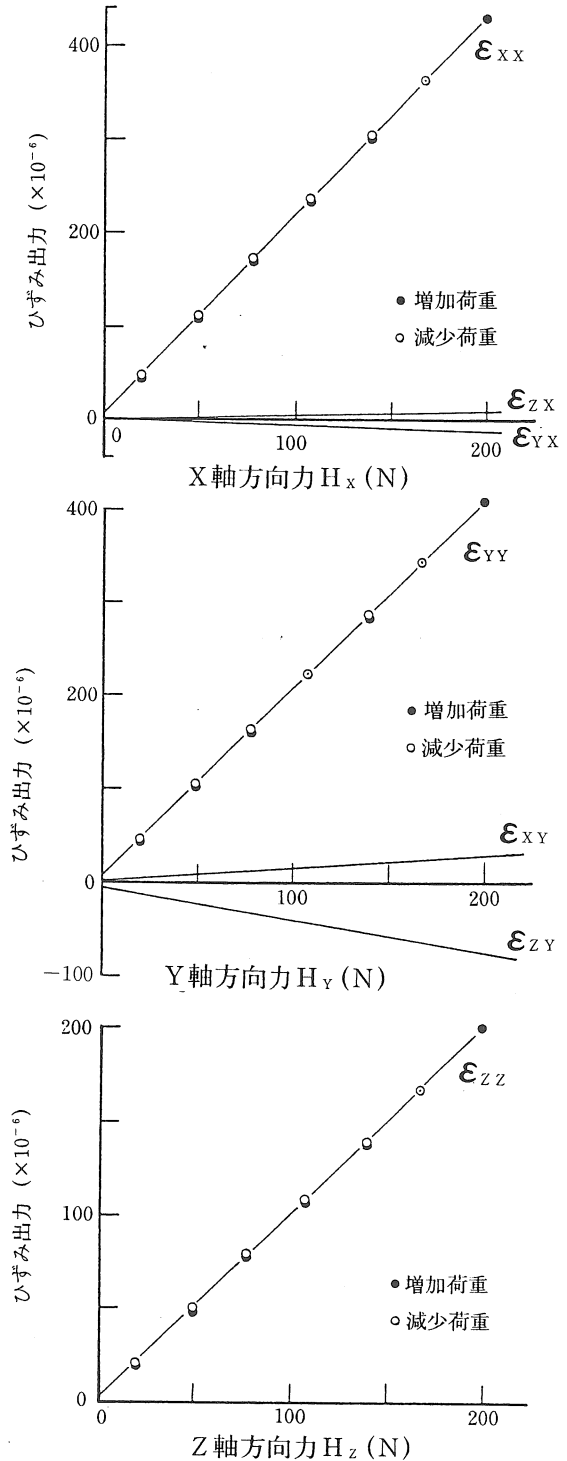


図2 かじ取りハンドル3分力計の特性曲線

ここに、 ϵ_{ij} ：各軸方向作用力による各軸方向ひずみ検出部のひずみ量、 $i = X, Y, Z$ ：ひずみ検出部の軸位置、 $j = X, Y, Z$ ：作用力の方向軸

$A_1 \sim A_9$ ：各軸方向作用力の係数

$B_1 \sim B_9$ ：ひずみ量の定数

これらの結果より得られた3分力計の特性曲線を、図2に示した。また、一定負荷に対する3方向ひずみ出力感度をまとめたのが表1であり、この場合に他の方向軸に対する干渉量は³⁾、表2に示した。図2において各軸方向力に対する特性曲線は線形を示しており、最小二乗法で求めた係数による計算は、相対誤差5%以内である。しかし、表1によればX軸及びY軸方向へ負荷した時に、他のひずみ検出部にもひずみが生じており、干渉量でみるとY軸方向力によりZ軸方向ひずみは18%も干渉されることになる。これを補正するために、次のような数学的方法でひずみ出力を処理した。

まず、(1)~(3)式中の同一軸方向ひずみ検出部のひずみ量をまとめると、次のようになる。

表1 かじ取りハンドル3分力計のひずみ出力感度

		荷 重 方 向		
		X	Y	Z
ひずみ	ϵ_x (98 N時)	215.05	14.12	0
出力	ϵ_y (98 N時)	-5.94	201.11	0
($\times 10^{-6}$)	ϵ_z (98 N時)	5.05	-36.98	99.03

表2 かじ取りハンドル3分力計の干渉量

		荷 重 方 向		
		X	Y	Z
干渉量	r_x (%)	—	7.02	0
	r_y (%)	-2.76	—	0
	r_z (%)	2.34	-18.38	—

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= \epsilon_{xx} + \epsilon_{xy} + \epsilon_{xz} \\ \epsilon_y &= \epsilon_{yx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{yz} \\ \epsilon_z &= \epsilon_{zx} + \epsilon_{zy} + \epsilon_{zz} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

さらに整理すると、次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} C_x &\equiv \epsilon_x - (B_1 + B_4 + B_7) \\ C_y &\equiv \epsilon_y - (B_2 + B_5 + B_8) \\ C_z &\equiv \epsilon_z - (B_3 + B_6 + B_9) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

したがって、次のような3元1次連立方程式の形で、ひずみ出力と作用力が表される⁴⁾。

$$A \times \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ C_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

試作したかじ取りハンドル3分力計の実測値によれば、

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & A_4 & A_7 \\ A_2 & A_5 & A_8 \\ A_3 & A_6 & A_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20.770 & 1.320 & 0 \\ -0.740 & 19.725 & 0 \\ 0.443 & -3.307 & 9.767 \end{bmatrix}$$

これらを電算機の援用により Gauss の消去法で解くこととした。そこで供試かじ取りハンドル3分力計に3方向力成分からなる作用力を加え、上記の方法による精度検定を行った。その結果が図3である。上記の計算処理により、垂直力の誤差は10%程の精度となり良好となった。それでもかじ取りハンドルの取り付け部の遊びや若干の曲げモーメントが、ひずみ検出部に影響を及ぼしているため、誤差が生じているものと考えられる。

つぎにトラクタのペダル操作時には、運転者は一般にかじ取りハンドルを握っている。ここではペダル操作時のかじ取りハンドル作用力を測定するために、新井ら⁵⁾により提案された乗用トラクタ運転席回りの諸寸法にほぼ合致する図4のようなモデル運転台を製作した。この台上において表3のような被験者により、正面前方目視の運転姿勢時と左右ペダル踏み込み動作終了時の静的な場合のかじ取りハンドル作用力

と、正面前方目視の運転姿勢からペダルを踏み込み始めて、その動作終了までの動的な場合のかじ取りハンドル作用力を測定した。同時に左右ペダルの踏力は2個の踏力計(容量686 N, 非直線性0.5% F.S., 容量980 N, 非直線性0.1% F.S.)により、運転者足元の床面力はプラットフォーム形ロードセル(400×500 mm, 容量1980 N, 非直線性0.04% F.S.)により測定した⁶⁾。モデル運転台のペダル踏み込み強さは、踏み代30 mmで196 N(20 kgf)の抵抗値を目安にして、左右ペダルに同一の圧縮ばねを用いた。

なお、座席の背もたれ傾斜角(θ)は、静的なペダル踏み込み時には $\theta = 90 \sim 115^\circ$ まで 5° ずつ増加させた場合について、動的なペダル踏み込み時には $\theta = 100^\circ$ に固定して実験を行った。

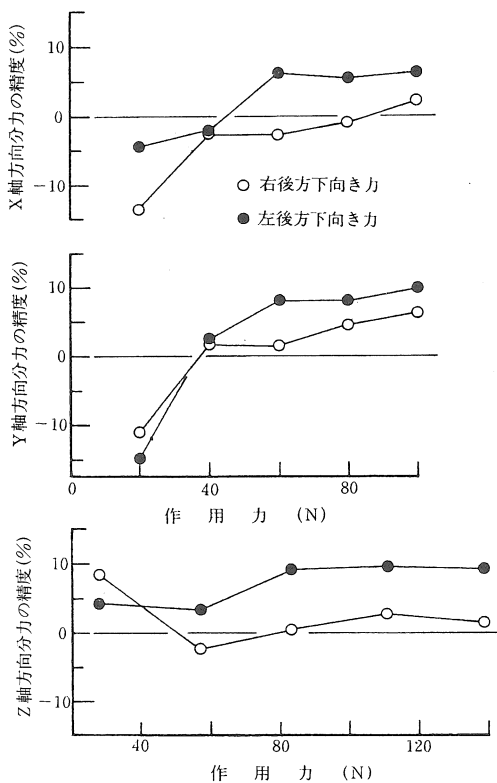


図3 かじ取りハンドル作用力の測定精度

表3 被験者

被験者名	体重(cm)	座高(cm)	体重(kg)	年齢
A	171.0	92.5	69.5	22
B	174.0	91.0	72.5	22
C	164.0	90.5	63.5	26
D	172.0	89.0	67.0	43
平均値	170.3	90.8	68.1	

3. 実験結果と考察

(1) 静的なペダル踏み込みの場合

かじ取りハンドル作用力の変化をベクトルの形で図5に示した。本実験は両手でかじ取りハンドルを保持する運転姿勢で行ったので、左右方向へのハンドル作用力は、ほとんど働いていない。そこで、X-Z平面内のハンドル作用力 H_{xz} の大きさだけを示した。これらの数値は被験者4名の平均値である。

正面前方目視の運転姿勢の場合、かじ取りハンドルを下向きでやや後ろ向きに引く形で保持

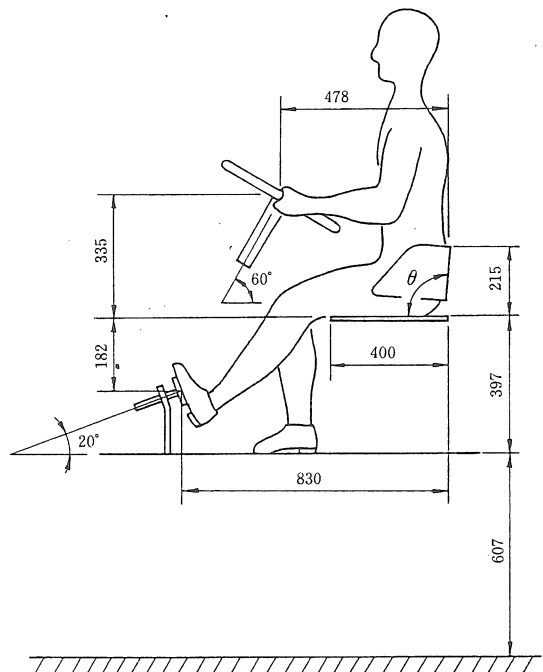


図4 モデル運転台

しており、背もたれ傾斜角が大きくなると、後方力が増してくる。左右単独のペダル踏み込み終了時には、背もたれ傾斜角が増大すると、かじ取りハンドル下方力は減少し、前後力は前向きから後向きへと変化している。左右両ペダル踏み込み終了時にも、単独のペダル踏み込みと同様な傾向が見られる。

これらより、正面前方目視の運転姿勢から左右両ペダル踏み込み動作の終了時まで、かじ取りハンドルは比較的小さな下方力（約 25 N（2.5kgf））で支えられており、背もたれ傾斜角の増大に伴って後方力が僅かに大きくなる。背もたれ傾斜角が 100° までは、ペダル踏み込み終了時にかじ取りハンドルは幾分前方下向きに押出す形となっている。

(2) 動的なペダル踏み込みの場合

片足によるペダル踏み込み動作始めから終了までのかじ取りハンドル作用力、ペダル踏力及び床面力の経時変化の一例を、図 6 及び図 7 に示した。図 6 の右ペダル踏み込みの場合、かじ取りハンドルには、踏み込み前は後方下向き力が働いていたが、ペダル踏み込みにより前方下向き力に変ったことを示している。左足を支えている床面力はあまり減少していない。図 7 は同一被験者による左ペダル踏み込みの場合である。かじ取りハンドル下方力と床面力は図 6 と同様の傾向を示しているが、かじ取りハンドルはペダル踏み込み後も後方に引かれていた点が異なる。これら左右単独のペダル踏み込み動作には、かじ取りハンドル下方力の変化は少なく、僅かに前後方向力が変わることを示している。

左右両ペダルを同時に踏み込んだ場合の測定例を図 8 及び図 9 に示した。図 8 の被験者 A の場合は、両足を床面から離しペダルを踏み出す間、かじ取りハンドルを後方上向きに引く形となっている。他方、図 9 の被験者 D のペダル踏

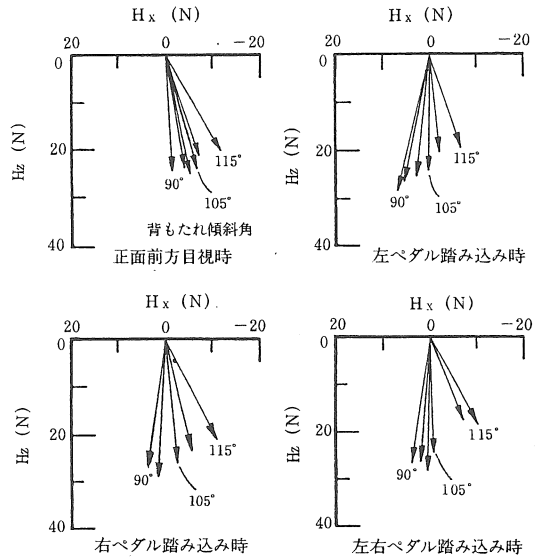


図 5 ペダル踏み込み終了時のかじ取りハンドル作用力

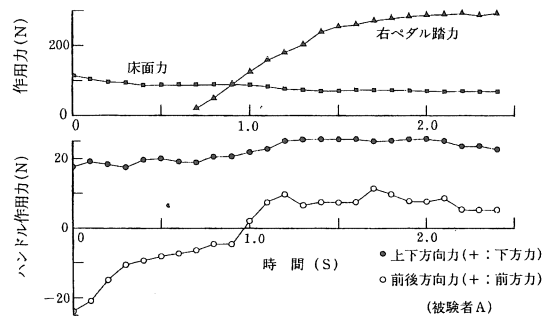


図 6 右ペダル踏み込み時のかじ取りハンドル作用力

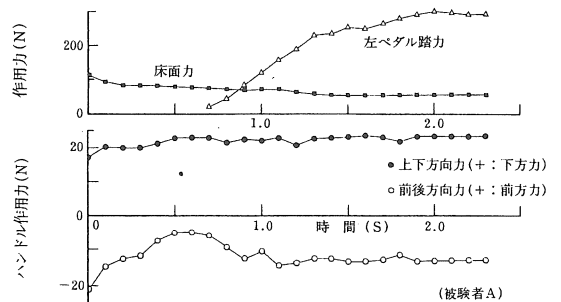


図 7 左ペダル踏み込み時のかじ取りハンドル作用力

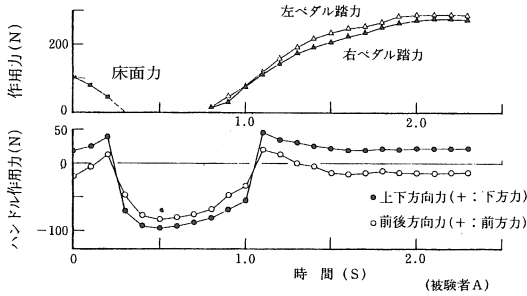


図8 左右両ペダル踏み込み時のかじ取りハンドル作用力(その1)

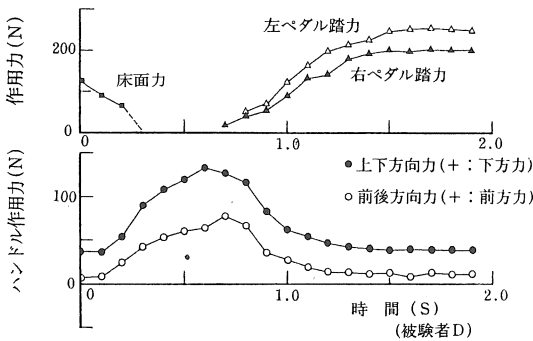


図9 左右両ペダル踏み込み時のかじ取りハンドル作用力(その2)

み込み動作は、前方下向きにハンドルを押し出す形で両足を持ち上げる支えとして、かじ取りハンドルを利用している点が異なっている。

4. まとめ

トラクタ運転操作時に運転者が保持しているかじ取りハンドルに作用する力を測定する3分力計を試作し、それをを用いてペダル踏み込み動作との関係を検討した。

その結果は要約すると、次の通りである。

(1) かじ取りハンドルには、正面前方目視の運転姿勢とペダル踏み込み動作終了時において、約25 N (2.5 kgf)のほぼ一定した下方力が作用しており、前後方向力は背もたれ傾斜角の増加に伴い前方力から後方力へと変化する。

(2) 左右単独のペダル踏み込み動作時には、かじ取りハンドル下方力の変化は少なく、前後

方向力のみ僅かに変わる。左右両ペダル踏み込み時には、運転者が床面から脚を離してペダルを踏み出す短い時間に脚の運動を支えるために、かじ取りハンドル作用力は大きく変化する。

参考文献

- 1) Krick, G. : Radial and shear stress distribution under rigid wheels and pneumatic tires operating on yielding soils with consideration of tire deformation, J. Terramechanics, 6(3) 73 - 98, 1969.
- 2) 笈田 昭 : 小型三軸方向力センサによる装軌車両の履板各部に作用する土の反力の測定, 農機誌 50 (5) 31 - 39, 1988.
- 3) 谷 泰弘, 畑村洋太郎, 長尾高明 : 切削用小形3方向力ロードセルの開発, 日本機械学会論文集 (C編) 48 (432) 1265 - 1274, 1982.
- 4) 木谷 収他 : トラクタ三点ヒッチ用六分力計の開発, 農機誌 47 (4) 514 - 518, 1986.
- 5) 新井清一, 西崎邦夫 : 乗用トラクタに関する人間工学的研究, 農機誌 36 (2) 202 - 212, 1974.
- 6) 太田義信, 広間達夫 : トラクタ運転操作時における座席作用力 (第1報), 農機誌 52 (1) 印刷中

〔閲読者コメント〕ペダル踏み込み時のハンドル作用力は、ペダルの踏み込み方向、背もたれの高さによって変化しないでしょうか。また、被験者によって個人差はないでしょうか。

〔著者回答〕ペダル踏み込み方向は 20° と設定し、背もたれは被験者の第2腰椎付近を支える構造なので、ハンドル作用力の変化は少ないと思われる。2点目は個人差があるので、被験者4名の平均値で示したが、例えば $\theta = 90^\circ$ の正面前目視の場合で、ハンドル作用力は24.1 N, 標準偏差4.2 Nである。

傾斜地用トラクタ (テラトラック TT 33) の作業性能 (第 3 報)

— ラップトップパソコンを用いたけん引性能自動計測システムの試作 —

嶋田 浩*・本橋 暲司*・田中勝千*

Traction Performance of Hillside Tractor, Terratrak TT 33 (part 3)

Development of Auto-Measuring System for Traction Performance applied Lap-Top computer

Hiroshi SHIMADA*, Kuniji MOTOHASHI*, Katsuyuki TANAKA*

I はじめに

は場でのけん引性能試験や傾斜地における走行挙動のリアルタイムな計測とデータ処理を目的とする自動計測システムの試作を行った。本報ではけん引性能試験を例に報告する。一般にロードセルを介した制動用車両などをけん引して試験を行う場合が多い¹⁾。この時のデータを一旦データレコーダに記録したり人力で走行距離や時間を計る場合が多く、現場での即時処理には対応が困難である。また小松ら²⁾のシステムに代表されるように、制動用車両にコンピュータや計装機器類を登載して自動化を図った例も見られる。本システムでは市販のラップトップパソコン(エプソン PC-286 L-H 10以下, LP)を用いたことにより、計装機器および回路構成がコンパクトになり試験車両に登載することができた。後走車両登載型システムと異なり、計測車両が不用なのでけん引性能試験のみならず、実作業時の計測も容易で実用性が高い。また高い周波数域の計測が行えるので、非定常状態においても高精度なデータを得ることができた。

II システムの概要

1. 計測要素と構成機器

供試車両は前報^{3) 4)}までに報告した傾斜地用トラクタ TT 33 である。今回試作したシステムの計測対象は表-1 に示すように、けん引効率

・けん引係数・進行低下率・転がり抵抗の作業量や状態量である。機関出力や燃料消費率などのエンジンに関するデータは対象としていない。計測要素はけん引負荷・各輪毎の駆動トルク・車軸回転速度・走行速度の 4 項目・7 要素、さらに前後輪の動的有効半径の計 5 項目・9 要素とした。

表-1 計測項目・機器一覧

項目	計装機器	備考
けん引負荷	ロードセル	共和電業 LU-2TE (2tf)
駆動トルク	ヒズミゲージ式トルクピックアップ	自作, 4輪別々に測定する
P T O 軸回転数	ロータリエンコーダ	これより車軸回転速度を算出。コバル電子 RMW38 (1024/Rev)
走行距離	第 5 輪	自作 (RMW 38 を使用)
動的有効半径	車軸高変位計	"
---	A/D コンバータ	コンテック AD12-16 A (12 Bit)
---	パルスカウンタ	コンテック CNT 24-A (24 Bit)

1.1 けん引負荷

被けん引車両との間に玉掛け用繊維ベルトを介してセットした市販のロードセルで計測する。この時被けん引車を制動することにより任意なけん引負荷をけん引車両に与える。

1.2 車軸トルク

車軸とタイヤホイールの間に装着した自作の歪ゲージ式トルクピックアップ⁵⁾で全輪についての計測を行う。

1.3 車軸回転数

後部 P T O 軸に取付けたロータリエンコーダで P T O 軸回転数を計測し、これより車軸回転

* 北里大学獣医学産学部

数を算出する。駆動輪回転距離に換算すると計測能は1パルス当り 2.1419×10^{-1} [mm] である。

1.4 走行距離・速度

自作した『第5輪』を写真-1に、その概略を図-1に示す。平行リンクと接地荷重を与えるバネを用いて路面の凹凸に追従できるようにした。第5輪の車軸にロータリエンコーダを取付けて軸回転数を計測する。これより走行速度や距離を算出する。計測能は1パルス当り 1.6475×10^{-1} [mm] であり、実用上何ら問題の無い値と言える。

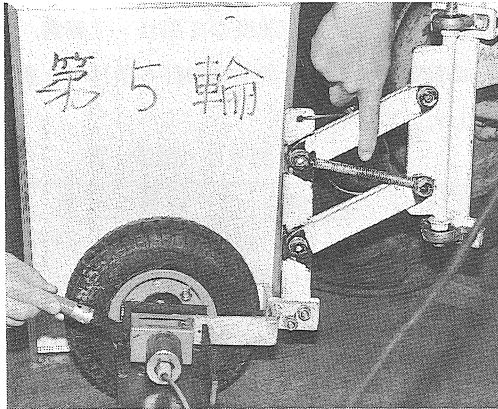


写真-1 自作第5輪

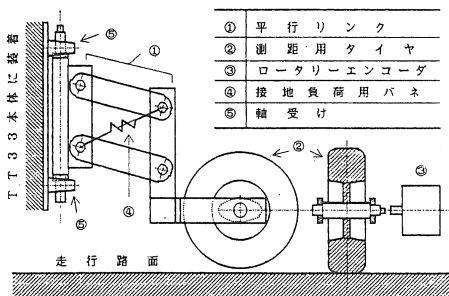


図-1 第5輪概略図

1.5 動的有効半径

ロータリエンコーダを利用した自作の車軸高

変位計を前後車軸それぞれの中央に取付け、走行中の有効半径を計測する。計測能は1パルス当り 2.7612×10^{-1} [mm] である。

2. システム構成

図-2に計測システムの概念図を示す。トルクやけん引負荷のデータをA/Dコンバータボードで、ロータリエンコーダによって得られるPTO軸および第5輪車軸の回転数や動的有効半径のデータをパルスカウンタボードでLPに取り込み、進行低下率・けん引係数・けん引効率などのデータの計算や記録、そしてモニタリングを行うものである。計装類やLPの電源は車両のDC 12Vバッテリーである。LPをオペレータが運転席から操作できる位置にセットした。

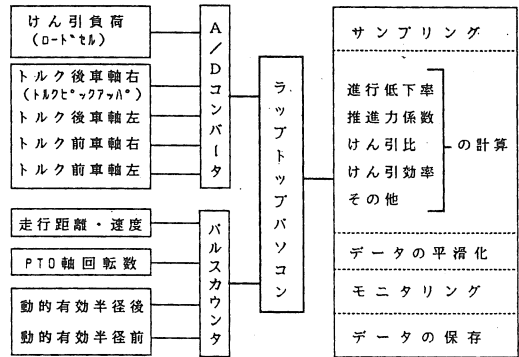


図-2 システム概念図

使用したボード類がLP本体の拡張スロットの規格と異なるため外付けの拡張ユニットボックスを用いた。また本システムではロータリエンコーダと第5輪を用いて測距部分を自動化している。これによりけん引負荷レベルの変動に即応可能となり、1回の走行で進行低下率0~100 [%] のサンプリングができるようになった。最少要員はけん引および被けん引車両のオペレータ2名で済むなど人員的にもかなりの省力化が実現できた。さらにダメージを受ける供試ほ場面積を減すことが可能となった。また本報の

システムに2軸の傾斜計と進行方向計測用ロータリエンコーダを装着することによって傾斜地での計測が可能となる。

3. 計測プログラムの作成

本システムの計測プログラムの作成と実行をMS-DOS ver 3.10の環境下で行った。使用言語はBASIC言語(N 88BASIC (86)ver 5.0)と8086CPUのマシン語(MACRO86 ver 3.0で記述)である。一般にBASIC言語だけでは1[s]以下の周期的な割込み処理は不可能である。特に種類の違う周辺機器を用いた多チャンネルの計測を高い周波数で行う場合はマシン語の使用は不可避である。従って本プログラムでも煩雑で細かい手続きを必要とするA/Dコンバータとパルスカウンタからのデータ取込みに関する基本的な汎用処理ルーチンをマシン語で記述しBASIC言語とリンクした。これによりBASIC上から1コマンドのようにマシン語のデータ取込みルーチンをコールするだけで、前述の取込みが簡単に実行できる。従って同じハードでも多様な計測プログラムを(BASIC+マシン語)で比較的簡単に記述できるようにした。

4. 計測プログラムの機能

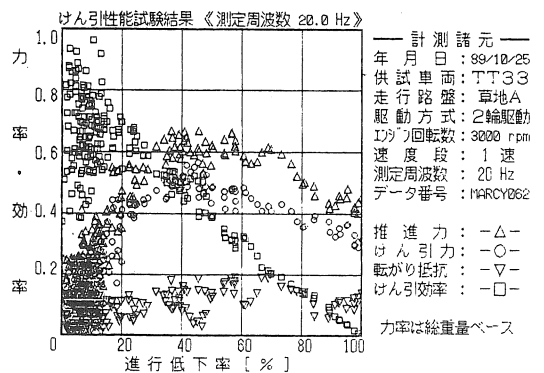
本計測プログラムはサンプリングルーチンと解析ルーチンの2つで構成されている。サンプリングルーチンでは任意に設定した周期でサンプリングを行い、そのインターバル中に推進力などの基本的なデータの計算とグラフ表示によるモニタリングを行っている。適宜グラフの縦・横軸パラメータを選択することもできる。このインターバル中に時間遅れなく処理できるモニタリング内容は設定サンプリング周期により制限される。9計測要素からなるデータ取込みのスルー時間は約200[μs]である。また本ルーチンではサンプリング終了トリガーを、1)

進行低下率が100[%]に達した時、2)設定したサンプリング時間になった時、3)キーボード上の任意なキーを押した時に発生している。ハードが持っている機能として外部トリガーの使用も可能である。サンプリングが終了するとフロッピーディスクまたはハードディスクに計測データを保存し、次のサンプリングに移行する。この時一旦サンプリングルーチンを中断し、解析ルーチンを実行してデータのより詳しいチェックを行うこともできる。解析ルーチンでは、既に保存されているデータの再計算やサンプリングのインターバル中に求めなかったパラメータの計算とそのグラフ表示を行う。さらに単純移動平均法・適応化移動平均法・平滑化スプラインなどによる数種の平滑化処理を適宜行うこともできる。アナログ段階でローパスフィルタなどを通す場合と違い、プログラム上で任意な周波数域のフィルタリングを行える。また本プログラムにはFFTルーチンもある。

III 本システムによる計測器

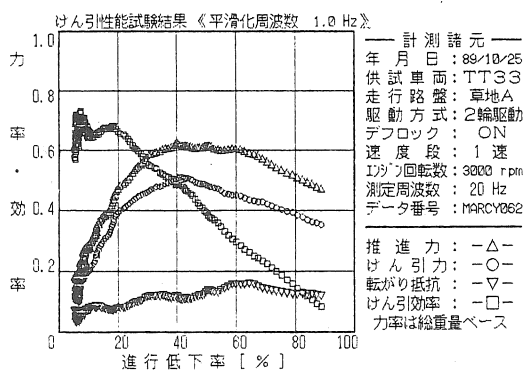
1. 計測結果例

本システムで計測・処理した結果の1例を図一3と図一4に示す。本例の場合供試路盤は草



図一3 計測結果例(測定値)

地、サンプリング周期は0.05 [s]、サンプリング時間は約15 [s]である。この時の駆動輪周速度は約1 [m/s]、従って回転距離約50 [mm]ごとに計測したことになる。両図とも記載しているLPのディスプレイ上に表示される画面を



図一4 計測結果例 (平滑処理)

ハードコピーしたものである。図一3は計測中のモニター画面、図一4は周波数1 [Hz]の単純移動平均で平滑化した結果である。グラフの横軸は進行低下率、縦軸は見かけの推進力・けん引力・転がり抵抗と車両総重量との各力率およびけん引効率とした。けん引車両のオペレータが図一3のモニター画面を見ながら被けん引車両のオペレータに制動レベルの指示を与えることも可能となる。またその場で試験の成否確認・再履行の判断が迅速に行える。

2. ノイズ処理

図一3を見ると各データともノイズが認められる。これは路面の凹凸や車両自体の振動などによるものと推察できる。また進行低下率に関する誤差は第5輪とPTO軸回転数の計測能および路面の凹凸程度による。これについてはIVにおいて述べる。ノイズ除去に際しては路盤の状態などの走行条件や計測諸元により平滑化の

方法やその周波数レベルを変えることが望ましい。現時点ではノイズ処理の具体的な指針を得てはならず、適宜平滑化周波数を指定している。今後の課題としたい。またサンプリングしながら平滑化処理ができるようプログラムを修正する予定である。

3. 動的有効半径

ASAEの定義による⁶⁾と計測した軸トルクから推進力を求める場合、ゼロコンディション時の有効半径で軸入力トルクを除いた値となる。汎用型トラクタなど車輪径が大きく負荷に対して変形しにくいタイヤでは負荷走行時の有効半径の変動は少なく定義通りでも差支えない。供試トラクタのように幅広・低圧かつ柔らかいタイヤを装着している場合、有効半径(静止状態のタイヤ半径274 [mm])がけん引負荷の変動に伴って最大約20~25 [mm]程度減少することが、本システムによるコンクリート路盤での計測結果から明らかになった。路面とタイヤの接地面での力の釣合やけん引効率を考える時、ASEAの定義による推進力やけん引効率の計算では1割程度の差が生じることになる。従って本システムでは負荷走行時の動的有効半径の実測値を用いることにする。

IV 路面の凹凸と第5輪による計測誤差

一般に走行距離を計測する場合は巻尺を使用する。この時の値は路面の凹凸を均した場合の距離と考えることができ、ここでは『平均面距離』と呼ぶことにする。他方、トラクタや第5輪の走行では路面の凹凸に沿って移動していると考えことができ、この時の距離を『凹凸面距離』と呼ぶことにする。本システムの測距データはパルスカウント値から算出される計測周期毎の凹凸面距離である。試作第5輪の構造を考慮すると、測距誤差は計測能と路面凹凸の程

度で決まる値とすることができる。他の方法による凹凸面距離の実測を考える時、パルスカウンタ値との整合性を保ちつつ、タイヤや第5輪の軌跡に沿って距離を計測することは非常に困難である。従ってここではシミュレーションによる誤差の検証を行うことにする。

1. シミュレーションに使用した路盤

著者らは採草地における路面凹凸を水平距離100 [mm] 毎のレベル測量により実測した。これより供試トラクタのホイールベース1415 [mm] に相当する2点間の高低差は平均0, 標準偏差10 [mm] の正規分布に従うという結果を得た。路面の平均面を基準とする凹凸の振幅に換算するとN(0.5 [mm]) の正規分布になる。シミュレーションではN88BASIC(86)の組込み関数であるRND関数の疑似一様乱数をBox-Müller変換して得た正規乱数を振幅値とした。

2. 平均面距離と凹凸面距離

1) 水平移動距離100 [mm] 毎の凹凸振幅値を正規乱数から与え, 2) 各点を第3次スプライン関数で補間し, 3) これから得られる曲線

長を凹凸面距離とした。水平距離 d_0 と凹凸面距離 d_1 との計測差の程度 ν を

$$\nu = 100 \cdot (d_1 - d_0) / d_0$$

として求めた。凹凸分布の標準偏差0, 5, 10, 15, 20, 25 [mm] についてのシミュレーション結果を図-5に示す。凹凸の標準偏差が10 [mm] 以下では約1 [%] 以下であり, 平均面距離と凹凸面距離にはあまり差が無いことが理解できる。

3. 凹凸路面における第5輪の計測誤差

トラクタの前後輪接地点を通る機体傾斜線を考える時, 第5輪の接地点が凹凸によりこの線を中心に上下変動する。これに伴ってトラクタと第5輪の相対距離が変化し誤差が生じる。これは平行リンクの可動アーム長および計測周期におけるアームの向きと機体傾斜線の交差角の変位量で決まる値であり, 1) 平行リンク方式に起因する計測誤差と言える。また同様に機体傾斜線と垂直なトラクタの接地方向も凹凸により変動する。これに伴ってロータリエンコーダのゼロ点(パルスをカウントする場合の基準点)と路面との相対的な位置関係が変化し誤差が生じる。これは計測周期における接地方向の変位量で決まる値であり, 2) ロータリエンコーダのゼロ点変動に起因する計測誤差と言える。

1)・2)のように考えるならば第5輪の測距誤差範囲は走行距離の絶対値とは無関係な固定的な量となる。シミュレーションでは, ①トラクタのホイールベース, ②第5輪の取付位置, ③平行リンクのアーム長, および④路面凹凸の標準偏差をパラメータとして「誤差分布」の計算を行った。①②③のパラメータはそれぞれの諸元により決まる値である。④の標準偏差を前述した実測値の2倍の10 [mm] として計算した。乱数を用いたシミュレーションによる精度を進行低下率換算で 1.0×10^{-2} [%] 以下とするに

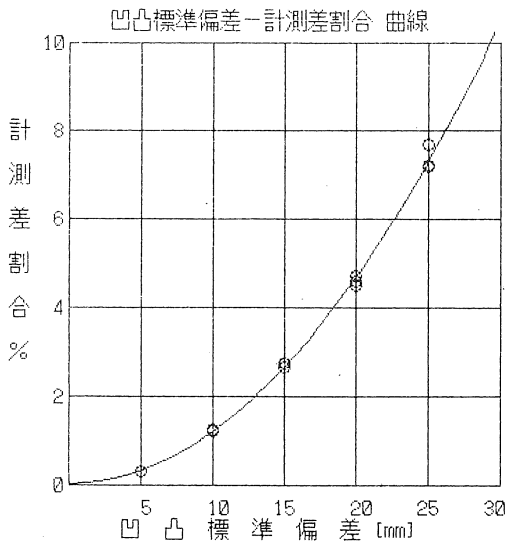


図-5 凹凸標準偏差-計測差割合

は、最低でも約30万回の計算を行う必要がある⁷⁾。ここでは100万回の計算結果を図-6に示す。誤差分布を見ると約90 [%]強が±5 [mm]以下、約80 [%]強が±3 [mm]以下であることが分かる。車両の移動速度が1 [m/s]、サンプリング周期が0.1 [s]の場合の進

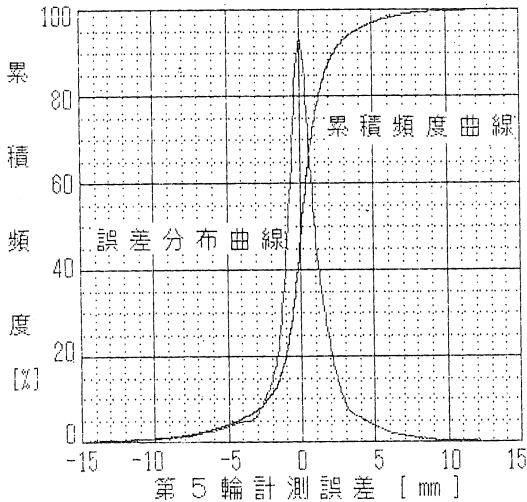


図-6 第5輪計測誤差分布

行低下率に換算して考えると5 [%]以下の誤差出現確率は約90 [%]となる。一見5 [%]という値は大きいと思われるが平滑化処理やサンプリング周期を長くすることにより、さらに小さな値となることは明らかである。

以上2つのシミュレーション結果より、本システムの第5輪から得られる計測値は従来法による値よりも高い精度を有すると判断する。

V 摘 要

- けん引性能試験以外でも使用できる汎用性の高い自動計測システムを試作した。これはLPを用いて試験車両1台に収まるコンパクトな計測回路構成としたことによる。
- ロータリエンコーダと第5輪で測距部分を自動化したことにより進行低下率0~100 [%]

のサンプリングが1回の走行で可能となった。

- 凹凸路面と平行リンク方式によって生じる第5輪測距誤差のシミュレーションを行った。その結果殆ど問題の無いことが確認できた。
- 低圧タイヤの場合、動的有効半径の変動(最大1割程度)に留意する必要がある。

参考文献

- 農業機械化研究所：土・機械系研究委員会資料No.4 土-機械系に関する測定・研究手法の調査，1986。
- 小松 実・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)，農機誌48(1)，p.103-106，1986
- 田中勝千・本橋罔司・嶋田 浩：傾斜地用トラクタ(テラトラックTT33)の作業性能，農機東北支部報No.34，p.7-10，1987
- 田中勝千・本橋罔司・佐野文彦・嶋田 浩：傾斜地用トラクタ(テラトラックTT33)の作業性能(第2報)，農機東北支部報No.35，p.5-8，1988。
- 本橋罔司・田中勝千・嶋田 浩：トラクタ車軸トルクの測定と応用，農機東北支部報No.35，1-4，1988。
- 坂井 純・岸本 正：けん引・運搬装置に関するASAE用語定義について，農機誌49(6)，p.605-610，1987。
- 篠崎寿夫・松下裕輔：応用数値計算法入門(下)，コロナ社，1986

【読者コメント】 大変有益な計測法であり、実によくまとめられたと敬服する。今後この方法が著者の研究室にとどまらず、実演会・研修会などの機会を通じて、東北農業機械研究者へ伝授していただきたい。

傾斜地用トラクタ (テラトラック TT 33) の作業性能 (第 4 報)

— 自動計測システムによるけん引性能試験 —

田中勝千*・本橋罔司*・嶋田 浩*

Working Capacity of Hillside Tractor, Terratrak TT 33 (PART 4)

The drawbar test using our auto-measuring system

Katsuyuki TANAKA*, Kuniji MOTOHASHI*, Hiroshi SHIMADA*

I はじめに

第1報¹⁾、2報²⁾では、供試トラクタが傾斜草地においてどの程度の維持管理(刈取・施肥播種)作業ができるのかを報告した。実作業時の傾斜角度と滑り率の関係、刈取作業能率および施肥播種の散布図を求め、供試トラクタを導入した場合平均20度の傾斜草地であれば十分に利用できることを明らかにした。傾斜地作業では安全性が最優先されるので、判断材料として実作業時の傾斜角度と滑り率の関係を重要視した。タイヤの滑り率(絶対値)は、登坂時には登坂抵抗が降坂時には制動負荷が生ずるため平場以上に大きくなる。供試トラクタがどのようなけん引性能を示すのか、またその時の滑り率の大きさが牧草の再生にどれくらい影響するかということは必要な情報である。本報では、全ての車軸にトルクセンサを装着し、コンクリート上と草地上で行ったけん引性能試験結果についてのみ報告する。けん引試験は、第3報で述べた自動計測システムを用いた。一部、従来法で行った。なお、国産汎用型トラクタについても自動計測システムでけん引試験を行い比較、検討した。

II 試験条件および供試トラクタ

試験は付属実習棟内のコンクリート上と、付属農場の採草地上(A:草生密, B:粗, C:普通の3条件)で行った。供試トラクタに負重量として、専用のドラムモータを前部に装着

した。駆動方式は2輪駆動と4輪駆動(以下2WD, 4WDと略す)の2条件とし、駆動車輪をデフロックした。エンジン回転数は43.3と50 s⁻¹(2600, 3000 rpm)の2条件とし変速段は1速とした。国産の汎用型トラクタの場合、駆動方式は2WDと4WDの2条件とした。エンジン回転数は40 s⁻¹(2400 rpm, PTO軸540 rpm), 変速段は3-3速とした。データの個数は1条件最低2個とした。データは以下の式によって整理し、横軸に滑り率、縦軸に推進力、けん引比、ころがり抵抗(各々、全接地荷重基準)およびけん引効率をとって図示した。なお、図中では滑り率を進行低下率として表示している。

推進力 $H=Tr/R$, けん引比 $C=Fd/Tw$
 けん引効率 $E=Pd/Pi$, ころがり抵抗 $MR=H-Fd$
 滑り率 $S=100(1-L/Lo)$

表-1 供試トラクタ

型 式	AEBI テラトラック TT 33
エ ン ジ ン	19.9 kW (27 PS)
重 量	9.32 kN (950 kgf)
ホイールベース	1415 mm
ト レ ッ ド	前 1408 mm, 後 1400 mm
負 荷 重 量	モーア 1.96 kN (200 kgf)

表-2 汎用型4輪駆動トラクタ

型 式	K-L 4212
エ ン ジ ン	30.9 kW (42 PS)
重 量	17.2 kN (1750 kgf)
ホイールベース	1820 mm
ト レ ッ ド	1315 mm

*北里大学獣医畜産学部 (〒034 青森県十和田市前谷地149, ☎0176-23-4371) College of Veterinary and Animal Science, KITASATO, Utsunomiya

Tr; 車軸トルク [kN・m] R; 動的有効半径 [m]
 Fd; けん引力 Tw; 全接地荷重 [kN]
 Pd; けん引出力 Pi; 軸入力 [kW]
 Lo; 無負荷時のタイヤの進行距離 [m]
 L ; 負荷時のタイヤの進行距離 [m]

III 結 果

1. 従来法との比較

図-1は従来法による場合のコンクリート上での試験結果例である。一定のけん引負荷を与え、直径0.6mのタイヤを3回転させて1個のデータとなる。データ数は26個で全試験時間は約1hrである。図-2は自動計測システムを用いた場合の結果であり、測定周波数は20Hzである。条件は図-1と同じである。計測時間は約15secである。図-3は、図-2のデータを平滑化処理したものである。平滑化の周波数は、原信号を損なわない程度の1.0Hzとした。一度の計測ではあるが、従来法と同様の結果が得られている。なお、以下の結果および考察については、全て平滑化処理後のデータについて述べることにする。

2. コンクリート上 (図-2, 3 参照)

- ① けん引比 駆動方式に拘らず、滑り率10%まで急激に増加し、滑り率100%まで漸増した。滑り率20%、100%の場合、けん引比の大きさは各々2WDで0.3、0.4であった。4WDでは各々0.65、0.8であった。けん引係数を求めたい場合は第2報²⁾に記した前後車輪の重量配分比(表-3)を参照されたい。
- ② けん引効率 2WD、4WDとも滑り率10%以下に最大値があり、その大きさは2WDで0.8、4WDでは0.9であった。いずれのけん引効率も、滑り率20%を越えると滑り率100%まで直線的に減少した。
- ③ ころがり抵抗 けん引負荷に伴って、変動する傾向が認められた。

3. 草地上 (図-4, 5 参照)

- ① けん引比 駆動方式に拘らず、滑り率10-20%まで急激に増加し、40%付近に最大値を示した。明らかにコンクリート上での場合の傾向とは異なった。2WDの場合、滑り率20%のけん引比の大きさは0.3以上であった。滑り率100%の場合は草地の植生状況によって異なり

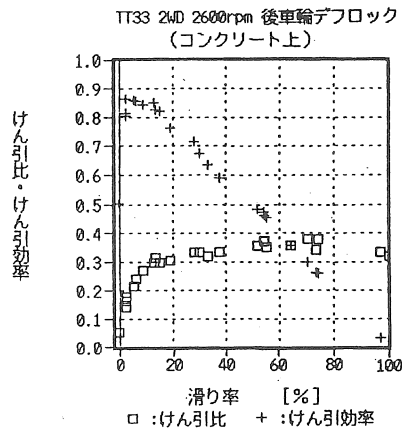


図-1 けん引性能試験結果例(従来法)

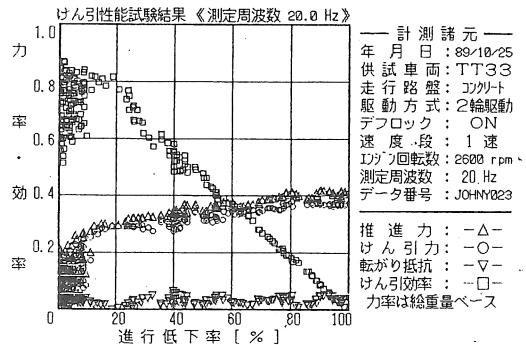


図-2 けん引性能試験結果例(実測値)

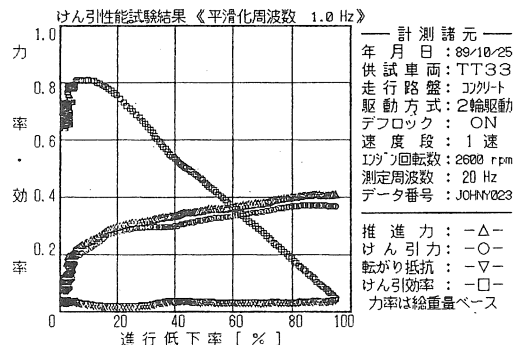


図-3 けん引性能試験結果例(平滑化処理後)

0.3前後であった。4WDの場合、滑り率20%のけん引比の大きさは湿地および裸地を除けば0.7以上であった。滑り率100%の場合は0.6程度であった。

② けん引効率 2WD, 4WDとも滑り率10%付近に最大値があり、その大きさは0.7-0.8であった。いずれのけん引効率も滑り率20%を越えると直線的に減少した。

③ ころがり抵抗 コンクリート上と同様に、けん引負荷に伴って、変動する傾向が認められた。

IV 考 察

1. 自動計測システムの評価

図-1, 2, 3に示したように、本システムで得られたデータは従来法での結果をよく再現していた。コンクリート上で試験する場合、タイヤのウォーミングアップ効果は試験結果への影響が大きい。図-6はウォーミングアップが不十分な場合の例である。滑り率20-40%の範囲ではけん引比が変動して、一定の傾向が得られない。このシステムではモニタリングできるので、試験終了後、現在のタイヤと路盤との関係が瞬時に把握できる。従って、どの時点でデータをサンプリングすればよいのかが即断できる。また、滑り率、時間、および距離を測定しているので、例えば、ある滑り率の条件がどこを走行していたのかを特定できる。つまり、滑り率とその後の牧草の再生状況の観察が可能となるので、滑り率の大きさの影響を知ることができる。適切な平滑化周波数の設定基準の検討という課題は残っているが、システムとしては有効であると考えられる。

2. 供試トラクタのけん引性能

図-7は供試トラクタについて、草地Aでの結果をコンクリート上での結果と比較したものである。滑り率の範囲は2WD, 4WDとも概ね最大のけん引比を示す滑り率40%までとし

た。図から2WD, 4WDとも滑り率15%を越えると、コンクリート上の場合より、草地上の場合の方がけん引比が大きくなるのが分かる。

図-8は同じ草地Aで作業機を組合せた場合の結果である(従来法・1988年度)。滑り率20%の場合モータを回転させた条件を除けばいずれもコンクリート上より大きい。図示しなかつ

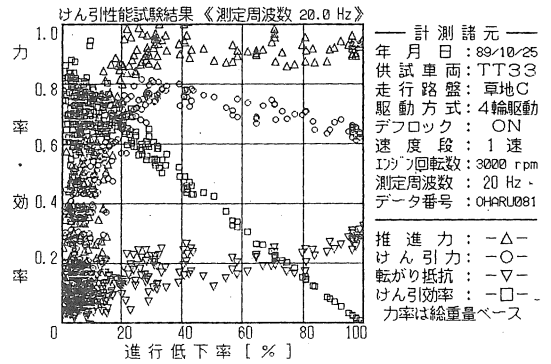


図-4 けん引性能試験結果例(実測値)

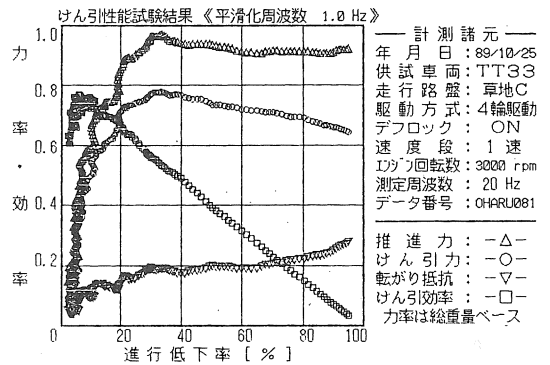


図-5 けん引性能試験結果例(平滑化処理後)

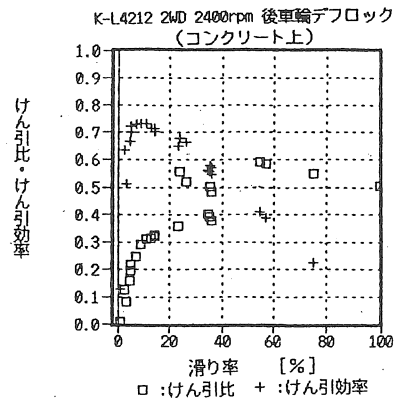
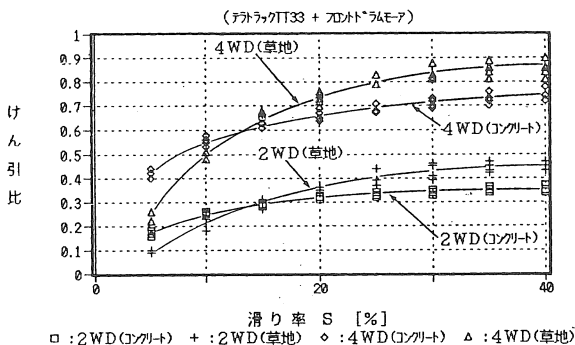


図-6 けん引性能試験結果例(従来法)

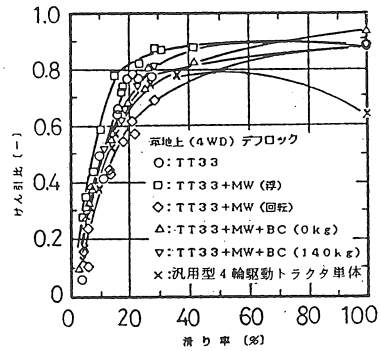
たが、汎用型トラクタのけん引比は、草地A、B、Cのいずれもコンクリート上の場合より小さく、滑り率20%では最大0.2低かった。幅広の低圧タイヤは、牧草根茎を含めた路面へのグリップ特性が汎用型のタイヤよりよいと推定される。さて、滑り率30%を越えるとほぼ一定のけん引比を示し草地面の破壊によって急激に低下する傾向が見られた。傾斜角度30度での刈取・施肥播種作業では、滑り率が20%を越える場合もある^{1), 2)}。平坦地のデータではあるが図一七からすると、25%を越えるとけん引力の増大は見込めない。牧草への影響を無視すれば、けん引性能試験結果から滑り率25%以下の作業が望ましいと考えられる。

V まとめ

1. 自動計測システムで得られたデータは、従来法での結果をよく再現した。モニタリングにより、現在のタイヤと路盤との関係が瞬時に把握でき効率的なけん引性能試験が可能となった。
2. 供試トラクタの草地上でのけん引比は、滑り率30%を越えるとほぼ一定となり、草地面の破壊によって急激に低下する傾向が見られた。
3. 供試トラクタについてコンクリート上と草地上でのけん引比の大きさを比較した場合、滑り率の範囲によっては、コンクリート上より草地上でのけん引比が大きくなることが分かった。



図一七 滑り率とけん引比 (平滑化処理後)



図一八 滑り率とけん引比(従来法, 1988)

VI 引用・参考文献

- 1) 田中勝千・本橋罔司・嶋田 浩：傾斜地用トラクタ(テラトラックTT33)の作業性能, 農機東北支部報No.34, p.7-10, 1987
- 2) 田中勝千・本橋罔司・佐野文彦・嶋田 浩：傾斜地用トラクタ(テラトラックTT33)の作業性能(第2報), 農機東北支部報No.35, p.5-8, 1988
- 3) 町田武美：傾斜地用トラクタに関する基礎的研究(1), 農機学会誌47(3), p.285-292, 1985

[閲読者コメント] 1) タイヤのウォーミングアップ効果と、それが試験に影響する理由をお教え願いたい。2) 傾斜角30度とあるがTT33は何度ぐらいまで作業可能か、また試験は斜面方向で行われたと思われるが、等高線方向の安定性はいかがか。

[著者回答] 1) 予備走行によって、それ以前よりタイヤの摩擦係数が高くなり、ある範囲に落ち着くことをウォーミングアップ効果とした。これが不十分な場合、同じ滑り率でも相当異なったけん引力が得られることになり、図一六の様にけん引比に影響を与える。2) 刈取・施肥播種作業の実測例では、斜面方向の場合、登板と降板では異なった。傾斜角33-35度では登板不能でも、降板可能であった。等高線方向の場合、草地面の凹凸の程度にもよるが、20度の草地であれば作業上差し支えなかった。

農用作業車の動的側方転倒に関する研究

— 側方転倒の危険性に関する一指標について —

高橋照夫*・武田太一*・西川裕之*

A danger index of sideways overturning
for farm vehicles

Teruo TAKAHASHI*, Taiitsu TAKEDA*, Hiroyuki NISHIKAWA*

1. はじめに

農用作業車の傾斜地における安定性について、側方転倒に関する指標としては、これまでは主に静的及び動的転倒角について研究されている^{1) 2) 3) 4)}。しかし、これらの転倒角は側方転倒に関する限界値であって、現実にはそれ以下の緩傾斜地での転倒事故が多く発生している。すなわち、そのような例としてトラクタが等高線作業中に、山側車輪が石などの障害物に乗り上げることなどにより転倒する場合が見受けられる。

そこで、本報では動的側方転倒に関して、斜面傾斜度の増加に対する転倒の危険性の度合について考察し、その結果、新たな指標として「転倒危険度」を考えて、その危険度の求め方、利用方法及び問題点などを検討した。

2. 転倒危険度について

(1) 山側車輪の転倒時上昇速度 傾斜地で農用作業車の山側車輪が障害物に乗り上げるなどしてはね上がった場合、その車輪の上昇速度（はね上がり速度）がある速度以下であれば、車輪は一旦浮上するものしばらくして元の状態に戻り転倒しないが、その上昇速度がある値以上になれば機体の重心が谷側車輪の接地点を通る鉛直面の外側に出てしまい転倒することになる。いま、側方転倒時におけるその上昇速度を転倒時上昇速度 u_c とすれば、山側車輪の上昇速度が u_c に近づくほど側方転倒の危険性が

高いことになる。

土屋ら³⁾によれば、側方転倒現象を1自由度系の運動と考えた場合、 u_c (m/s) は次式で求められる。

$$u_c = \sqrt{2m_t g \cdot l_a \cdot l_t^2 (1 - \sin \phi) / I_a} \quad \dots(1)$$

ここで、 m_t は機体質量 (kg)、 g は重力加速度 (m/s^2)、 l_a は機体重心 (G) から谷側車輪接地点 (A) までの距離 (m)、 l_t は輪距 (m)、 ϕ はGAが水平となす角度、 I_a はA点まわりの機体の慣性モーメント ($kg \cdot m^2$) である。すなわち、 u_c は、斜面傾斜度が大きいほど、あるいは h_c/l_t (h_c : 機体の重心高さ) の大きい機体ほど小さい値となる。なお、斜面傾斜度が静的転倒角と等しければ u_c は零である。

(2) 転倒危険度 以上のように、 u_c は動的な側方転倒の危険性を表す数値とみなすことができるが、その大小だけでは作業中運転者が転倒の危険度合を実感するのは難しい。その危険性を表す一つの目安としては、平地における転倒時上昇速度 u_{c0} を基準にとった転倒危険度 α が考えられる。すなわち、

$$\alpha = u_{c0} / u_c \quad \dots(2)$$

α の値は、平地では1、静的転倒角の斜面傾斜度では無限大であり、その間の傾斜度では u_c の減少に反比例して増加する。

ある農用作業車の α が、斜面傾斜度とともにどのように増加するかを知るためには、予め当該作業車の平地及び種々の斜面における u_c を

* 弘前大学農学部

求めなければならない。しかし、斜面で実際に転倒試験を行なって u_c を測定することは、危険をとまなうことでもあり一般には困難である。そこで、式(1)によって u_c を推定することが考えられるが、同式で算出する場合谷側車輪の接地点の選び方などが問題となる。本報ではそうした点を検討するため、農用トラクタを供試して以下のような実験を行なった。

3. 実験方法

実験は、斜面で山側車輪の転倒時上昇速度を測定する方法の代わりに、平地で、静的転倒角に相当する傾斜状態から元の水平状態に戻るまで自然に落下する際の降下速度を求める方法で行なった。

- (1) 供試トラクタ 農用小形四輪トラクタ（以下実トラクタと呼ぶ）と、参考として模型の四輪トラクタ（縮尺は大形トラクタの約1/16）を用いた。それぞれの主な諸元を表1に示す。
- (2) 測定項目及び測定方法 供試機の山側車輪の降下速度は、機体上の点が一定時間に落下する距離から換算して算出するものとし、機体上に反射鏡を取り付けストロボ撮影を行なった。

表1 供試トラクタの主な諸元

項目	農用トラクタ	模型トラクタ
質量(kg)	942	1.196
輪距(m)	1.120	0.113
重心高さ(m)	0.595	0.051
慣性モーメント (重心回り, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	2.27×10^2	1.10×10^{-3}
後輪タイヤ幅(m)	0.200	0.03

反射鏡は、実トラクタでは山側後輪の後部中央と運転席の背面部に、模型トラクタでは安全フレームの上端部にそれぞれ取り付けられた。

- (3) 実験方法 供試機を静的転倒角の傾斜状態から元の水平状態まで自然落下させる間に、後方からストロボの発光間隔を1/20秒として写真撮影した。なお実トラクタの場合、接地側車輪の接地面は谷側方向に約16度傾むけて設定したが、模型トラクタの場合には水平であった。

4. 実験結果及び考察

- (1) 供試機の自然落下軌跡 図1(a), (b)は両機のストロボ撮影写真（キャビネ大）の反射鏡軌跡をデジタイザ（精度0.1mm）で読取り作図したものである。同図で、各軌跡の最左端の点

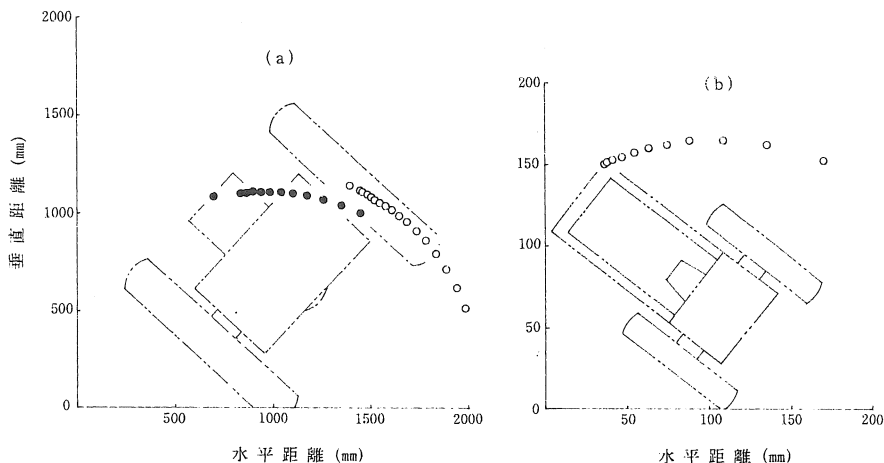


図1 供試トラクタの自然落下軌跡 (a) 実トラクタ, (b) 模型トラクタ
(軌跡点間隔は1/20秒)

は静的転倒角の位置を示す。なお、自然落下開始初期の軌跡点は近接して判読不能のため省略した。

(2) 斜面傾斜度と転倒時上昇速度の関係 図1より各軌跡点間の midpoint について平均降下速度及びその時点の機体の傾斜角を算出した。それらの降下速度は、厳密性には多少欠けるものの、現象論的には側方転倒時の転倒時上昇速度に対応すると考えられる。そこで、降下速度を転倒時上昇速度に、また機体の傾斜角を斜面傾斜度に置き換えて、両者の関係を示したのが図2である。なお、同図で実線は式(1)で求めた転倒時上昇速度であり、実線Aは接地点を車輪接地面の外側端に、実線Bは車輪幅の中央にとって計算した場合である。

図2(a)の実トラクタの場合、実験値は静的転倒角(48度)付近から傾斜度15度付近まではほぼ実線Aに沿って直線的に増加した。一方、同図(b)の模型トラクタの場合には、静的転倒角に近い傾斜度では実線Aに沿っているが、傾斜度が約45度より小さくなると次第に実線Bに沿って増加するようになった。これは、模型トラクタの車輪が堅いゴム製で変形がほとんどなかつ

たことから、山側車輪が自然落下中、接地点は接地車輪の側面から次第に中央へ移動したためと推測される。それに対し、実トラクタの車輪は空気入りタイヤで傾斜にもなる変形が比較的大きかったため、接地点は自然落下中も実質的に車輪外側面付近にあったものと予想される。

以上の結果から、供試トラクタのような四輪作業車の転倒時上昇速度は、式(1)で接地点を谷側車輪面の外側端にとることにより推定可能なことがわかった。

(3) 斜面傾斜度と転倒危険度の関係 実トラクタの平地での転倒時上昇速度 u_{co} を、図2(a)のA線がY軸と交わる点として求め、各実験値の転倒危険度 α を算出した結果が図3である。なお実線は図2(a)のA線に対応する α 線である。同図によると、斜面傾斜度 θ が25~30度までは α は2以下でその増加割合が小さいが、 θ がそれ以上になると α は急激に増大している。すなわち供試機の場合、傾斜度が静的転倒角の60%程度以上になれば、平地と比べた側方転倒の危険性が急増することを示している。もっとも、 α が2付近という場合でも平地と比べた転倒の危険度合は約2倍ということであり、危

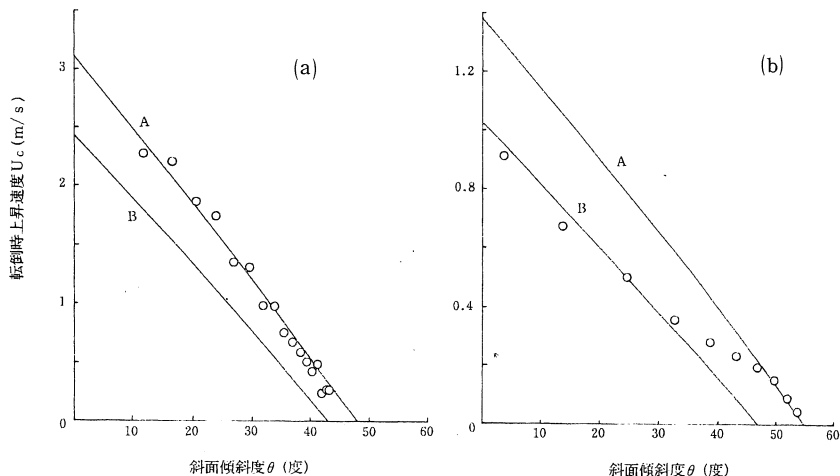


図2 斜面傾斜度と転倒時上昇速度の関係 (a) 実トラクタ, (b) 模型トラクタ (A線: 接地点を谷側車輪の外側端とした場合, B線: 同じく車輪中央とした場合)

険性が小さいわけではない。

また、山側車輪が障害物に乗り上げたような場合の α は、図3で障害物高さによる機体傾斜角の増加分を斜面傾斜度に加えたときの値となる。したがって、障害物が高いほど α 線が図の左側に寄ることになり、 α が急激に増大する斜面傾斜度の値も小さくなる。

以上のように、 α の値を用いれば、当該作業車の静的転倒角以下の傾斜地における転倒の危険度合を予め判断することが可能になるとと思われる。ただし、安全作業上 α の許容範囲をどのようにとるべきかは今後さらに検討する必要がある。

また、走行速度が速い場合、あるいは低速走行中でも急激な旋回や谷側車輪の脱輪の場合など、一般に山側車輪の上昇速度が大きくなりやすい条件のもとでは側方転倒の危険性が増大するが、上述の α の算出法ではそうした点の影響が考慮されておらず、今後の課題である。

5. 摘 要

農用作業車の傾斜地での安定性について、斜面傾斜度に対する側方転倒の危険性を示す指標

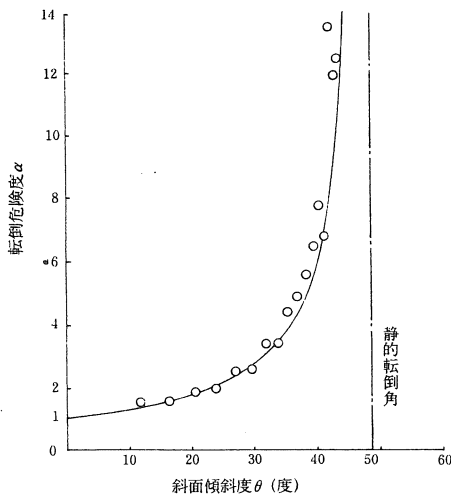


図3 斜面傾斜度と転倒危険度の関係
(実トラクタの場合)

として転倒危険度を考え、その求め方や問題点を検討した。

(1) 機体山側車輪の転倒時上昇速度を、農用トラクタと模型トラクタを供試して実験的に求め、土屋らの式による計算値と比較検討した結果、両者はよく一致した。

(2) 上記の値より平地を基準として転倒危険度を算出した結果によれば、供試トラクタの場合斜面傾斜度が静的転倒角の約60%以上では側方転倒の危険度合が急増することがわかった。

(3) 以上のように、転倒危険度を用いれば、静的転倒角以下の傾斜面における側方転倒の危険度合を予測することができ、運転者の安全運転に役立つと思われる。ただし、安全作業上の許容範囲、走行速度の影響の考慮方法などについては今後の課題である。

参考文献

- 1) 松山龍男ほか：傾斜地における四輪トラクタの横転倒角(1), 農機誌 32 (2), 111-116, 1970
- 2) 竹内 学ほか：傾斜地における四輪トラクタの横転倒角(2), 農機誌 33 (3), 230-238, 1971
- 3) 土屋功位ほか：トラクタの転倒に関する研究(1), 農機誌 34 (4), 294-299, 1973
- 4) 上出順一, 土屋功位：トラクタの転倒に関する研究(2), 農機誌 36 (4), 513-517, 1975

〔読者コメント〕実際の農作業事故では作業車が動いている場合が殆どであり、著者らの指摘通り作業車の走行速度や運動方向等を加味することが重要になってくると思われます。今後の研究の発展を期待致します。

〔著者回答〕本研究は、運転者にも分かりやすい指標をとということで始めましたが、今後ご指摘のように走行状態についても検討を進めたいと考えております。

車両の低速時の運動と追跡曲線

鳥 巢 諒*

Manuevers of Vehicles at Low Speeds and Curves of Pursuit

Ryo TORISU*

I. はじめに

人が車両を運転するとき、周囲環境からどのような情報を得、どのようにそれらを操舵に戻しているかについては、近藤による「狙いの条件式」とそれから導かれた予測モデル¹⁾が古典的である。現在では、その理論を発展させた幾つかの操舵モデルの研究^{2,3)}が自動車工学の領域で、力学車両モデルをもちいて高速時の車両を対象になされている。

残念なことに近藤は極低速時での「狙いの条件式」を明示していない。しかし、農用車両は一般に低速で使用されることが多く、運動学モデルで解明されるような状況が多いようである。また、かなり均一な舗装路面を走行する車両と異なり、不均一なオフロードを走行する。このために、極低速時の理想化した車両の運動を明確にすることが、横滑りなどを含む現象の本質を把握するうえでも重要と思われる。

本論文では、はじめに、追跡曲線と車両運動との関係を明らかにする。次に、この追跡曲線の性質を利用して、近藤によって提起された狙いの微分条件が極低速時の運動学モデルの場合にどのようなになるのか、また、予測モデルとの関係はどうなっているのかを考察する。

II. トレーラの運動軌跡と追跡曲線

牽引車両の運動学的特性や低速車両の操舵動作のモデル理論には、追跡曲線^{4,5)}が深い関係

をもつので、初めに、この曲線の車両運動と拘わりあいを検討する。

1. トレーラの運動軌跡

車両系の平面運動は、左右の車輪を中心の一つの車輪で代表させた等価モデルで表せる。ここで、次のような問題を考える。

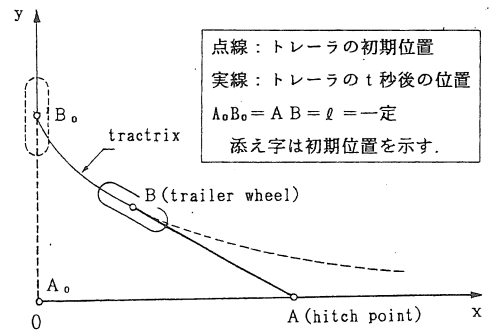


図1 等価トレーラモデルの追跡曲線

「いま、2輪トレーラ系を図1に示すように、トラクタ部をx軸上に、トレーラ部を直角に曲げた状態でy軸上に置き、トラクタを一定速度Vでx軸の正方向に直進させることを考える。動点A(ヒッチ点)も、やはり速度Vでx軸上を直進する。このとき、動点B(トレーラ輪点)は、どのような軌跡を描くであろうか^{6,7)}(以後、トレーラ問題と呼ぶ)。」

2. 犬曲線

図1において、点Aを犬、ABを鎖、点Bを人と、置き換えると上述のトレーラ問題は、次

* 岩手大学

のようになる。

「長さ L の鎖の一端 A に犬がつながれ、他端 B を人がもっている。いま、犬が鎖と垂直な方向に走りだし、そのまま一直線上を等速度 V で走り続けた。このとき、それに引きづられて鎖の他端を持って走る人の軌跡を求めよ⁸⁾。(以後、犬問題と呼ぶ)」。

以上の2つの問題は、数理的には全く同じであり、一般に追跡曲線と呼ばれる問題の一例である。通常は、追従する点の運動軌跡が問題にされるが、ここでは解を求めるのではなく、以下に示すように、運動を表す微分方程式の性質を考察する。

3. 追跡曲線の定義

追跡曲線を平面の点の運動に抽象化すると、次のようになることが知られている⁴⁾。

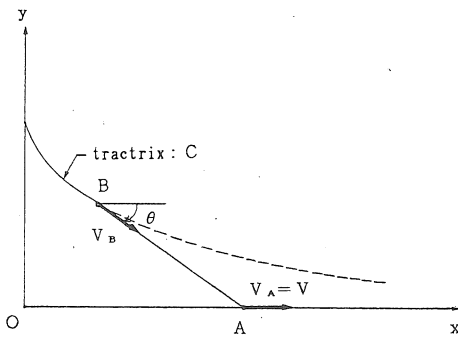


図2 追跡曲線

「図2に示すように、点 A が x 軸上を等速度 $V_A (= V)$ で動き、他の点 B がいつも A に向かいながら速度 V_B で動くとき、点 A の描く曲線を追跡曲線または犬曲線 curve of pursuit という。一般の問題では AB 間の長さは一定ではない。また、動点 A が x 軸上を動くかわりに更に一般の曲線上を動く場合も考えられる」。

物理の問題では、点 A を砲やジェット機、点 B が犬やミサイルとした類似の問題がある^{8,9)}。

車両に関連した問題としては、キャスター機構やトレーラの運動がある^{4,7,10)}。

4. 追跡曲線の性質

ここで、2点間の距離($=\ell$)を一定として、図2の追跡曲線の微分方程式を求める。同図で、時刻 t 秒後の動点 A 、 B の座標をそれぞれ $(x_A(t), y_B(t))$ 、 $(x_B(t), y_B(t))$ 、点 A の速度ベクトルの大きさを $V_A(t) = \text{一定} \equiv V$ 、点 B の速度ベクトルの大きさを $V_B(t)$ 、これと x 軸のなす角を $-\theta$ (角度は x 軸を基準線とし反時計回りを正)とする。このとき、

位置については、

$$x_A(t) = x_B(t) + \ell \cos(-\theta) = Vt \quad (1-1)$$

$$y_A(t) = y_B(t) + \ell \sin(-\theta) = 0 \quad (1-2)$$

速度については、それぞれ点 A 、 B について、次式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_A(t) &= V \\ \dot{y}_A(t) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_B(t) &= V_A(t) \cdot \cos(-\theta) \\ \dot{y}_B(t) &= V_A(t) \cdot \sin(-\theta) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式(1)を時間 t で微分し(2)、(3)の関係を代入して整理すると、

$$\ell \dot{\theta} = -V_A(t) \cdot \tan \theta = -V \sin \theta \quad (4)$$

$$\dot{x}_B(t) = V \cos \theta \quad (5)$$

が得られる。これが角度をパラメータとした追跡曲線の微分方程式である。

また、上述の追跡曲線問題は、「曲線 C 上の任意の点 B における接線が x 軸と交わる点を A とすれば、 AB の長さは常に一定であるという。この曲線 C を決定せよ⁵⁾」という、運動を表面に出さない幾何学的問題に変換される。

しかし、ここでもトレーラ長さ一定とトレーラ輪の運動の性質が端的に現れている。何故なら、後者は式(3)より

$$dy_B/dx_B = \dot{y}_B/\dot{x}_B = \tan(-\theta) \quad (6)$$

である。

なお、軌跡を求めるためには $dy/dx = f(x, y)$ の形が普通であるが、運動の性質を論じるためには、本論文で導いた式(4), (5)の表現が便利である。

5. 2輪トレーラ系の追跡曲線

2輪トレーラ系で、極低速前進時の操舵を固定したトレーラ輪の運動は、ヒッチ点が円運動をするため、2輪系の直線以外の運動の追跡曲線の例である。これに関しては、著者らが⁶⁾軌跡も含めて検討している

Ⅲ. 単体車両の運動と追跡曲線

1. 車両の操舵と運動を表す方程式

単体車両操舵と運動に関しても追跡曲線が現れる。このことはロゲルギスト I⁶⁾, K¹⁰⁾らが現象論的に指摘したことで、「前輪操舵機構の極低速時の車両の後輪点は、前輪点の運動に対する追跡曲線になっている」ということである。これも言われてみると当然で殆ど明らかである。

問題は、任意に舵取をした場合に、どのような関係が操舵と車両運動との間に成り立つか、即ち、操舵角を α° 与えると、それに伴ってヨー角が θ° 変わるなどの性質を定量的に把握する必要があるということである。このことを以下に示す。

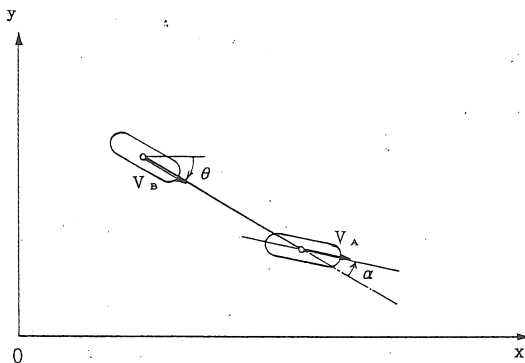


図3 運動学モデルの操舵角と姿勢角

後輪駆動・前輪操舵形式の単体車両で、任意の操舵時の操舵角と車両の姿勢との関係は次のように表される。図3を参照して、結果のみを示すと、

$$\ell \dot{\theta} = V \tan \alpha \quad (7-1)$$

但し、ここで ℓ は、トラクタホイールベース、 θ はトラクタの姿勢角、 V はトラクタ速度（後輪点）、 α は操舵角である。

この式は、車両のホイールベースが与えられると、車両の時々刻々の姿勢が、速度と舵取りという2つの操縦の自由度で決まるということを表している。なお、式(7-1)は(4)と全く同様な手順で導かれる。あるいは、文献^{1, 11)}からも求められる。

なお、前輪駆動・前輪操舵形式の単体車両の場合には、式(7-1)に対応して、次式が成り立つ。ただし、前輪で一定速度 V とする。

$$\ell \dot{\theta} = -V \sin \alpha \quad (7-2)$$

2. 直線進路に進入時のFF車の操縦

前輪駆動・前輪操舵形式の車両を考える。いま、図4に示すように、前輪点が希望進路にちょうどあったとして、この希望進路上を前輪点が直進するためには、ドライバーは、どのように舵を切っているかという問題を考える。

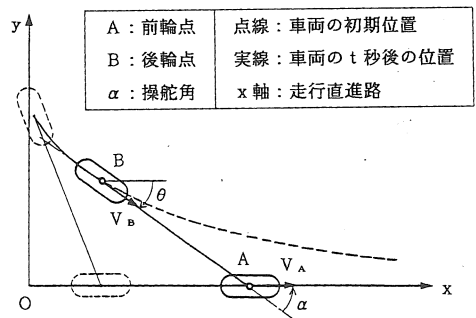


図4 希望直線路に進入時の車両の運動

この問題も前輪点で一定速度が与えられるので、車両運動は前述の犬曲線問題そのものである。図2、3と4を対応させ、式(4)と(7-2)を比較すると、操舵角 α は、変化する車体姿勢角の現在値 θ と同じになるように操舵すればよい、即ち、 $\alpha = \theta$ であるように徐々に戻して行けばよいことがわかる。

犬曲線問題に、どのように操舵をすれば良いかという車両の操縦問題が、ある意味で隠されていたことは非常に興味深い。

3. 直線路進入時のFR車の操縦

今度は、後輪駆動・前輪操舵形式の車両について同じように直進路進入時の操縦を考える。ここでは、後輪点で一定速度が与えられているため、式に若干の違いがあるが本質は同じである。また、身近なもう一つの例としては、自転車でのハンドル操作が考えられる。

舵取の仕方について、前節とは少し違ったアプローチをする。任意の操舵をしているときの式(7-1)の操舵角に、 $\alpha = \theta$ を代入すると、

$$\ell \dot{\theta} = -V \tan \theta \quad (8)$$

まず、2つの車輪の位置関係から、式(2)が成立する。また、後輪点Bで横滑りをしないという条件の下では、車輪の運動学的性質から、そこでの一定速度をVとすると式(3)が成り立つ。

式(2)を時間tで微分して、式(3)を代入し、前輪点での速度を求めると、x、y方向の成分について、

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_A(t) &= V \cos \theta + V \tan \theta \cdot \sin \theta = V / \cos \theta \\ \dot{y}_A(t) &= -V \sin \theta + V \tan \theta \cdot \cos \theta = 0 \end{aligned} \right\} (9)$$

また、速度ベクトルの大きさについては、

$$V_A(t) = \sqrt{\dot{x}_A(t)^2 + \dot{y}_A(t)^2} = V / \cos \theta \quad (10)$$

がそれぞれ導かれる。これらは、操舵角を $\alpha = \theta$ とすることによって、前輪点がx方向のみ運動するという「操舵される前輪点」の運動の条件を表している。即ち、どのように操縦する

かがここに含まれる。

なお、FFとFRの式表現上の違いは、 $\ell \dot{\theta} = -V_A \sin \theta$ 、 $\ell \dot{\theta} = -V_B \tan \theta$ と一定速度を与える場所が違うだけであり、 θ が小さい範囲では殆ど同じである。ただ、大きい範囲では、操縦性に関して、運動学モデルの範囲でも、かなり違ってくるものと思われる。

IV. 低速車両の操縦と追跡曲線

1. 狙いの式の導出

図5に示すように、ある曲線路から希望直線進路に進入時あるいは希望直進路から外れた車両を元に戻すにはどのように操縦をすれば良いかということ横偏差がホイールベースよりも大きい場合について検討する。

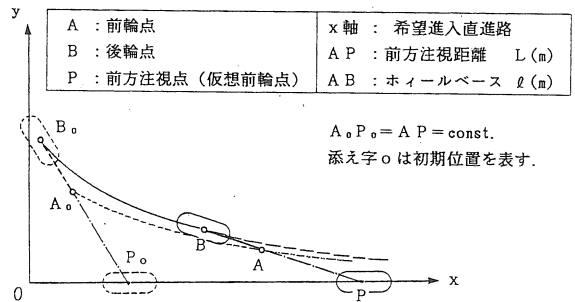


図5 仮想車両と注視点

近藤の狙いの微分条件は、車両中心線の延長と希望進路との交点Pとするとき、車両基準点とPまでの距離L (m)を常に一定にするような動点Pをみて操縦するということである。近藤自身が述べているように、これは明らかに犬曲線であり、前章で考察したことから、BPという仮想車両がx軸という希望進路に仮想前輪点Pを乗せていると考えることができる。従って、後輪点Bから注視点Pまでの距離をL (m)とすると、図5に示すように、仮想車両に対して、

$$L\dot{\theta} = -V \tan \theta \quad (11)$$

実際の車両に対して

$$\ell\dot{\theta} = -V \tan \alpha \quad (12)$$

が得られる。但し、 ℓ はホイールベース長、 α はどのように切るかという操舵角である。

上の両式は姿勢角、操舵角が微小であるとき次のように線形化される。

$$L\dot{\theta} = -V\theta \quad (13)$$

$$\ell\dot{\theta} = -V\alpha \quad (14)$$

式(13)が滑りのない極低速時の「狙いの運動を表す微分式」であることが導かれた(近藤の著書¹⁾3頁の式(11.1)に対応する)。

2. 操舵方式との関係

線形化した式から θ を消去すると、

$$\alpha = (\ell/L)\theta \quad (15)$$

となる。

希望進路から横偏差した車両が前方 L (m)の距離で希望直進路と交わるとすれば、理論上は操舵を、車両長 ℓ を L で除した係数に現在のヨー角を掛けた値と完全に一致させて切らねばならない。

しかし、この操舵方式では、一般に、希望直進路に収束せず横偏差をもつことが知られている¹⁾。その理由は、進入時の車両の初期状態で L の長さは一意的に決まっている。ところが、実際の操縦時には前方注視距離 L の目測に誤差が含まれ、その結果、仮想前輪点は希望進路と平行な別の直線上を走行するからである。

従って、狙いの条件から横偏差を加えた操舵方式は、直ちにはでてこない。近藤の予測モデルの発想にはある種の飛躍がある。

ただ、人による操縦であれ自動操向であれ、周囲環境からの情報検出には誤差が伴うので、極低速走行車両でも、姿勢角だけでなく横変位まで考慮した操舵制御が望ましい。

3. 予測操舵方式

近藤の仮定は「車両前方 L (m)の注視距離の横偏差 y_L に比例して操舵をする」ということである(図6)。

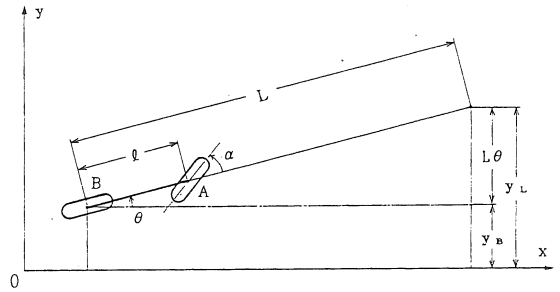


図6 前方予測モデル

$$\alpha = k_0 y_L = k_0 (L\theta + y_B) = k_0 y_B + k_1 \theta \quad (16)$$

但し、 θ は微小角で、 $k_1 = k_0 L$ とする。

ここで、 $dy_B/dx_B = \theta$ を式(16)に代入して、

$$\alpha = k_0 y_L = k_0 y_B + k_1 dy_B/dx_B \quad (17)$$

式(17)は現在の横変位 y_B のPD制御¹³⁾になっていることを表している。他方、式(15)では横変位の情報が欠落していた。

V. おわりに

犬曲線と低速度の車両運動の関係、特に操舵との関係を、車両の任意の操舵と運動に成り立つ基礎式をもちいて明らかにした。単体車両についてはこれまで色々の研究がなされているが、連結車両については自由度が増え、前進と後退運動で挙動が異なるなどの興味あることが多いにも拘わらず、どのように操縦するかというモデルはまだ確立されていない。将来、連結車両系作業機の自律走行を考えるうえでも操縦モデリングなどの基礎的な考察が重要になって来ると思われる。

参考文献

- 1) 近藤政市：基礎自動車工学——後期編——，養賢堂，1978，p. 2-7，p. 21-23，p. 226-227。
- 2) 吉本堅一：自動車運転者の操縦動作のモデリング，人間工学，Vol. 18，No. 6，1982，p. 301-305。
- 3) 古川修：操安性研究の歴史，自動車技術，Vol. 41，No. 3，1987，p. 307-314。
- 4) 矢野健太郎：数学小辞典，共立出版，1968，p. 159，p. 380。
- 5) 栗田稔：いろいろな曲線，共立出版，1966，p. 30，110-112。
- 6) 鳥巢，伴野：トレーラ系の後退運動時の操縦性に関する研究(1)，岩大農学部報告，Vol. 18，No. 2，1987，p. 179-191。
- 7) ロゲルギスト I：レールのいらない軌道車，新物理の散歩道(2)，中央公論社，1975，p. 38-50。
- 8) 江沢洋：詳解演習力学，東京図書，p. 7-8。
- 9) 後藤憲一：力学演習，共立出版，p. 16-17。
- 10) ロゲルギスト K：よこぐるま，物理の散歩道，岩波書店，1964，p. 148-154。
- 11) 鳥巢，武田，伴野：極低速時の連結車両の運動を表す基礎方程式，農機誌投稿中。
- 12) 鳥巢，武田，伴野：トレーラ輪に操舵機構を持つ2輪トレーラ系の基礎方程式について，東北支部誌，No. 36，1989，p. 45-50
- 13) 平尾収：人動車における計測と制御，計測と制御，Vol. 21，No. 7，1982，p. 681-683。

〔閲読者のコメント〕 自動操向などを考える上で有益な基礎研究と思われます。「横変位」を考慮すべきことが指摘されていますが，実際にはどのようなことが考えられますか。

〔コメントに対する著者の回答〕 単一車両については，希望直進路から横偏差（横変位）した車両を元の進路に戻す場合（図6参照），直進路から偏差した車体のヨー角にのみ比例したハンドル操作だと定常偏差が残り，横偏差だけに比例したハンドル操作だと，振動することが知られています^{1,2,13}。従って，(1)例えば，うねま間を自律走行させる場合等を考えるとき，横変位とヨー角を同時に検出し，両者がある適切な比率で操舵にフィードバックしないと安定した走行が得られません。(2)また，人の操縦の場合を考えても，例えば，田植え作業などで，出来る限り直進走行したい時など，注視点を出来るだけ遠くに置く方が良いということも，近藤の「遠くを見て運転せよ」という前方予測モデルの例で，横変位とヨー角の両方を戻しています。

本報では，単一車両の追跡曲線の隠れた性質について述べ，操縦動作モデルについては舌足らずになってしまいました。

これについては，今後，人が周囲環境からどのような情報を得，それをどのようにして操舵にフィードバックして車両系を運転しているのかということ，連結車両に拡張し，もう少し詳しく報告したいと考えています。

その場反転プラウに関する研究(I)

模型プラウの試作と実験

上出順一*・王世学*

Study on a Plow to Invert Furrow Slice at the Same Position (I)

Some Experiments with Model Plows

Junichi KAMIDE*, Shi-xue WANG*

Abstract

The conventional moldboard plow does not completely invert the soil slice. If the soil slice were completely inverted, secondary tillage could be performed with greater efficiency.

This paper described the new inverting moldboard plow which inverted furrow slices at the same position. The fundamental characteristics of the new plow are as follows:

- (1) furrow slices are completely inverted at same position without accompanying lateral displacement.
- (2) construction of plow is simple and operation is easy.
- (3) tillage depth is uniform and hard pan is flat.

The new plow consists of disk coulters, shares, moldboards and side press boards which are perpendicularly fixed to the moldboards. The furrow slices are turned by the moldboard being changed the direction of flow of soil slice by the side press board.

Some experiments showed that the new plow was successfully turned furrow slice at the same position. The greater the ratio of width/depth, the better the turning of furrow slices.

I はじめに

従来の発土板プラウでは、れき土は横方向へ移動するので内返し耕の場合には圃場の中央に高畝(中高)が生じ、外返し耕では中央に溝ができる。また互用プラウを利用する場合も圃場の片側に高畝、もう一方に溝ができる。このため、プラウ耕後の碎土均平作業には多くの時間と労力を要することになる。このようなことから我国の水田耕耘においてはプラウはほとんど使用されていない。

ところで、プラウは深耕が可能であり、また、れき土の反転性がよいことから、多収をねらいとする耕耘法としてプラウ耕はすぐれた面を持っているので¹⁾、耕起後の整地作業が容易に行ない得るならば、今後プラウ耕の普及が考えら

れる。プラウ耕の長所を生かしつつ中高等の欠点を克服する耕耘法として、その場反転プラウの利用が考えられる。その場反転プラウで順次耕を行なうとき、枕地での巡回徒走距離は短縮され、さらに、水田の場合にはプラウ耕後の均平・代かき作業が容易であるから、作業能率、エネルギー消費の面からみてもその場反転プラウの利用は大きなメリットを有する。その場反転プラウについては、我国においても若干の研究があり^{2), 3), 4), 5)}、また、特許も数多く出願されているが、実用的なものはまだ世に出ない状況にある。

ここでは、その場反転プラウの基本原理について述べ、さらに、その場反転プラウの模型を試作し、室内実験によって作業性能を検討した

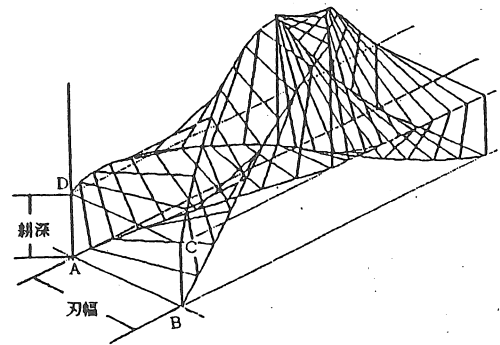
* 山形大学農学部

ものである。なお、設計試作にあたっての基本的設計条件は次の三点である。①れき土の側方への移動がなく、かつ、反転は完全であること、②プラウの構造が簡単で、かつ、操作が簡単であること、③深耕一様で、かつ、耕盤が平坦であること。

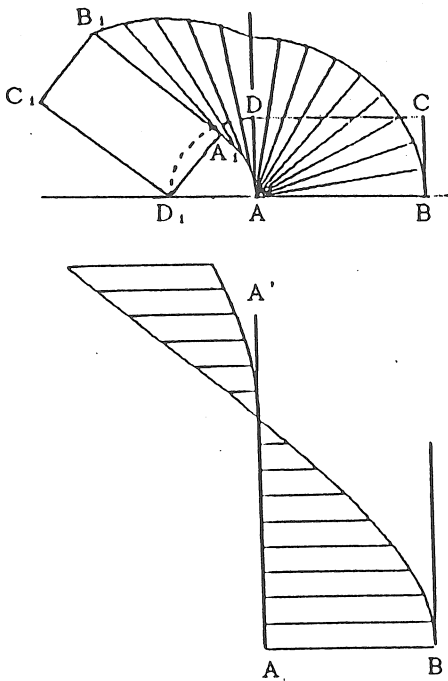
II その場反転プラウの原理

新墾地等で使用されるねん転形発土板プラウの曲面は基本的にはらせん面で構成されている。その発土板の基本形状及びれき土の動きは図一1のように示される。すなわち、切削されたれき土ABCD(断面)は、プラウの進行につれて、まず点Aを通り進行方向に平行なAA'線を中心に回転し、れき土底面ABが90度回転した後はD(D₁)点を中心に回転し、反転される。そして完全反転がなされた状態においてはれき土は上下が逆転しBD₁ = AB + BCだけ側方へ異動することになる。

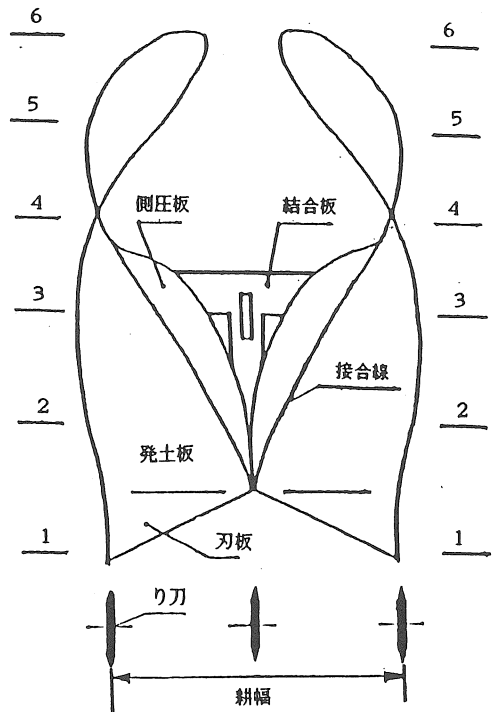
ところで、れき土の回転中心が進行方向に平行な線AA'でなく、進行につれて回転中心が側方へ移動し、すなわち、未耕状態における位置AからCへ向かう線を軸として回転し、ABが90度回転した後はCを通り進行方向に平行な線上で回転すれば、れき土は巾ABの空間において反転することになり、れき土の側方移動はなく、いわゆるその場反転が可能となる。図



図一2 その場反転プラウによるれき土の運動



図一1 ねん転形発土板(従来)



図一3 プラウの構造(平面図)

一2はその場反転プラウによるれき土の理論的な運動状態を示したものである。上述の原理によりれき土は同一れき条内で完全に反転することがわかる。

Ⅲ リ体の構成と作用

試作したプラウの構造の概略を図一3に示す。その場反転プラウは円板り刀、刃板、発土板、側圧板及び結合板の基本部分から成り、側圧板が中央部に位置するように、左右対称に構成される。なお、側圧板の高さは耕深に等しい。側圧板と発土板は対をなし、両者は接合線においてそれらの面が互いに直角になるように位置している。すなわち、接合線は側圧板と発土板が接合する部分で、れき土断面の回転中心(A)の運動軌跡であり、れき土はこの接合線に沿って移動しながら反転する。図一4はれき土の反転状況を図一3のプラウ発土板位置と対応させて、

れき土断面の動きで示したものである。両図中の数字は対応位置関係を示す。り刀によって垂直に切断され、刃板によって水平に切削されたれき土は側圧板から側方力をうけて横(外側)へ移動しながら発土板によって持ち上げられ、り体の中間点(4)で90度回転される。この状態は回転したれき土断面(ABCD)の点Aが図一2の未耕状態における点Cを通り進行方向に平行な線に重なったときである。中間点(4)を過ぎると発土板はれき土の上方から作用するようになり、面ABは内側に、面CDは外側に回転しながら、れき土はプラウの中心線に向かって放てきされ、反転する。そして、両れき土は発土板羽根尻を離れた後に衝突し、碎土される。

Ⅳ リ体の形状と特徴

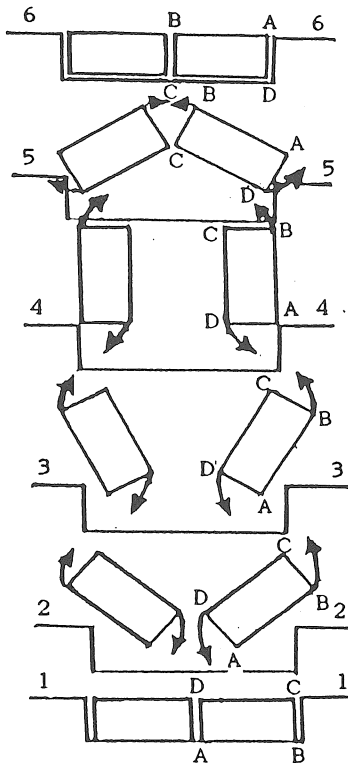
その場反転プラウの発土板の形状は、側圧板と発土板が交わる接合線の形によって異なる。今回は、次の3種類のを設計試作した。図一5にそれらの発土板の形状を原理的に示す。なお、3種ともらせん回転角は一定の進行距離に対して同じにとったが、らせん回転角を進行距離によって変化させることによって種々の変形発土板ができる。

(1) 直線形

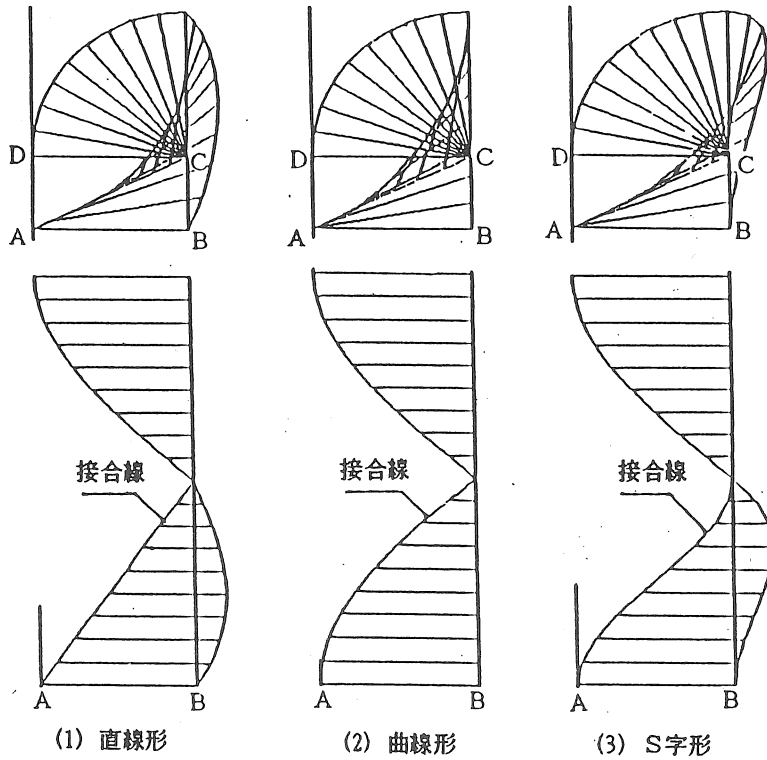
直線形はれき土の回転中心軌跡である接合線が点Aから点Cに直線になっているものである。なお、発土板の曲面はねん転形に属し、直線形は今回試作したその場反転プラウの基本形である。れき土はプラウの接合線に沿ってねじられるが、図一5(1)から明らかなように、れき土断面の点B、いわゆる発土板脛部の昇り線がれき溝壁、すなわち、り刀による垂直切断線の外側にはみ出してれき溝壁がくずれるという欠点がある。

(2) 曲線形

曲線形は直線形の欠点を防ぐため、接合線を



図一4 れき土の反転状況



図一5 発土板の形状3種

側圧板の方へずらしして曲線にしたものである。この場合のずらし量は直線形のはみ出し量に等しい。なお、図一2では、ずらし量は水平方向と同じだけ垂直方向にもとってある。

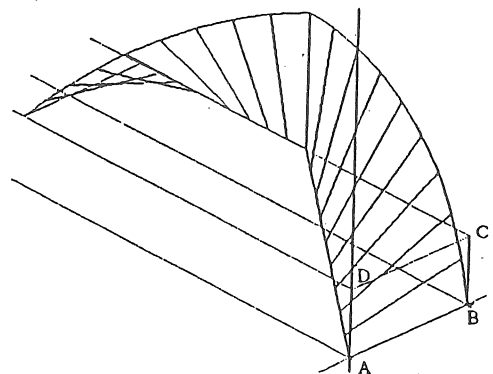
(3) S字形

前述の直線形及び曲線形では、れき土の回転中心はAからCへ向かう接合線として表わされ、れき土が90度回転した後の回転中心線は点Cを通り進行方向に平行な直線であるので、れき土の回転中心線はれき土の回転が90度になる点において不連続になる。この欠点を補い、れき土の反転が連続的に円滑に行なわれるように、れき土の回転中心線をS字形に滑らかに結んだものがS字形発土板である。S字形は直線形と曲線形を組み合わせた中間の形状であり、発土板脛部の昇線のれき溝壁外側へのはみ出しは直線形ほどではないにしても若干ある。しかし、

S字形ではみ出しは耕深BCより上部にあるのでれき溝壁への作用の程度はおおきくない。

V プラウの製作方法

試作した模型その場反転プラウを写真一1に示す。いずれも実機のおよそ1/3~1/4縮尺のものである。発土板の設計はパソコンを用いて行なった。すなわち、刃幅、耕深、発土板長等



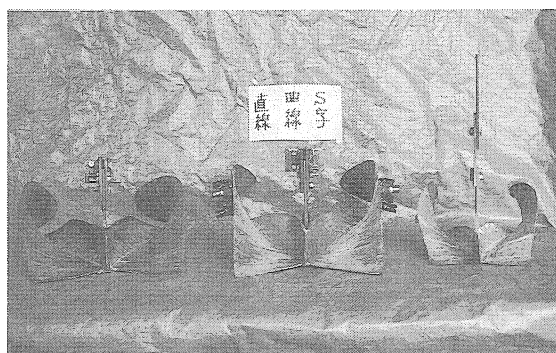
図一6 直線形発土板

のプラウ諸元，発土板の分割数及びり体の形状を入力することによって所要の計算がなされる。計算の結果として，発土板の基本的形状及びり土の反転状況の任意の方向からみたグラフィックス表示，分割された発土板の各要素の実寸大寸法による画面表示及び要素寸法の印刷，さらに発土板分割点（A，B）の座標が出力される。図一6は直線形発土板の基本形状をグラフィックス表示したものである。模型プラウは，0.5mm厚さの銅板を重ねて製作した。写真一2は木製治具（左）とそれに合わせて製作した発土板（右）である。製作に当たっては，まず，木製治具を前述の座標に基づいて作る。木製治具は基盤とその上に垂直に一定間隔に並べたベニヤ板より構成される。垂直ベニヤ板は座標に合わせて凹状に切り抜かれてある。つぎに，木製治具の内側の輪郭に沿って分割された銅板をつなぎ合わせて発土板を整形し，それに直角になるように側圧板を取り付けた後で表面を研磨する。そして，左右対称の二つの発土板を組み合わせ，結合板によりビームに固定する。なお，ビームへの取り付け角を変えることによりり体の前後傾斜角すなわちサクションを調節することができる。表一1は刃幅 = 125，耕深 = 50，発土板長 = 400，発土板分割数 = 16 の場合の直線形発土板の分割点（A，B）の座標を示す。ここで座標は未耕時の点Aを原点とし，プラウの進行方向にZ軸，り体の刃幅方向及び高さ方向にそれぞれX軸及びY軸をとった。

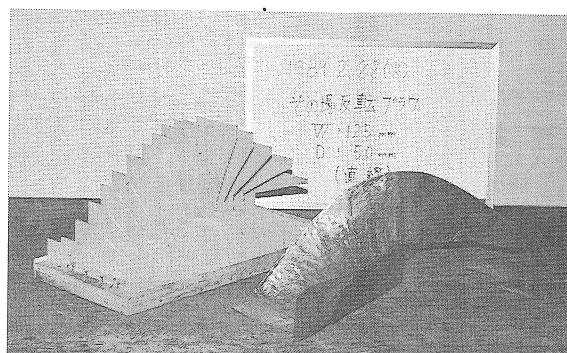
VI 実験方法および結果の概要

1. 方法

室内で土槽実験を行なった。長さ3.5mの土槽上の台車にプラウを装着し，けん引する。土壌は粘土ロー



写真一1 試作模型プラウ



写真一2 治具と発土板

表一1 発土板分割点の座標（直線形）

No.	Ax	Ay	Az	Bx	By	Bz
1	0	0	0	125	0	0
2	12.5	5	25	136	24.5	25
3	25	10	50	144	48.5	50
4	37.5	15	75	149	72	75
5	50	20	100	151	93.5	100
6	62.5	25	125	150	113	125
7	75	30	150	148	131	150
8	87.5	35	175	144	146	175
9	100	40	200	138	159	200
10	113	45	225	132	168	225
11	125	50	250	125	175	250
12	130	50	275	110	174	275
13	135	45	300	91	169	300
14	140	40	325	73	161	325
15	145	40	335	56.5	151	350
16	145	40	375	41.5	138	375
17	140	40	400	24	123	400

ムでフルイ分けしてきょう雑物を除去した土に適量の水を加えて攪拌し、約10kgの土槌でつき固めた。けん引速度はほぼ0.3m/sである。供試プラウの刃幅は、直線形で125mm、曲線形及びS字形は100mmで、耕深はいずれも約50mmとした。

2. 結果

(1) 直線形プラウでは、れき土はほぼ完全に反転されながら連続して耕起された。

(写真-3)

(2) 曲線形プラウでは、れき土が完全反転されたものが約60%、90度反転のものが20%程度であった。

(3) S字形プラウでは、完全反転率は約50%、90度反転のものは約20%であった。

VII おわりに

側圧板を有する発土板型その場反転プラウの模型を試作し、若干の実験を行なったが、実験

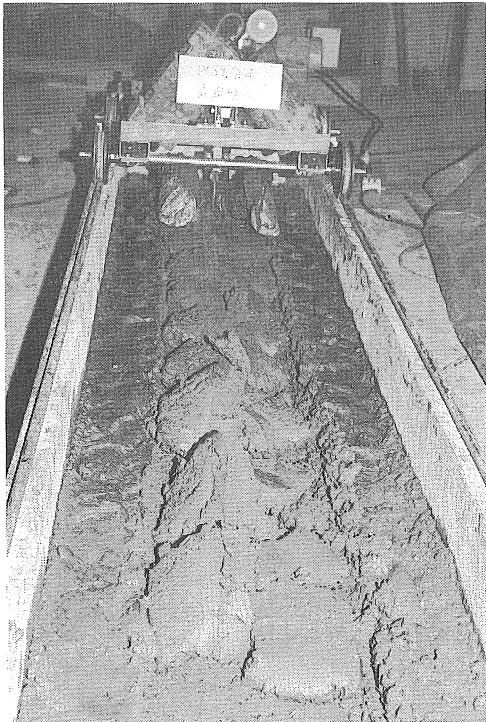


写真-3 実験結果の一例

結果からその場反転の可能性がみとめられた。なお、耕幅耕深比の大きいほど反転がよい。また、反転性能は発土板の形態、発土板の勾配、左右発土板羽根尻の間隔などの諸要因によっても影響をうけると考えられる。実験に供試した3種類の模型プラウは発土板の寸法に違いがあるので、発土板の形状による性能の違いを単純に比較は出来ない。今後さらに、り体の寸法や実験条件を整えた上で、けん引抵抗および反転性能を明らかにするとともに、合理的な発土板の形状及びプラウの装着方式について検討する予定である。

参考文献

- 1) 上出順一：水田の耕耘整地および施肥の機械化作業に関する研究，山形大学紀要（農学）8(2)，1979
- 2) 高北 耕，川村 登：同一位相，その場反転スキの研究(1)，第44回農機学会講演要旨，1985
- 3) 川村 登，タニヤニヤマパ，高北 耕：同一位相，その場反転スキの研究(3)，第46回農機学会講演要旨，1987
- 4) 田尻功郎，佐藤邦夫：特殊はつ土板プラウによる複合反転，第44回農機学会講演要旨，1985
- 5) 川村 登，高北 耕：同一位相その場反転プラウの研究，農機誌，50(5)，1988

〔閲読者コメント〕その場反転プラウの反転原理を検討し、厳密な模型を試作して研究を進められていることに敬意を表する。今後の研究の発展を期待する。

〔コメントに対する著者の見解〕種々の土壌条件に適応するその場反転プラウの設計は極めて困難といえよう。今後、れき土の運動解析と、原型機による実験を行なう予定である。

スピードスプレーヤの騒音低減に関する研究 (第2報)

福地 博*・金須正幸*・加藤弘道*

Noise Reduction of Orchard Air-Blast Sprayer (Part 2)

Hiroshi FUKUCHI*, Masayuki KISU* and Hiromichi KATO*

1. 緒 言

前報¹⁾では形状の異なる4種類の消音器を試作し、送風機吸込口に装着し、ファン騒音の低減を試みたが、後方及びオペレータ耳元において2 dB (A)の低下にとどまった。本報ではこのうち比較的実用性が高いと思われる吸収形消音器の1種であるスプリッタ型消音器をさらに改良し、あわせてベルマウスの効果についても検討した。吸収形消音器の特性については小幡ら²⁾の実験的研究があり、消音性能が周波数に対して連続して高周波域まで有効なため、SS送風機用の消音器としても有用であると考えられる。しかしながらSSの消音器として考えるときには長さ、外径などの寸法的制約があり、なお困難さが残っている。

なお実験に際しては当講座卒業の小野寺耕三君の協力を得たことを記して謝意を表する。

2. 実験装置及び

実験方法

供試した消音器は図

1に示すようにファン

後方にダクトを取り付け、この中に吸音材を貼った静翼部を挿入するものである。吸音材としてはグラスウールを前報4形と同様の方法で静翼の両面に貼り、その他の部分には吸音スポンジ(カームフレックスF1, 厚さ5mm, 密度33 kg/m³)を貼った。吸音部の長さは前報の1.5倍の0.6mとした。静翼枚数は動翼数が12枚であることを考慮して8, 10, 11枚とし、翼が半径方向を向くもの(直翼と呼ぶ)と、動翼の回転方向へ67.5度傾けたもの(傾斜翼)の6種類を供試した。また断面の曲率半径120mmのベル

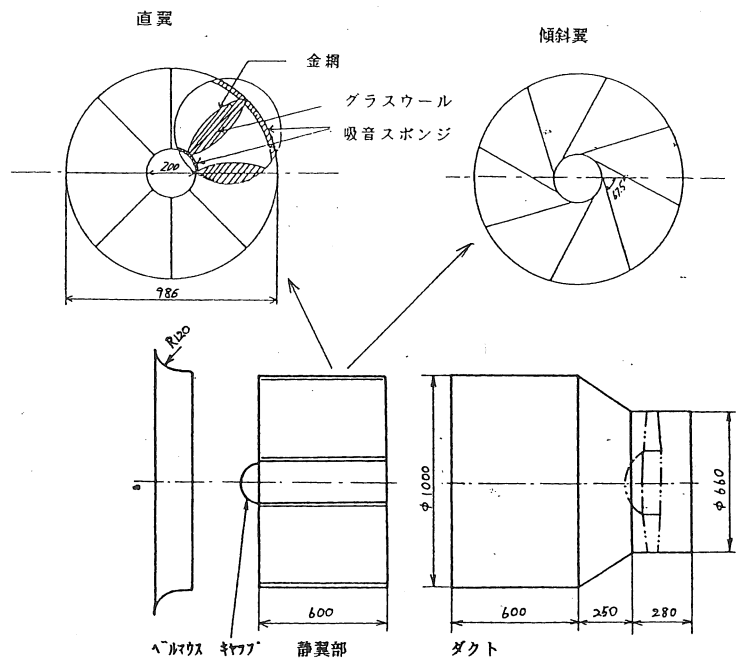


図1 供試消音器の概要

* 弘前大学農学部
Faculty of Agriculture, Hirosaki University

マウスを吸込口最前部に取り付けてその効果を検討した。鵜飼³⁾は渦流音を低減させるためには吸込みコーンをベルマウス状にして空気の剥離を少なくする必要があると言っているが、その寸法について規定している文献は見られない。ここでは大黒⁴⁾の方法を参考にし、またファンの下方でも曲率半径が一樣になるようにR120とした。ベルマウス及びキャップはFRPを用いて製作した。

騒音の測定方法は前報と同じであるが、ファンの回転速度はほぼ最大風量の2700 rpm および2500, 2300 rpmの3通りに設定した。風速は吐出し口の外周に沿った48点において熱線風速計(KANOMAX, MODEL 6611)により計測し、平均値を算出した。

3. 実験結果及び考察

図2にオペレータ耳元における騒音レベルを示す。左から対策前、エンジンカバーのみを装着した場合、以下エンジンカバーをつけて6種類の消音装置を装着した状態であり、さらにベルマウス(BM)の有無について示した。エンジンカバーの効果については前報でも述べたがここでも3~7 dB低下している。これにさらに消音器を付加すると1~3 dB低下したが、8枚翼では効果が低く、10枚翼がやや効果が大きい様に見受けられる。しかしながら、回転速度によっても効果の表れ方が異なりその差は顕著ではない。またBM装着時には2300, 2500 rpmで騒音が低くなり、翼枚数の少ない方がその効果が大きいようである。BM装着時に運転席において騒音が低下する原因の一つとして、吸込口の外半径が12 cm大きくなったことにより、遮音効果が得られたように思われる。

後方1 mにおける騒音レベルを図3に示す。主音源が送風機であることからエンジンカバー

の効果はほとんど見られないが、消音器を装着することによって3~5 dB低下し、翼数の多い方がその効果が大きかった。吸音形消音器の減音量R (dB)は次式で示される⁵⁾。

$$R = K \cdot P \cdot L / S \quad (1)$$

ここにP:ダクトの周長(m), S:ダクトの断面積(m²), L:ダクトの長さ(m), Kは吸音材の吸音率によって決まる係数である。グラスウールの吸音率はほぼ0.8以上と見なせる⁶⁾から、K=0.85となるので推定減音量は表1に示すように翼数と共に増加し、また傾斜翼の方が直翼に比べ翼長が約50 mm長いので減音量も大きくなる。図3の結果はこれとほぼ同様の傾向を示したが、減音量は推定値の約1/2にとどまった。これは後方1 mに於ける測定値には吸込口からの放射音のみではなく、吐出し口及び機体表面からの放射音も影響するためであり、吸込口からの放射音に対してはほぼ推定値通りの減音が出来たものと考えられる。

表1 供試消音装置の推定減音量(L=0.6 m)

翼型	枚数	S (m ²)	P (m)	R (dB)
直	8	0.54	6.7	6.3
	10	0.50	7.4	7.6
	11	0.47	7.8	8.4
傾斜	8	0.52	7.1	7.0
	10	0.46	8.0	8.7
	11	0.44	8.4	9.8

鈴木⁷⁾は静・動翼枚数の影響について研究し、その比が8/10または10/8の付近で騒音が低いと述べている。これは同時に交差する翼数の影響と考えられ、本実験の中では10枚の静翼がこの比に最も近いが同時交差の翼数が最も少ないのは11枚翼である。しかし周波数分析の結果から際だった特徴がみられないこと、静翼

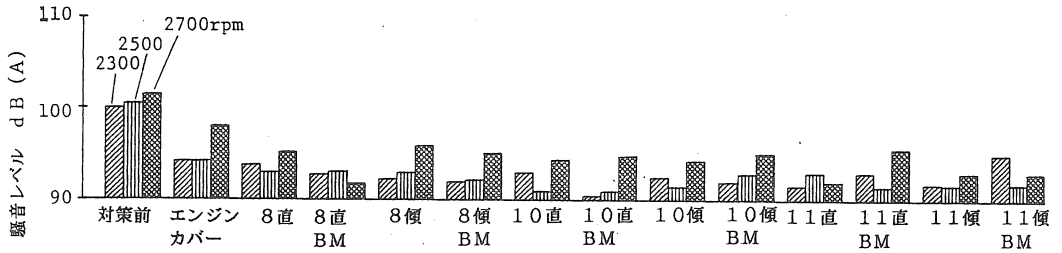


図2 オペレータ耳元における騒音レベル (数字は翼枚数, BMはベルマウス付)

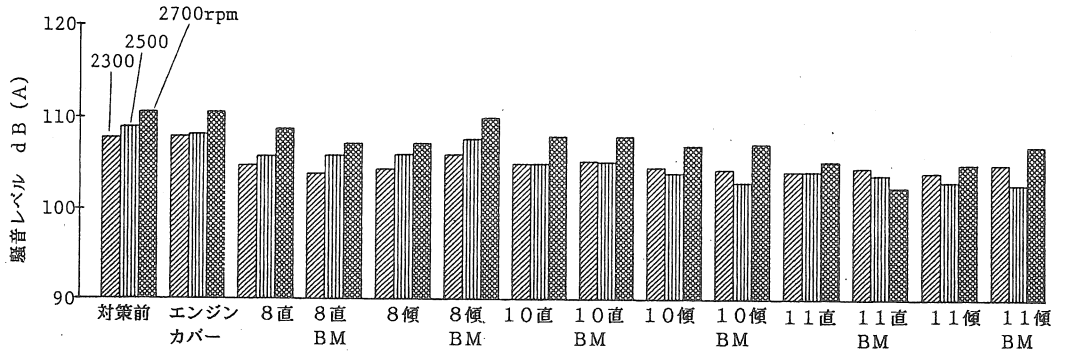


図3 吸込口(後方1 m)における騒音レベル (数字は翼枚数, BMはベルマウス付)

と動翼間の距離が250mm以上あり交差の影響が出にくいと考えられるので、上記の結果は周長Pと断面積Sの比 P/S の大きさの影響と考えられる。

また傾斜翼を用いた理由はPを大にすること他に静翼後縁線と動翼前縁線が交差するようにすることにより騒音を低減させるためであった^{4) 7)}が、これも上記と同様の理由で P/S が大になったことの影響と考えられる。

次にベルマウスの効果についてみると騒音が低下しているものもあるが一部では逆に増大しているものも見られ、その効果は一様ではなかった。本試験を通じて最も騒音が低かったのは11枚直翼にベルマウスを装着したもので、次いで11枚傾斜翼ベルマウス無しであった。

図4に示したのは消音器装着時の風量減少率である。いずれの消音器を用いても風量は数%減少したが、6形式全てについてベルマウスを装着することによりその減少率が小さくなった。

これは流入空気の流れがよくなるためと考えられる。また翼枚数の大なるほど、さらに傾斜翼の方がダクトの断面積Sが小さくなるので、流れ抵抗も大きくなり、風量も減少するのではないかと考えられたが、同枚数の静翼間では直翼と傾斜翼間に風量の差は見られず、図4はむしろ逆の傾向を示している様に見える。これは翼枚数を増してもまだ、表1のようにSが元の吸込口断面積 0.34m^2 よりも充分大きいので、流れ抵抗の影響が出なかったためと考えられる。なお8枚翼だけが風量減少率がやや大きい、この理由についてはさらに検討したい。

このように、ベルマウス装着による騒音の直接的な低減効果は図3のように顕著ではなかったが、図4に示されるように風量減少率を少なくすることが出来るので、若干低回転速度で使用することが出来ることは騒音低減につながると言える。

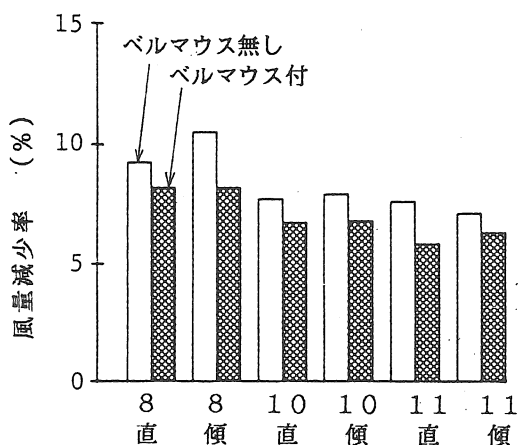


図4 消音器装着時の風量減少率
(2300~2700 rpmの平均)

4. 摘要

スピードスプレーヤ騒音の最も高い送風機吸込口に装着する吸収形消音器の効果を検討し、以下の結果を得た。

(1) オペレータ耳元騒音に対しては、静翼枚数、翼の傾斜角の影響は顕著ではなかったが、ベルマウス装着時には騒音が若干低く、この傾向は静翼数が少ないとき、及び回転速度の低いときに見られた。

(2) 吸込口における騒音は静翼数の多いほど、また直翼よりも傾斜翼の方がより低かった。減音量は3~5 dBで推定値の約1/2であったが、P/Sの大きさにほぼ比例する結果となった。

(3) ベルマウスは騒音の直接的低減効果は低かったが、消音器装着による風量減少を緩和するのに役立った。

参考文献

- 1) 福地 博・金須正幸・加藤弘道：スピードスプレーヤの騒音低減に関する研究，農業機械学会東北支部報 33，17-20，1986
- 2) 小幡輝夫ほか：吸収形消音器の消音特性（第2報），日本機械学会論文集（第2部）42巻363号，3507-3514，1976
- 3) 鵜飼義雄：流体機械の騒音対策，産業機械 321，22-24，1977
- 4) 大黒正道ほか：防除機用送風機の騒音低減（第5報），農業機械の安全性に関する研究，21-32，農業機械化研究所，1986
- 5) 福田基一：騒音防止工学，181-185，日刊工業新聞社，1976
- 6) 日本音響材料協会：騒音・振動対策ハンドブック，608-610，技報堂出版，1982
- 7) 鈴木昭次・金光陽一：軸流送風機の騒音低減の実験的研究，日本機械学会誌No.623，1670-1676，1970

〔閲読者コメント〕 SSの騒音レベルはオペレータの耳元及び吸込口付近で100 dB(A)を越えており、作業環境として好ましくない。早急にかつ効果的な騒音低減策が望まれる。複合的な騒音対策の中で、吸音材の厚さ、交差翼数による効果及びBMの形状は、今後さらに検討して欲しい。

〔著者の見解〕 最近の日本産業衛生学会の勧告によれば、8時間の連続作業に対して85 dB(A)となっております。SSの作業が断続的に行われることを考慮しても、運転席において90 dB程度を目標にしたいと考えています。

小麦乾燥での水分むらとこれに起因する水分計の精度

西山喜雄*・水沢秀一*

Accuracies of Moisture Meters effected by Moisture Content Deviations of Wheat
during Drying

Yoshio NISHIYAMA*, Shuuichi MIZUSAWA*

Abstract

Accuracies of moisture meters based on moisture deviations were investigated and the following results were obtained.

- (1) Arithmetic mean moisture content in wet basis of Individual Grain Moisture Meter (Shizuoka Seiki, CTR-800) differs from the moisture content measured by the standard oven method which is theoretically expressed in eq.(3), where M_d is the arithmetic mean moisture content in dry basis. Differences between arithmetic mean M. C. of individual grains and M. C. from the standard method were computed and shown in Fig. 1.
- (2) Moisture content deviations of wheat during drying were measured at a rice center as shown in Tab. 1.
- (3) Electric resistance type moisture meters tend to show rather higher resultant resistance for mixed grain of different M. C. than the arithmetic mean M. C. as shown in Fig. 4. Using the resistance vs. M. C. characteristic for 1kHz AC voltage input, parallel combinative resistance model expresses well this phenomenon as shown in Fig. 2. However, the characteristic of electric resistance vs. M. C. shown in Fig. 5, which was measured by 50Hz AC resistance type moisture meter (Kett Electric Lab., PB-1K), shows invalidity of explaining this phenomenon by the parallel combinative resistance model.

I. はじめに

穀類の水分測定は、刈り取り時、乾燥および貯蔵中の操作・品質管理において最も重要である。しかしながら、測定器や測定法によって、特に水分むらのある試料や周囲と温度の異なる試料を測定すると、標準法（105℃-5時間炉乾法）とは異なった水分を示すことがある。また、収穫時の穀物の水分分布の偏差が大きいと、乾燥終了時まで水分むらが残る、品質上好ましくないと考えられる。そこで、小麦乾燥におけ

る乾燥過程での水分むらの推移を調べ、水分むらが水分計の指示値に与える影響について検討した。

II. 水分分布が含水率計指示値に与える影響

(1) 算術平均水分と標準法の水分の相違

単粒水分計（静岡製機，CTR-800）の平均値は、各粒の水分値（％，*w. b.*）の算術平均値である。しかし、これと同じ分布を持った試料を炉乾法による標準法で測定すると、算術平

* 岩手大学農学部

均値とはならない。いま、粒数 n 個の乾物質量を d_i 、水分質量を w_i とすれば、単粒水分計の水分平均値 (算術平均値) M_A は、

$$M_A = \frac{1}{n} \sum \left\{ \frac{100 w_i}{d_i + w_i} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

標準法による水分値は、

$$M_S = \frac{100 \sum w_i}{\sum (d_i + w_i)} \dots\dots\dots(2)$$

もし、水分と乾物質量の間に相関がないとすれば、 $d_i = d$ (一定) としても結果は変わらないので、

$$M_S = \frac{M_d}{100 + M_d} \dots\dots\dots(3)$$

ただし、 M_d は、 $M_d = \frac{1}{n} \sum \frac{w_i}{d}$ であり、乾

量基準含水率の平均値である。従って、単粒水分計の水分平均値を標準法で得られる水分値 (M_S) と一致させるには、(3)式のように乾量基準含水率の平均を出し、それを湿量基準含水率に変換すべきである。このようにして得られる水分 M_S を標準平均水分と呼ぶものとする。水分分布が正規分布をするものとして、水分の平均値 (すなわち、算術平均水分 M_A) や標準偏差によって、標準平均水分が算術平均水分とどの位異なるかを、差 ($M_S - M_A$) で示したのが図1である。この計算は500個の正規分布乱数を発生させて行った。これから、標準平均水分は算術平均水分より高い値となるが、その差は標準偏差が大きい程、また平均水分が高い程大きくなる。

(2) 水分むら水分計指示値に与える影響

どの粒も同じ水分 M [%、w. b.] であるような穀粒の一定量を、抵抗式水分計で計測したときの電気抵抗を $R(M)$ とする。いま、 n 個の異なる水分の穀粒のうちの、ある1個の含水率を M_i とすると、各粒の抵抗が並列結合をしているときの合成抵抗 R は、

$$R = \frac{n}{\sum \{1/R(M_i)\}} \dots\dots\dots(4)$$

あるいは、水分 M の穀粒の分布密度を $p(M)$ とすると、並列結合の合成抵抗は、

$$R = 1 / \{ \int (p(M) / R(M)) dM \} \dots\dots\dots(5)$$

もし、抵抗 $R(M)$ が水分 M に対して、

$$R(M) = 1 / (aM + b) \dots\dots\dots(6)$$

の関数形で表されると、(5)式の合成抵抗は、

$$R = 1 / (aM_p + b) \dots\dots\dots(7)$$

ただし、 M_p は次式で表される平均水分で、前述の算術平均水分 M_A と同義であり、標準水分 M_S より若干小さくなる。

$$M_p = \int p(M) M dM \dots\dots\dots(8)$$

また、抵抗 $R(M)$ の特性式が(6)式で表され

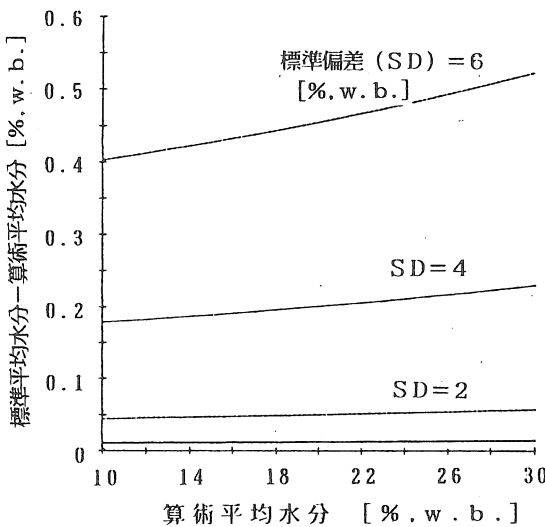


図1 水分むらによる標準平均水分と算術平均水分の差異

Fig 1 Differences between measured M. C. values by the standard method and arithmetic means from individual kernels.

るときは、水分計の指示値は M_p に等しい。

水分 M_1 と M_2 の穀粒を混合したとき、 $R(M)$ の曲線が M_1 と M_2 を通る(6)式の曲線より上側になれば、水分計の指示値は M_p より大きくなり、下側になれば小さくなる。

各粒の抵抗が直列結合のときの合成抵抗は、並列結合の場合に対応させると、

$$R = \int p(M)R(M) dM \quad \dots\dots(5)'$$

水分計の指示値が M_p に等しくなるときの、水分に対する抵抗の特性式は、

$$R(M) = aM + b \quad \dots\dots(6)'$$

となり、直線である。

西山らの実測によれば¹⁾、一定質量の小麦に直流電圧を印加したときの抵抗は、水分 15～20%では、ほぼ(6)式で表され、1 kHz の周波

数の交流電圧を加えた時の小麦の抵抗 $R(M)$ の形は、水分 $M < 14\%$:上に凸、 $14\% \leq M \leq 17.5\%$:直線、 $17.5\% < M$:双曲線である。したがって、水分の異なる小麦粒が混合した試料を計測するとき、合成抵抗が並列結合で表されるときは、直流抵抗式では、水分計指示値はほぼ M_p となる。1 kHz の交流抵抗式では、水分 $M \leq 17.5\%$ では、水分計指示値は M_p より大きくなり、 $17.5\% \leq M$ では、ほぼ M_p に等しくなる。例として、1 kHz の交流抵抗式で、15%と17.5%の小麦(すなわち、直線的抵抗特性の区間)が混合した試料を測定したときの、混合割合による水分指示値と標準水分(M_s)の値を図2に示す。標準水分は平均水分(M_p , 算術平均水分 M_A と同じで、直線となる)とほとんど同じであるが、水分指示値は平均水分よりもかなり高い値となっている。

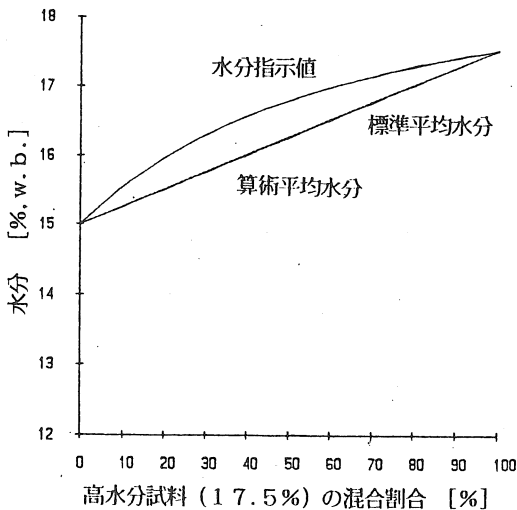


図2 異水分(15%と17.5%)混合試料の混合割合と1kHz交流抵抗式水分計指示推定値

Fig. 2 Estimated M.C. for mixed grain of different M. C. if measured by the 1 kHz AC resistance type moisture meter.

III. 実験方法

含水率測定を試料は、1988年度東北農試で栽培収穫した小麦(八幡)を、水分15%で低温貯蔵させたものを加湿調湿したもの、岩手県飯岡農協ライスセンターへ搬入された1989年産小麦、および、1989年度東北農試で栽培収穫した小麦(八幡)を乾燥調湿したものを使った。

加湿方法は、初めにビーカーに試料と水を加え、そのまま1～2時間程度置いた後、水を捨てた試料をビニール袋に詰め、これを密封し冷蔵庫内に5日～7日間保存して、各粒の含水率を高めると同時に含水率の均一化を計った。

実験に供試した水分計は、ライスタL(ケット科学研究所)、単粒水分計CTR-800(静岡製機製)および、PB-1K(ケット科学研究所)である。また炉乾法としては、タバイPS-112および、EYELA WFO-4500を使用し、5g粉砕105℃5時間法(標準法)で測定するか、

表1 ライスセンターでの乾燥過程中小麦の水分むら

Tab. 1 Standard deviation change of moisture content for wheat during drying at a rice-center.

No.	月/日	水分 [% w. b.]	標準偏差 [% w. b.]	測定時の状態
1	7/13	27.2	4.60	7/13に搬入直後
2	7/14	27.7	4.58	ドライストア内(1日後)
3	7/15	26.8	2.08	ドライストア内(2日後)
4	7/17	22.3	1.30	ドライストア内(4日後)
5	7/17	16.4	1.76	7/11搬入小麦と混合して乾燥開始直後
6	7/19	17.2	1.44	乾燥開始5時間後
7	7/20	15.8	0.57	乾燥開始27時間後
8	7/21	13.6	0.77	乾燥終了時

10 g 粒 135 °C 24 時間法で測定し、伴の換算式²⁾で標準法に変換した。

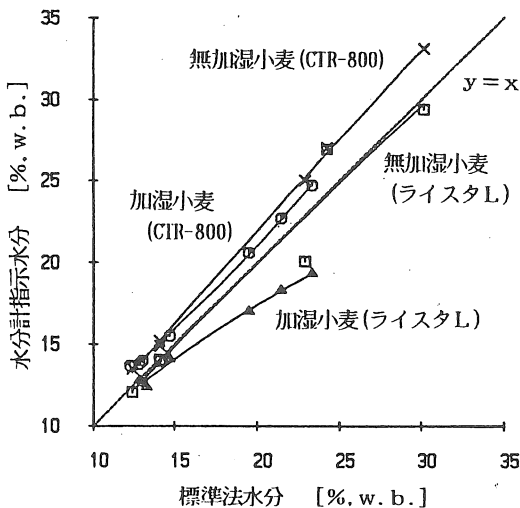


図3 水分計指示水分と標準法による水分との比較

Fig. 3 Comparison between moisture contents measured by moisture meters and the standard oven method.

IV 実験結果および検討

(1) ライスセンターにおける水分むらの推移

岩手県飯岡農協ライスセンターに、1989年7月13日に搬入された小麦について、搬入から乾燥終了(7月21日)までの、乾燥過程における水分および水分の標準偏差の推移を追跡調査した結果を表1に示す。試料はフィルムケースに入れて持ち帰り、その日のうちに標準法で水分を、単粒水分計で水分むら(標準偏差)を測定した。水分はドライストア中で漸増している(No. 1とNo. 2)のは、穀粒が均一に混合されていないための、試料誤差であろう。水分むらは、搬入時にはかなり大きい。乾燥が進むにつれて少なくなるが、乾燥終了時にも水分むらは残っている。乾燥終了時の水分標準偏差値が大きいと、仕上げ穀粒中の過乾燥の度合いと量も大きくなる。それ故、高品質の乾燥製品を作るためには、標準偏差値は小さくすべきであり、またそのような観点から標準偏差値を指標として使うことができるであろう。

(2) 水分計指示値と標準法水分値との比較

抵抗式水分計の水分指示値と標準法で測定し

た水分は、仕上げ水分の15%近辺ではかなり大きく、PB-1Kでは約2%高いという報告³⁾がある。そこで、飯岡農協ライスセンターから1989年に採取した小麦および、前述の方法で加湿した小麦に対して、単粒水分計(CTR-800)およびライスタLで水分を測定し、標準法による含水率と比較してみた(図3)。単粒水分計の水分指示値は、加湿・無加湿にかかわらず標準法による水分より多少高い値を示した。標準偏差(0.4~4%, w. b.)によって標準平均水分を求めれば更にやや高くなる。ライスタLについては、標準法による水分より低い値を示す傾向がみられた。特に加湿した小麦では、高水分になるとかなりの誤差が現れた。このように、同じ試料でも水分計が違ると、また同じ水分計で

も、穀粒中の水分分布や穀粒間の水分むらなどによって、水分指示値はかなり異なることが分かった。

(3) 水分むらが水分計指示値に及ぼす影響

抵抗式水分計で水分の異なる穀粒が混ざった試料を測定すると、平均水分より高水分側にシフトした指示値を示すことが知られている。これは、並列結合モデルを想定し、合成抵抗の示す水分は、平均水分より高くなるからと説明されている⁴⁾。しかし、II(2)で述べたように、ライスタLなどの直流抵抗式では、水分に対する抵抗特性が(6)式で表されるから、水分計の指示値は算術平均値に等しくなるはずである。

高水分側へのシフト現象を調べるため、50 Hzの交流抵抗式であるPB-1Kを使用し、水分13.1%と16.9%の小麦の、混合割合を変えた試料で測定した結果を図4に示す。この結果

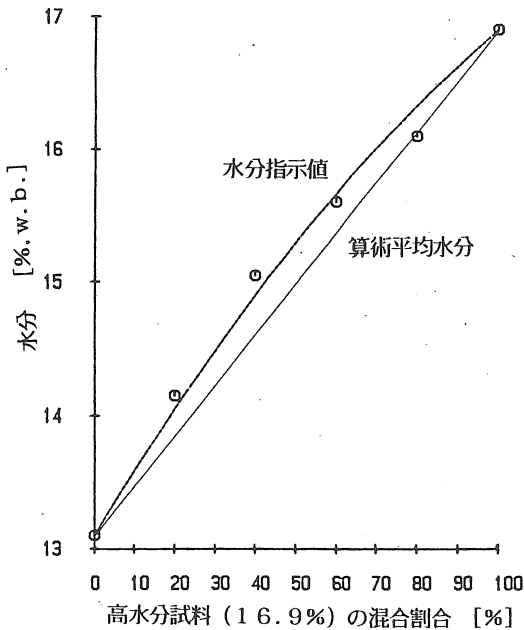


図4 異水分(13.1%と16.9%)混合試料の混合割合と水分計(PB-1K)指示値

Fig. 4 Moisture contents for mixed grain of different M. C. measured by 50 Hz resistance type moisture meter(PB-1K).

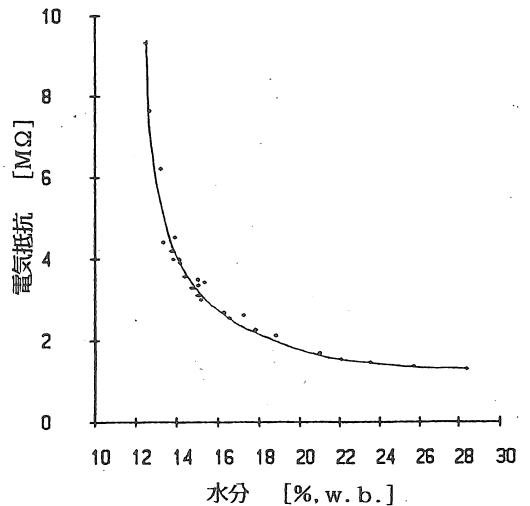


図5 PB-1Kによる小麦水分と電気抵抗

Fig. 5 Electric resistance vs. M. C. of wheat measured by PB-1K. Resistances were obtained by measuring electric current flowing in the meter circuit.

は、図2に示した計算結果と類似し、水分指示値が平均水分より高く表示されることを示している。ただし、図2の計算結果程高くはならず、高水分側へのシフト量は計算値の約半分である。50Hzの交流抵抗式の水分-抵抗特性は、直流抵抗式と1kHz交流抵抗式の間的特性と考えれば説明ができる。そこで、PB-1Kの水分-抵抗の特性を測定回路中で調べてみた。水分メータをはずして電流計(東亜電波, PM-18C)を付けて電流を計測した。試料への印加電圧は、抵抗の分かったメータ検定用抵抗を入れて電流を測定して求めた。このようにして求めた水分と抵抗の関係を図5に示す。この結果からは、水分-抵抗曲線は(6)式に近い曲線である。これから判断すると、指示値の高水分側へのシフトはほとんどないはずである。したがって、並列結合モデルでは、高水分へのシフト現象を完全には説明できないようである。

V. まとめ

小麦乾燥中の水分むらに起因する含水率計の指示値に関して、次の事項を検討し明らかにした。

- (1) 算術平均水分と標準法で測定される水分(標準平均水分)は異なることを示した。

- (2) 水分分布関数と合成抵抗の関係を示し、水分計指示値と平均水分との関係を明らかにした。

- (3) ライスセンターでの小麦乾燥中の水分むら(標準偏差)の推移を計測した。

- (4) 水分の異なる混合穀粒の水分計指示値が高水分側にシフトする現象は、並列結合モデルで完全には説明できない。

本研究に当たりご協力いただいた、東北農試矢治幸夫氏および飯岡ライスセンターの諸氏に感謝の意を表す。

VI. 参考文献

- 1) 西山喜雄, 斉藤安彦: 穀類含水率と電気的特性の関係, 農業機械学会東北支部報, No. 23, 1976, pp. 24-28.
- 2) 伴 敏三: 穀物の水分測定法の基準について, 農業機械化シンポジウム(4), 農産物の貯蔵, 農業機械学会, 1975, 40.
- 3) 伴 敏三: カントリエレベータが取扱うモミの品質に関する試験結果, 八郎潟干拓地耕地整備委員会総括報告書, 1972, 364-384.
- 4) 増馬浩志: 水分計最近の技術動向, 日工フォーラム, 1989, 10(7), 80.

[読者コメント]

水分むらの水分計指示値に及ぼす影響が、基礎的によく検討されていると思います。

[著者回答]

水分むらがあるとき、水分計指示値が高めに出る現象を並列モデルで説明できなかった点、残念ながら未解決です。

トレーラ輪に操舵機構を持つ2輪 トレーラ系の基礎方程式について

鳥巢 諒*・武田純一*・伴野達也*

On the Fundamental Equations of Tractor and Steered-wheel Trailer Combinations.

Ryo TORISU*・Junichi TAKEDA*・Tatsuya BANNO*

I はじめに

一般に、連結車両はその形態より連結車両固有の特性¹⁾を持つことが知られている。この中で、農業の場で特に問題になるのは、(1)トラッキング問題と、(2)ジャックナイフイング問題である。ここでは、トラッキング問題と呼ばれる領域を考える。農業の場では、トラクタの通った轍をトレーラあるいは作業機の手輪が通った方が良い場合：オントラッキング問題と、通らない方が良い場合：オフトラッキング問題がある。

第一の場合は、圃場等の軟弱地面では、手輪の転がり抵抗が大きく走行性に難があることが多い。このような場合、轍跡の土壌は締め固められるので、その上を次に走行する手輪の転がり抵抗は大きく減少する。従って、このような場合、特に重い積み荷を搭載したトレーラ手輪等はその転がり抵抗も大きいので、極力トラクタと同一軌跡になるように走行するほうが望ましい²⁾。

第二の場合は、soil compaction問題である。一般に、轍は、膨軟な圃場土壌を締め固め、植生に悪い影響を与える。従って、作物間を走行するトラクタ・管理機等は“前車の轍”を踏まない方がよい。

これらトラッキング問題を、従来型のトラクタ・トレーラ系で解決しようとする、オペレータは、後続するトレーラ部がオンあるいはオ

フ・トラックするようトラクタが通過した後、トレーラ輪が通過する前に操舵をし、系の運動を制御しなければならない。

これは、単体車両と同様に³⁾、連結車両の運動の自由度と操縦の自由度が異なるためであり、2輪トレーラ系の場合には、それぞれ、3つと1つ（速度を一定とした場合）である。ところが、トレーラ手輪を操舵すると、操縦の自由度がひとつ増加し、トレーラ部の運動可能性が大きくなる。このため、理論上は、系に、ある運動をさせる時、トラクタ操舵角とトレーラ操舵角をそれぞれ独立に操舵することが考えられる。また、そこまでいなくても、トレーラ操舵輪をトラクタ操舵角のある関数として操舵し、系の運動性能の向上を計ることが考えられる。後者の例としては、3点リンク部の運動とトレーラ操舵輪機構をメカニカルな方法で連動させ、トレーラ輪を操舵し、内輪差の解消、トラクタへの追従性の改善を図ったトレーラも開発・市販されはじめた⁴⁾。

このトレーラ輪に操舵機構をもつ系（以後、トレーラ部を操舵輪トレーラ、系を操舵輪系という）のトラッキング問題、即ち、後続の作業機がトラクタと同じ走行軌跡になるようにトレーラ輪操舵を制御することや、あるいは、圃場での自律走行を実施するためには、2つの操舵角と系の運動との間に成り立つ基礎方程式を求める必要がある。

本論文は、操舵輪系の中で最も基本的である2輪トレーラ系について、トラクタ部とトレーラ部にそれぞれ操舵角を与えた場合に、系の運動と2つの操舵角の間に成り立つ基礎方程式を求めることを目的とする。また、操舵2輪トレーラ系のスラローム実験を行ったので、その結果を報告する。

II 操舵輪系の操舵と運動の間に成り立つ関係

圃場作業では、一般にトレーラ系は低速走行であること、また、トラッキング問題の本質を端的に示すために、以下に示す仮定を採用し、基礎方程式を導く。

(a) トレーラ系は極低速運動をし、車輪には横滑りは発生しない。(b) 系の運動する平面は平坦で、各車輪はその進行方向にのみ速度ベクトルを持つ。(c) トラクタはアッカーマン操舵機構を有し、一定速度で後輪駆動されている。(d) 各左右車輪を、それぞれ車軸中心の1個の車輪で代表する。(e) 各操舵角は車軸中心線で左右操舵角の算術平均とする。

以上の仮定より、極低速時の操舵2輪トレーラ系の運動は標準的なトレーラ系^{6), 7)}と同様に運動学モデルで表される。操舵2輪トレーラの運動は、後で示すように、本質的には、トラクタを含む一般の4輪操舵形式(4WS)の単独車両の運動に帰着される。従って、始めに4WSの極低速運動時に成り立つ関係式を求める。

III 4WSの操舵と運動の間に成り立つ関係

1. 4WSトラクタの基礎方程式

今、図-1において、4WSを後輪駆動とし、後輪点Bでの速度を $V_B = \text{一定} = V$ とすると、このベクトルのトラクタ軸への正射影 $V \cos \alpha_2$ と、点Aの速度ベクトル V_A の正射影 $V_A \cos \alpha_1$ は等しい。即ち、次式が成り立つ。

$$V \cos \alpha_2 = V_A \cos \alpha_1 \quad (1)$$

また、点Bの速度ベクトルの地上固定座標系成分は

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_B \\ \dot{y}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \cos(\theta - \alpha_2) \\ V \sin(\theta - \alpha_2) \end{bmatrix} \quad (2)$$

さらに2点A B間の位置関係から

$$\begin{bmatrix} x_A \\ y_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_B + \ell_1 \cos \theta \\ y_B + \ell_1 \sin \theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

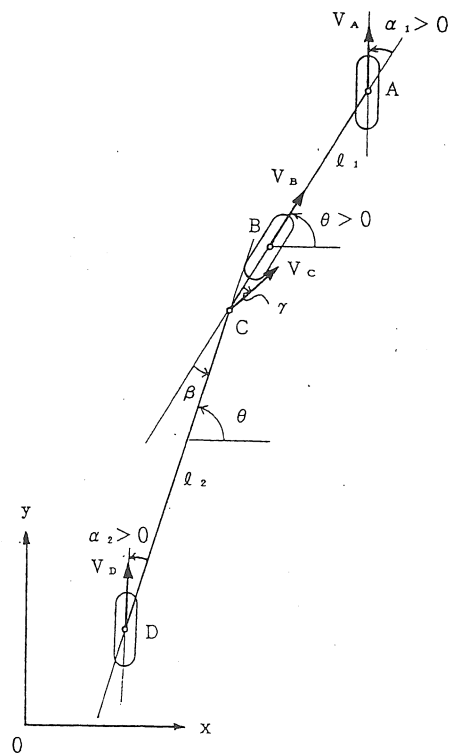


図1 4輪操舵車両の運動学モデル

(3)を時刻 t で微分した式と式(1), (2)から X_A , X_B を消去すると

$$\ell_1 \dot{\theta} = V(\tan \alpha_1 \cos \alpha_2 + \tan \alpha_2) \quad (4)$$

が得られる。

即ち、4WSのトラクタの姿勢角 θ は、前・後輪の操舵角 α と α_2 によって定まる。なお、ここで、 $\alpha_2 = 0$ とすると、式(4)は、前輪操舵トラクタに成り立つ関係式(5)になり、4WSが2WS^{6), 7)}の拡張になっていることが解る。

2. トラクタ (ℓ_1 要素) に成り立つ関係

図一2に示すトラクタ部には、次の関係が成り立つ。

$$\ell_1 \dot{\theta} = V \tan \alpha_1 \quad (5)$$

$$h \dot{\theta} = V \tan \gamma \quad (6)$$

ただし、 h はヒッチ点長さ (= BC)。

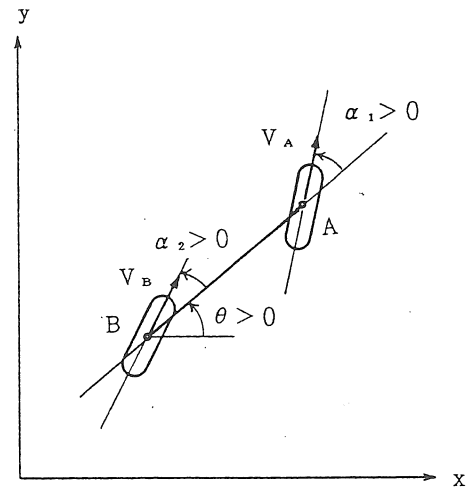


図2 操舵輪トレーラ系の等価モデル

IV トレーラ輪操舵系に成り立つ基礎方程式

1. トレーラ部 (ℓ_2 要素) に成り立つ関係

以上の関係を利用し、トレーラ輪を操舵する場合の角度の間に成り立つ関係を求める。今、図一3に示すようにトレーラ輪を操舵角 α_2 で操作したとする。このとき、ヒッチ点Cの速度ベクトル V_C とトラクタ軸とのなす角 γ との間には、次式で示される関係が成り立つ。

$$\dot{x}_c = V_C \cdot \cos(\theta - \gamma) \quad (7)$$

これは、トレーラ部を切り離し、単独の車両と仮想すると、 ℓ_2 要素の仮想4WSトラクタが前輪操舵角 $(\beta + \gamma)$ 、後輪操舵角 α_2 で運動していることになる。したがって式(4)より $\ell_2(\dot{\theta} + \dot{\beta}) = V_D(\tan(\beta + \gamma) \cdot \cos \alpha_2 + \tan \alpha_2)$ (8)

他方、点Dについては、それぞれ

$$\dot{x}_D = V_D \cdot \cos(\theta_2 - \alpha_2) \quad (9)$$

$$x_D = x_C - \ell_2 \cdot \cos(\theta + \beta) \quad (10)$$

がなり立つから、式(10)を時間微分して

$$\dot{x}_D = \dot{x}_C + \ell_2 \cdot \sin(\theta + \beta) \cdot (\dot{\theta} + \dot{\beta}) \quad (11)$$

式(1)~(11)の関係から x_C , x_D , V_C , V_D を消去整理すると、

$$(\dot{\theta} + \dot{\beta}) + \frac{V}{\ell_2 \cos \alpha_2} \sin(\beta + \alpha_2) +$$

$$\frac{h \dot{\theta}}{\ell_2 \cos \alpha_2} \cos(\beta + \alpha_2) = 0 \quad (12)$$

が得られる。

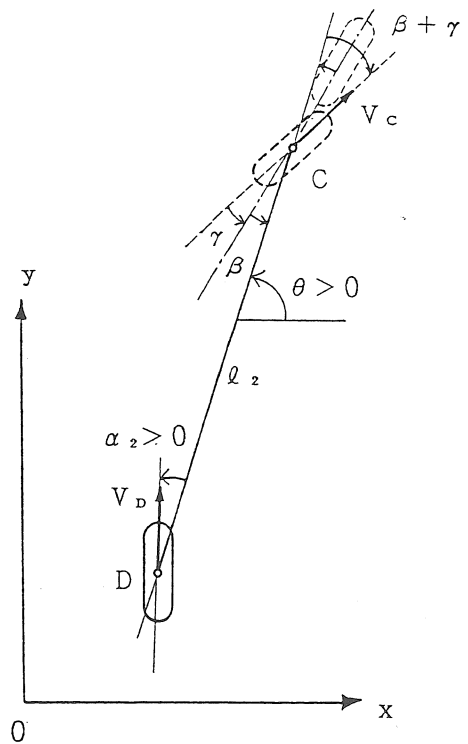


図3 操舵輪トレーラ系と仮想4WS

なお、この式において、 $\alpha_2 = 0$ とおくとトレーラ輪を操舵しない通常の2輪トレーラ系の折れ曲がり角の関係に帰着される⁷⁾。

2. 操舵系の角度と位置を表す基礎方程式

操舵機構を有する2輪トレーラ系の2つの操舵と運動の間に成り立つ関係を以下にまとめる。

〔角度について〕

角度については2つの微分方程式で表される。

まず、トラクタ姿勢角 θ と操舵角 α_1 には次の関係が成り立つ。

$$\dot{\theta} = (V/\ell_1) \cdot \tan \alpha_1 \quad (5')$$

トレーラ折れ曲がり角 β は、姿勢角 θ とトレーラ輪操舵角 α_2 の関数として、次式で表される微分方程式となる。

$$\begin{aligned} (\dot{\theta} + \dot{\beta}) + \frac{V}{\ell_2 \cos \alpha_2} \sin(\beta + \alpha_2) \\ + \frac{h \dot{\theta}}{\ell_2 \cos \alpha_2} \cos(\beta + \alpha_2) = 0 \quad (12) \end{aligned}$$

〔位置を表す関係〕

各点の座標に関しては、点Bについて、次の微分方程式で示される。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_B \\ \dot{y}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \cos \theta \\ V \sin \theta \end{bmatrix} \quad (13)$$

残りの座標については、各点の位置関係からそれぞれ次の代数関係で表される。

$$\begin{bmatrix} x_A \\ y_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_B \\ y_B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ell_1 \cos \theta \\ \ell_1 \sin \theta \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} x_C \\ y_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_B \\ y_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h \cos \theta \\ h \sin \theta \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} x_D \\ y_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_C \\ y_C \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \ell_2 \cos(\theta + \beta) \\ \ell_2 \sin(\theta + \beta) \end{bmatrix} \quad (16)$$

V トレーラ系の運動の自由度と操縦の自由度

1. 4WS車両系の運動と操縦の自由度

車輪は車輪と直角のほうには動けない。従って車体に固定されている後車輪や2輪の手押し荷車の場合、車を横方向に動かすことは出来な

い。しかし、4WSのように前後車輪が操舵されると“横車を押す”ことも可能になり運動の自由度が大きくなる。crab steeringは、まさしく蟹の横走りに由来した命名法であろう。

2. 連結車両系の自由度の違い

低速で平面運動する単一車両の幾何学的自由度⁷⁾は3であり、運動学的自由度⁷⁾は2であるが、連結車両の場合には、2輪トレーラ系で3、4輪トレーラ系で4となり、一般にn重連結車の場合にはn+1の自由度をもつ。

例えば、通常の2輪系について、この系をある点からある点へ動かすとき、トラクタ前輪部の操舵角と走行速度(運転の自由度2)との、2つを入力として、車両系の運動経路(例えばトレーラ輪点)と、トラクタ姿勢とトレーラ折れ曲がりの2つの角:合計3つ(平面上の任意運動に要求される運動の自由度)を独立に制御することはできない。

3. 操舵2輪トレーラ系の自由度と運動軌跡

しかし、トレーラ輪に操舵機構 α_2 を備えることによって、運転の自由度が1つ増し、トレーラ部の運動の自由度が大きくなる。このことは、単体車両場合と同じである³⁾。

また、 α_2 が完全に α_1 と独立でなくても、運動性能は増加する。例えば、トレーラ操舵角 α_2 を逆位相($\alpha_2 = -k\alpha_1$)にすると、トレーラ輪は大回りして内輪差が解消される等である。

4. メカニカル操舵2輪系の実車実験

図-4はトレーラ輪をアッカーマン操舵形式とし、それを2本のリンクでトラクタ3点リンク結合させ、トラクタのヨー角の変化をリンク部を介してトレーラ輪に伝達させ、操舵を行う機構の2輪操舵系の概略図である。

図一5は、このトレーラ系において操舵した場合と操舵角を零に固定した場合（従来型）と

のスラローム実験例である。なお、供試トレーラ系の諸元は表一に示す通りである。

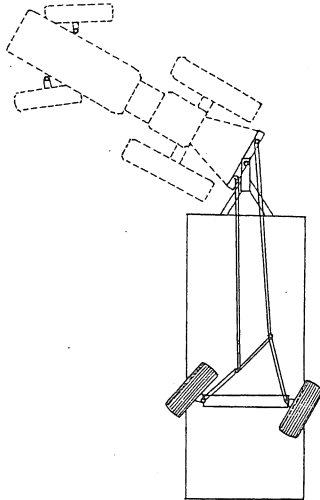


図4 メカニカル方式操舵輪トレーラ系の概略

表一 供試トレーラ系の諸元

トラクタ	クボタL 140	10.4 (kW)
ホイールベース	ℓ_1 (A Bの距離)	131.5 (cm)
ヒッチ点距離	h (B Cの距離)	42.5 (cm)
トレーラ	デリカDM-1000 WS	1.7 (m ³)
トレーラ長	ℓ_2 (C Dの距離)	239.0 (cm)
全 長		355.5 (cm)
全 幅		131.5 (cm)

同図は、それぞれトラクタ前輪点とトレーラ輪点中心の運動軌跡を、塗料と点滴器具を利用

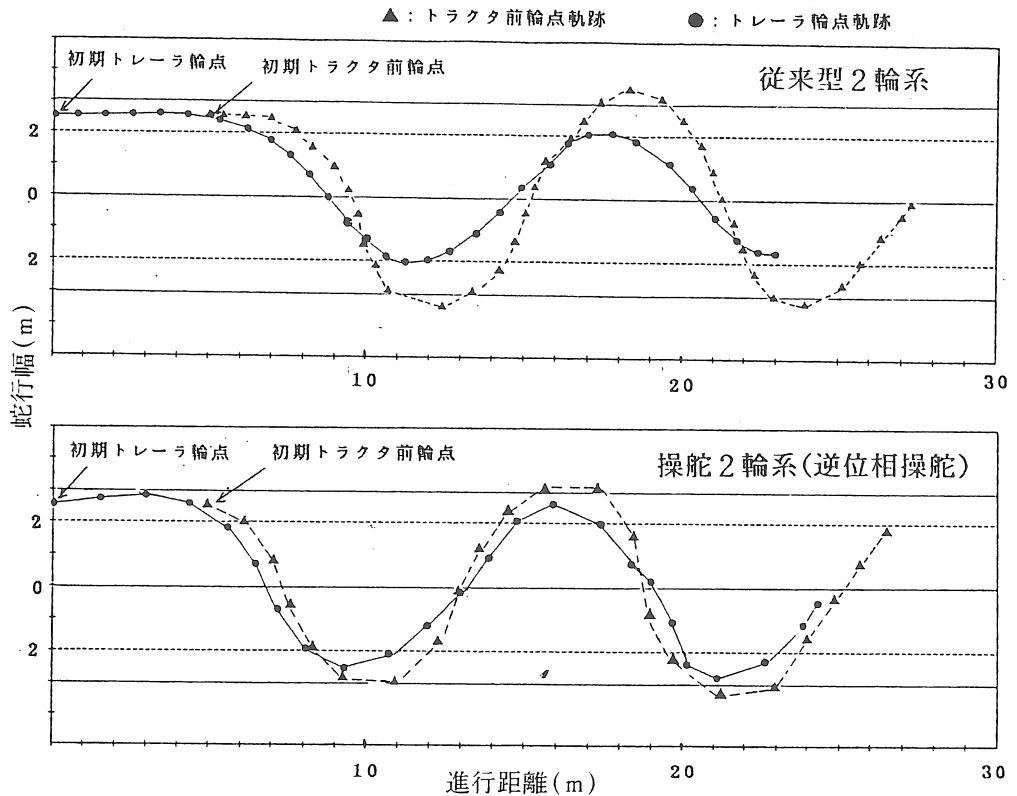


図5 従来型2輪トレーラ系と操舵輪トレーラ系のスラローム試験

して一定時間毎に記録したものである。平坦なアスファルト路面上を蛇行幅 5 (m) で約 30 (m) 走行させた結果を表している。

これは、トラクタ前輪部軌跡を入力、トレーラ輪部軌跡を出力とする一つの周波数応答実験とも見なせる。

同図から、操舵部を固定した従来型のトレーラでは、入力に対し、トレーラ部の振幅が小さくなりしかも位相が遅れている。他方、操舵系で、固定系と比較して、前輪部が小回りをしていにもかかわらず、トレーラ輪部振幅がそう小さくならず、位相差もかなり改善されている。即ち、操舵機構を取り付けることによって、トレーラ部のトラクタ部への追従性が良くなっている。なお、機構上、供試機は逆位相操舵になっている。

VI おわりに

操舵輪トレーラ系の低速時の操舵と運動の間に成り立つ関係を導き、操舵輪系の意義は運動可能性を広げるところにあることを示した。

しかし、紙面の都合上、車両系の幾何学的自由度、運動の自由度、操縦の自由度等に対する考察は余り明確には示し得なかった。また、基礎方程式の応用についても述べなかった。これらは農用車両の自律走行問題を考えるうえでも重要であり、今後もう少し整理してみたいと思っている。

〔謝辞〕

最後に、ステアリング・マニユアプレッタを貸与載いた株式会社デリカに謝意を表する。

参考文献

1. 景山克三, 景山一郎: 自動車力学, 理工図書, (1984), p.171
2. Culpin: Farm Machinery, (10th ed.), Granada, (1981), p.328 ~ 333
3. 藤岡健彦, 石川毅彦: 最適制御理論の車両力学への応用, 自動車技術会論文集, No.35, (1987), p.112 ~ 119
4. 株式会社デリカ: ステアリングマニユアプレッタ DM-1000 WS・カタログ (1988.5)
5. 鳥巢, 伴野: トレーラ系の後退運動時の操縦性に関する研究(1), 岩大農学部報告, Vol.18, No.2, 1987, p.179 ~ 191
6. 鳥巢, 武田, 伴野: 極低速時の連結車両の運動を表す基礎方程式, 農機誌投稿中
7. 国井, 千田: 力学II, 丸善, (1958), p.253 ~ 259

〔閲読者コメント〕操舵装置を有するトレーラ系の運動を示した点に意義があり、本研究は狭い道路でも運転のし易いトレーラ等の開発に役立つと考えます。今後、操舵装置を持つトレーラのけん引についても検討を加えられる様、期待します。

大規模稲作経営の農業機械化について

武田純一*・伴野達也*

On the Mechanization of Large Scale Rice Farming

Junichi TAKEDA*, Tatsuya BANNO*

1. はじめに

現在、日本の稲作農家は、内圧または外圧のためにコスト問題を避けて通れない現状にある。本報告では、生産コストの約30%を占める農業機械費をどのような手段によって低減して行くべきであるのかを念頭におき、岩手県松尾村の800haの水田を対象として大規模稲作経営における農業機械の作業効率、負担面積、所要機械台数の試算を試みた。あくまでも一例ではあるが関係各位の参考になれば幸いである。

2. 各農業機械の作業負担面積

各機械の所要台数を求めるためには、各機械の作業能率や負担面積を知る必要がある^{3,5,7)}。ここでは各作業毎に作業能率を表す式を作り、シミュレーションを行い作業能率および負担面積について解析を行った。

(1) 負担面積を求めるためのプロセス

作業負担面積を求めるためのプロセスを図示すると図1のようになる。また、理論作業量、圃場作業量、作業効率、機械の負担面積を式で表わし図中に併記した。

全圃場内作業時間は、遠藤ら²⁾や清水³⁾が示した式を参考にして水田作業の中でもかなり労働が集中する、耕起、代掻き、田植え、収穫の4種類について定式化した。式中で用いた記号の意味は表1に示す通りである。

耕起作業は、ロータリ耕の基本的な作業法として図2に示す往復耕+回り耕を取り上げ、圃場作業時間を式(1)で示した。また、代掻きは縦

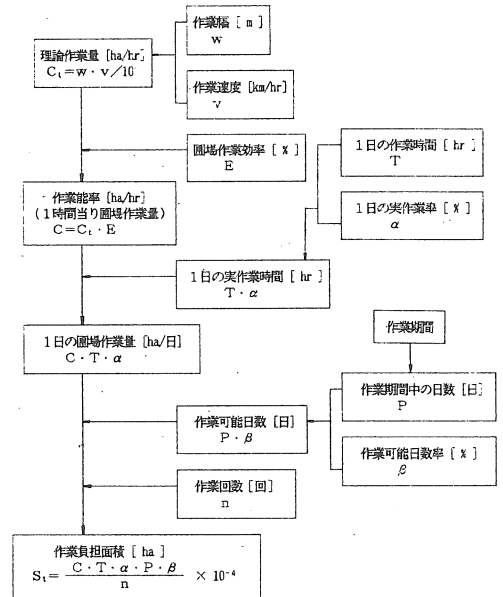


図1. 作業負担面積の計算プロセス

表1 式中で用いた記号の意味

v : 作業速度	{ m/s }
w : 作業幅	{ m }
x : 圃場短辺	{ m }
y : 圃場長辺	{ m }
A : 実作業面積 (= $x \cdot y$)	{ m^2 }
m : 圃場形状係数 (= y/x)	{ - }
n : 枕地回行時の行程数	{ 回 }
Q_f : 1回当り機械の肥料積載量	{ kg }
Q_s : 1回当り機械の苗積載量	{ 箱 }
q_f : 単位面積当りの肥料補給料	{ kg/ m^2 }
q_s : 単位面積当りの苗補給料	{ 箱/ m^2 }
W_g : 単位面積当り生籾収量	{ kg/ m^2 }
V_t : グレインタンク容量	{ kg }
T : 全圃場作業時間	{ sec }
t_1 : 往復作業時の平均旋回時間	{ sec }
t_2 : 枕地作業時の平均旋回時間	{ sec }
t_3 : 圃場内移動時間	{ sec }
t_4 : 圃場内調整期間	{ sec }
t_5 : 小故障などの小休止時間	{ sec }
t_6 : 肥料の1回当り積載時間	{ sec }
t_7 : 苗の1回当り積載時間	{ sec }
t_8 : 籾の1回当り排出時間	{ sec }

* 岩手大学農学部

横かきや斜めがけなどの作業方法がある¹⁾。ここでは縦横かきを想定したが、式的にはほぼ耕起作業と同様と考えてよいので、パラメータの値を考慮して耕起作業の式(1)を利用した。

$$T = \frac{xy}{wv} + \left(\frac{x-2nw}{w} - 1 \right) t_1 + 4nt_2 + t_3 + t_4 + t_5 \dots\dots\dots(1)$$

田植作業は、図3に示す往復植付け+外周3辺の植付け法を採用すると圃場作業時間は式(2)で示される。なお、機械は施肥機能付きとする。

$$T = \frac{xy}{wv} + \left(\frac{x-nw}{w} - 1 \right) t_1 + 3nt_2 + t_3 + t_4 + t_5 + \frac{q_f xy}{Q_f} t_6 + \frac{q_s xy}{Q_s} t_7 \dots\dots\dots(2)$$

収穫作業は、図4に示すようにまず外周を回り刈りし、残った部分を中割した後で往復刈することを想定した。4隅は手刈せずコンバインで刈るものとする、圃場作業時間は式(3)で示される。

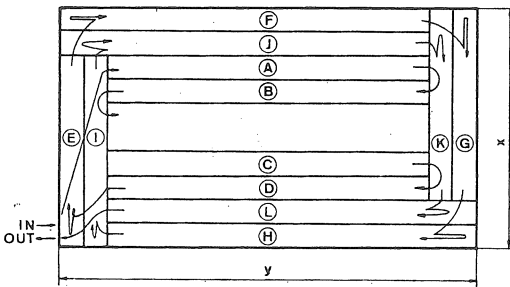


図2 耕起作業の作業パターン

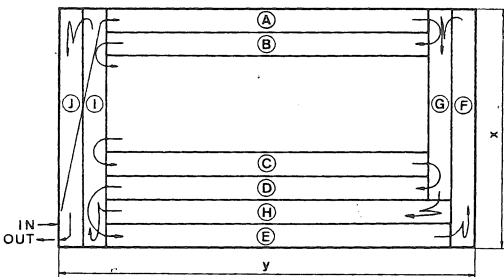


図3 田植作業の作業パターン

$$T = \frac{xy}{wv} + \left(\frac{x-2nw}{w} \right) t_1 + 4nt_2 + t_4 + t_5 + \frac{W_g xy}{V_t} \dots\dots\dots(3)$$

(2) 作業効率のシミュレーション条件

耕起・代掻き作業は、区画に応じて30PS, 60PS級トラクタを、田植機は最近開発されたロータリ式6条田植機・コンバインは4条刈グレイタンク付きの機種を想定している。田植機、コンバインは積載量2トンのトラックで移動することを想定したが、両機種とも上述の機械よりも作業幅の大きい機種を採用するとトラックの荷台幅以上になり、特にコンバインの場合は5条刈りでは積載量を越えてしまうことから、敢えて作業幅の大きい機種は採用しなかった。

各パラメータは、実測値、農機安全鑑定試験成績、岩手県農業試験場の資料などを基にして表2のように定めた。田植作業のみは圃場内で植付け条数を調整する必要があるので t_4 を60秒としたが、それ以外の作業では $t_4 = 0$ とした。これらの値はあくまでも概略値であり、今後更に実測を行い適切な値を得る必要がある。

(3) シミュレーションの結果及び考察

シミュレーションの結果は、図5～8に示す通りであり、0.5ha付近までは急激に圃場作業量が上昇しているが、それよりも面積が大きくなってもあまり大きくならないことが分かる。また、圃場形状係数 m (=圃場長辺/圃場短辺)

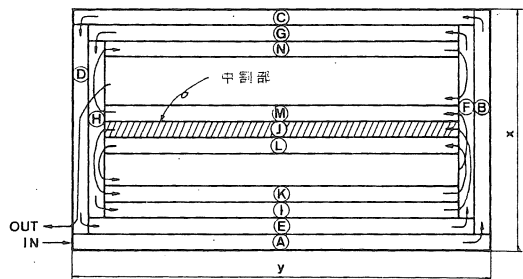


図4 収穫作業の作業パターン

が大きくなるほど、圃場作業量に及ぼす影響が少なくなることが分かる。遠藤ら²⁾は耕起作業を例にとり、各パラメータの圃場作業量に及ぼす影響は、作業幅が一番大きく次に作業速度の影響が大きいことを示しているが、図5、6を見ても作業幅の影響が顕著であることが分かる。

次に上述の結果を既存の圃場区画等に適用して作業効率・圃場作業量を計算した。現状では大規模に圃場整備を行って圃場区画を大きくしても、農家の負担がますます増加しコストに跳ね返ることが懸念される。従って、圃場整備のコストを下げ、かつ機械の作業能率を上げるべく、排水路を取り払い圃場の長辺方向に2倍の区画(20a:20×100m, 60a:30×200m)にすることを想定し⁴⁾、現状の圃場区画

(10a:20×50m, 30a:30×100m)との比較を試み、結果を表3、4に示した。ただし、2倍の区画については、排水路の埋め立て

表2 圃場作業量を求めるためのパラメータ

項目	単位	耕起				代掻き		田植	収穫
		30PS	60PS	30PS	60PS	30PS	60PS		
v	[m/s]	0.56	0.56	1.11	1.11	0.90	0.90		
w	[m]	1.70	2.20	2.40	3.40	1.80	1.365		
n	[回]	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0		
Q_f	[kg]					30.0			
Q_f	[箱]					22.0			
q_f	[kg/m ²]					0.04			
q_f	[箱/kg]					0.02			
W_g	[kg]								0.84
V_t	[m/s]								450.0
t_1	[sec]	10.0	13.0	10.0	10.0	30.0	10.0		
t_2	[sec]	15.0	15.0	10.0	10.0	30.0	45.0		
t_3	[sec]	360.0	360.0	60.0	60.0	60.0	10.0		
t_4	[sec]	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0	0.0		
t_5	[sec]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
t_6	[sec]					50.0			
t_7	[sec]					50.0			
t_8	[sec]								120.0

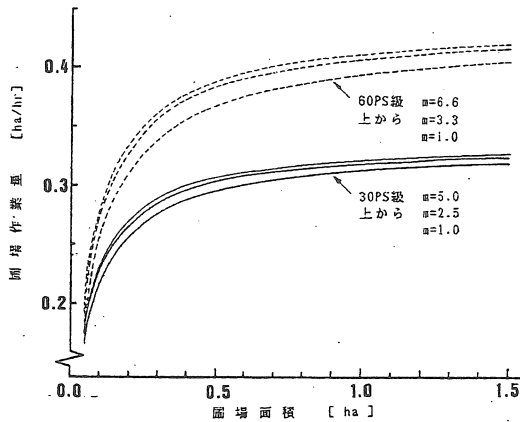


図5 圃場作業量のシミュレーション結果 (耕起)

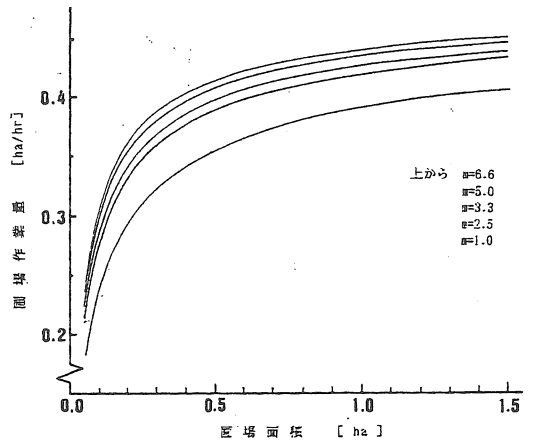


図7 圃場作業量のシミュレーション結果 (田植)

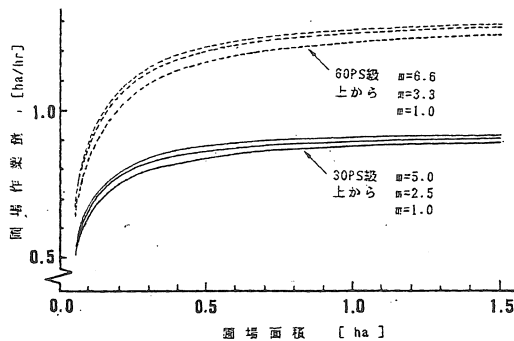


図6 圃場作業量のシミュレーション結果 (代掻き)

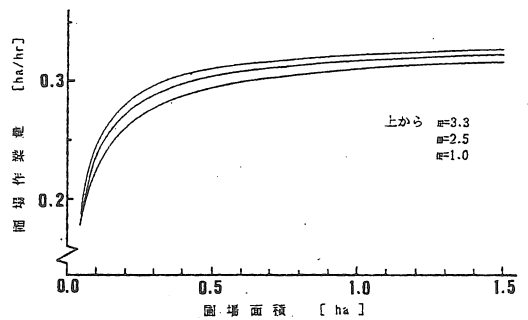


図8 圃場作業量のシミュレーション結果 (収穫)

長さを省略した区画とした。

表3から分かる通り、耕起・代掻き作業の作業効率_{30 PS級}の方が60 PS級よりも2~6%大きくなっている。しかし、作業幅と作業速度の増加率の方が作業効率の増加率よりも大きくなるため、いずれの区画でも圃場作業量は60 PS級トラクタの方が30 PS級トラクタよりも19~40%大きくなった。区画を2倍にした効果を圃場作業量で比較すると、10 aから20 aに拡大した効果は各作業毎に17~28%の増加となっているが、30 aから60 aに拡大した効果は9~14%の増加にすぎない。また、作業別には田植作業が最も拡大効果が大きく、30 PSトラクタを利用した代掻き作業が最も効果が少なかった。

(4) 各作業の負担面積

(3)で求めた圃場作業量を基にして、各作業の負担面積を計算し表5に示した。耕起・代掻き作業の1時間当りの圃場作業量は、30 a区画と20 a区画では60 PS級トラクタを、10 a区画では30 PS級トラクタを、田植・収穫作業では区画に関係なく同一機械を用いると仮定した。なお、20 a区画の値は圃場形状係数 m を3.20とした値である。

現状のままの作業体系に於て機械コストを下

げるためには、機械の稼働率をできるだけ高める必要がある。よって、各作業の1日当りの作業時間は慣行作業の場合と、現在市販されている機械で作業時間を可能な限り延長した場合(耕起・田植作業については24時間作業、代掻き作業については日の出から日の入りまでの時間=最大作業時間)についても試算してみた。収穫作業については乾燥調整施設との関係もあるので、ここでは慣行作業の値のみについて試算するに留めた。アメリカなどでは夜間作業を実施している例もあるようだが、現在の日本の

表3 主な区画の作業効率

区画 [a]	圃場形状 係数 m	耕起		代掻き		田植 [%]	収穫 [%]
		30PS [%]	60PS [%]	30PS [%]	60PS [%]		
10	2.5	65.7		71.0		47.4	53.4
20	3.2		74.3		78.7	58.4	62.2
20	5.0	79.3		83.0		60.8	63.1
30	3.3		80.4		83.4	63.2	65.8
60	6.6		89.2		91.0	72.4	71.0

表4 主な区画の圃場作業量

区画 [a]	圃場 形状 係数 m	耕起		代掻き		田植 [ha/hr]	収穫 [ha/hr]
		30PS [ha/hr]	60PS [ha/hr]	30PS [ha/hr]	60PS [ha/hr]		
10	2.5	0.225		0.681		0.276	0.236
20	3.2		0.329		1.069	0.340	0.275
20	5.0	0.272		0.796		0.354	0.279
30	3.3		0.357		1.133	0.369	0.291
60	6.6		0.395		1.236	0.422	0.314

表5 各作業の負担面積 (オペレータ1人、圃場の分散度=小の時)

作 業 区 画	単 位 [a]	耕 起			代 掻 き			田 植			収 穫		
		30	20	10	30	20	10	30	20	10	30	20	10
1時間の圃場作業量	[ha/hr]	0.357	0.329	0.225	1.133	1.069	0.681	0.369	0.340	0.276	0.291	0.275	0.236
1日の作業時間(慣行)	[hr]	10.0	←	←	11.0	←	←	11.0	←	←	8.0	←	←
1日の作業時間(最大)	[hr]	(24.0)	←	←	(14.0)	←	←	(24.0)	←	←	(—)	←	←
実作業率	[%]	72.0	←	←	70.0	←	←	70.0	←	←	65.0	←	←
実作業時間(慣行)	[hr]	7.2	←	←	7.7	←	←	7.7	←	←	5.2	←	←
実作業時間(最大)	[hr]	(17.3)	←	←	(9.8)	←	←	(16.8)	←	←	(—)	←	←
1日の圃場作業量(慣行)	[ha/day]	2.57	2.37	1.62	8.72	8.23	5.24	2.84	2.62	2.13	1.51	1.43	1.23
1日の圃場作業量(最大)	[ha/day]	(6.18)	(5.69)	(3.89)	(11.10)	(10.48)	(6.67)	(6.20)	(5.71)	(4.64)	(—)	(—)	(—)
作業期間		4/15~5/20			5/11~5/30			5/15~6/3			9/25~10/15		
作業日数	[day]	36.0	←	←	20.0	←	←	20.0	←	←	21.0	←	←
作業可能日数率	[%]	81.0	←	←	100.0	←	←	100.0	←	←	67.0	←	←
作業可能日数	[day]	29.1	←	←	20.0	←	←	20.0	←	←	14.1	←	←
作業回数	[回]	1.0	←	←	2.0	←	←	1.0	←	←	1.0	←	←
負担面積(慣行)	[ha]	74.8	69.0	47.1	87.2	82.3	52.4	56.8	52.4	42.6	21.3	20.2	17.3
負担面積(最大)	[ha]	(179.8)	(165.6)	(113.2)	(111.0)	(104.8)	(66.7)	(124.0)	(114.2)	(92.8)	(—)	(—)	(—)

注) 20 a 区画の圃場形状係数 = 3.20, 耕起・代掻きの 30, 20 a 区画は 60 PS 級トラクタを用いた場合を想定している。

農業機械は夜間作業を想定して作られてはいないので、24時間制を導入した場合は、作業をスムーズに遂行するために灯光器などの付帯設備が必要である。日中の作業と異なり能率低下をきたすことが予想されるが、ここでは日中と同じ実作業率で計算するに留めた。今後実証試験などを通して、一昼夜作業等について更に検討し稼働率の向上を図る必要がある。

実作業率は、全農の資料⁵⁾を参照し、オペレータ1人、圃場の分散程度が小さい場合の値を採用した。作業期間は、岩手県農業試験場による松尾地区の標準作業体系によった。耕起及び収穫の作業可能日数率は、岩手松尾観測所の過去20年間(昭和43～62年)の気象データからの推定値で、耕起作業の場合は降雨量が5mm/日以上の日を除いた割合である。収穫作業の場合は、同じく1mm/日以上の日を除いた割合を採用した。代掻き及び田植作業は、降雨があっても作業可能と仮定し100%とした。また、代掻きの作業回数は2回とした。

各作業の負担面積は、代掻き、耕起、田植、収穫の順に大きくなっており、10a～30a区画の平均負担面積は、それぞれ74.0, 63.6, 50.6, 17.4haであった。また、最大作業時の負担面積は、同様に161.4, 152.9, 110.3, 24.5haであり慣行作業と比較すると負担面積が1.4～2.4倍多くなっていることが分かる。

3. 機械所要台数の算定

図9に示すとおり5月11日～14日は耕起と代掻き作業が、同じく5月15日～20日の間は耕起、代掻き、田植えの3作業が重複してしまう。このように重複期間が長くなるほど機械、作業人員が多数必要になりコストに大きく影響してくるが、本稿では次のような手順で機械台数を算定した。3作業のうち田植作業は代掻き後土壌が落ち着いてからでないと作業できない

ので、代掻き後4日目から作業を開始するものと仮定した。また、田植作業は育苗センタの苗供給能力に左右されるので、まず田植機の台数を決定してから順次代掻き、耕起作業について考慮した。

この結果表6に示す通り、慣行作業での田植機の所要台数は約16台となる。また、代掻きの所要機械台数は各馬力別に約6台となった。この代掻きに要する機械台数で4月15日から5月10日まで耕起し、5月11日から20日までの作業重複期間は未耕起面積に対し新たに機械を投入するものとする、耕起作業の所要機械台数は各馬力とも約15台となる。

一方、最大作業時では、田植機の所要台数は約半分の7台になったが、代掻きに要するトラクタ台数で4月15日から5月20日までの間に全面積を耕起することが可能であり、作業時間も1日当たり約20時間で済むことが分かった。なお、収穫作業は約40台の機械が必要である。表7に松尾村の農業機械の所有台数を示したが、最大作業時間の条件で試算した結果による機械台数と比較してみると、大幅に台数を減らすことができコストダウンが可能となる。

4. おわりに

800ha規模の水田において大型機械化作業体

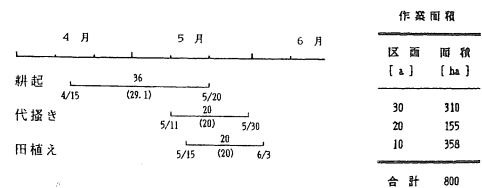


図9 春作業の日程と作業面積

表6 機械の所要台数

	慣行	耕起		代掻き		田植	収穫
		60PS	30PS	60PS	30PS		
平均負担面積	71.9	47.1	84.8	52.4	50.6	19.6	
[ha]	最大	172.7	113.2	107.9	66.7	110.3	—
所要台数	慣行	14.2	15.7	5.5	6.4	15.8	40.8
[台]	最大	4.3	5.0	4.3	5.0	7.3	—

表7 松尾村の機械所有台数

ト ラ ク タ	乗 用 型		作 業 機		動力防除機	動力田植機	バインダ	自 コンバイン	脱 米 乾燥機
	30 PS未満	30 PS以上	ロータリ	パディハロー					
歩行型									
801	532	55	578	340	423	724	671	134	107

注) 昭和60年農林業センサスより作成

系により、稲作関係の主な機械所要台数の試算を行ったが、慣行作業よりもかなり機械台数を減らすことができることが分かった。本報告で述べたような極めて少ない機械台数で800haもの大面積を作業するには、実際面でかなりの困難を伴うことが予想されるが、あくまでも理想化された状態での試算と理解されたい。

稲作農家にとって低コスト問題は避けて通れない状況にあるが、当面、機械の稼働時間をできるだけ伸ばす等、農業機械を有効に利用して低コストへの努力をする必要があろう。

謝 辞

本報告をとりまとめるにあたり、筑波大学小中俊雄教授、農業研究センター石東宣明氏には有益なご教示を頂いた。また、生研機構第3検査室、同第5検査室、岩手県農業試験場他より資料の提供をしていただいた。ここに記して深く謝意を表す。なお、本報告は昭和63年度科学研究費の交付を受けた一部であることを付記し、関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 新農業教育研究会編：農業機械図説——営農機械編——，農業図書，p. 94, 1968
- 2) 遠藤俊三他：圃場作業量の表示法の策定に関する研究，農事試験場研究報告(12)，p. 69～104，1968
- 3) 清水 浩：農業機械の合理的利用法に関する研究(第2報)，農業機械学会誌，Vol. 34(2)，p. 164～169，1972

- 4) 全国農業組合中央会：稲作コスト低減の指針，富民協会，p. 167～309，1986
- 5) 全農農業機械部：機械化計画の手引，p. 1～119，1987
- 6) 農業機械学会編：新版農業機械ハンドブック，コロナ社，p. 931～957，1984
- 7) 農林水産省：高性能農業機械導入基本方針および参考資料，日本農業機械化協会，p. 7～160，1987
- 8) 農作業試験法編集委員会：農作業試験法，農業技術協会，p. 8～25，1987

〔閲読者コメント〕大規模稲作における生産コスト低減の問題提起から800haを想定したその解決に至るまでをシミュレーション手法を用いて論理的にかつ簡潔に述べられている。

ここでは、各作業のパターンから圃場作業量、特に、耕起、代掻き、田植え、収穫の4つの種類について負担面積が試算されているが、収穫が制約される乾燥について言及しておく必要があるのではないのでしょうか。

〔著者回答〕本稿では作業適期内に全ての収穫が完了することを優先的に考えましたので、乾燥施設には触れませんでした。コンバインの所要台数、1日当りの圃場作業量と稲の収量から1日当りの生籾の平均荷受け量を試算すると約400tonにも達し、かなり処理能力の大きい乾燥施設を設ける必要があります。現状では、DS等で予備乾燥を行った後CEで本乾燥を行う体系を考えておりますが、今後更に検討してまいりたいと考えております。

拡張円形分力計および八角形分力計の応力特性

広間達夫*・太田義信*

Stress Analysis of the Extended Ring Transducer
and the Extended Octagonal Ring One

Tatsuo HIROMA*, Yoshinobu OTA*

1. 緒言

機械に作用する力を測定する荷重変換器の中で、力学的原理を応用した荷重変換器が数多く考案され使われている。農業機械の分野では、複雑な力を簡便に測定する方法として、垂直力、せん断力、およびモーメントの3分力が同時に測定できる、八角形分力計が従来から良く用いられている^{1), 2), 3)}。しかし八角形分力計には、相互の検出ひずみ間の相互干渉が生じやすい欠点がある。そこで、八角形分力計およびその原理形の拡張円形分力計について、相互干渉を少なくするための使用指針を明らかにする目的で、数値解析技術の一種である境界要素法を用いて、表面応力の観点から分力計の特性を調べた。

2. 解析方法および解析モデル

八角形分力計による分力の測定原理は^{4), 5)}、うす肉円環の理論より導かれる。図1(a)の円環のP点に、垂直荷重が作用した場合には、円環の中心を通る水平軸から反時計方向に測った角度 θ が 50.56° の位置で表面応力は0になり、水平荷重が作用した場合には、 θ が 0° の位置で表面応力は0になる。この位置にストレインゲージを貼布すれば、相互干渉を生じることなく、垂直および水平力を測定することができる。円環を八角形環にしたのが図1(b)である。これらに中間部を加えてモーメントの測定を可能にし

たのが、図1(c)の拡張円形分力計であり、図1(d)の八角形分力計である。これらの内、一般には八角形分力計が用いられているが、HoagとYoerger⁵⁾は拡張円形分力計をExtended ringと名付けて紹介している。

そこで、これらの4種の分力計について、100 kgfの垂直荷重と水平荷重が測定でき、10 kgf・mのモーメントの測定ができることを想定して、円環部の半径を20 mm、肉厚が4 mm、厚さ(図に垂直な方向)を40 mmとし、さらに拡張円形分力計および八角形分力計については、中

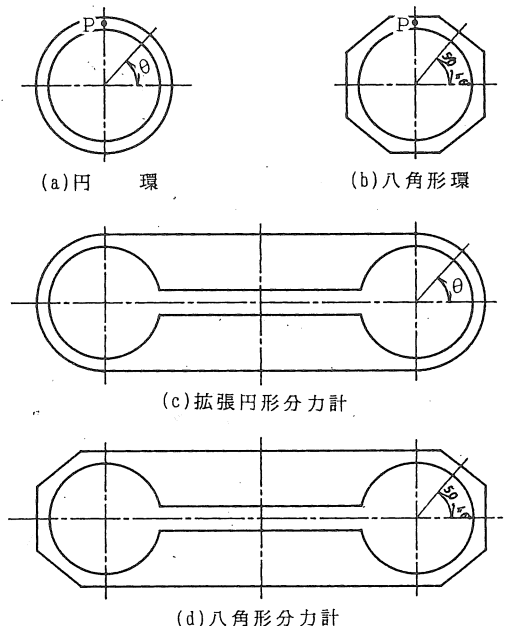


図1 分力計の原理モデルおよび拡張円形分力計と八角形分力計

*岩手大学農学部

間部の長さを 100 mm とした。

解析には、2次元等方弾性体の静的問題を解く境界要素解析プログラム⁶⁾を用いた。境界要素は、2次のアイソパラメトリック要素を使用し、測定部にあたる円環および八角形環の部分は節点間の角度が2.5度の要素を、また表面応力の変化が緩やかな中間部は節点間隔が長い要素を用いた。

3. 解析結果と考察

境界要素解析の精度を調べるために、円環に 100 kgf の垂直力が作用した場合について解析を行った。うす肉円環の理論から設計された分力計は、原理的には円環部の肉厚の影響が生じる。そこで、解析結果とは、厚肉円環の理論⁷⁾

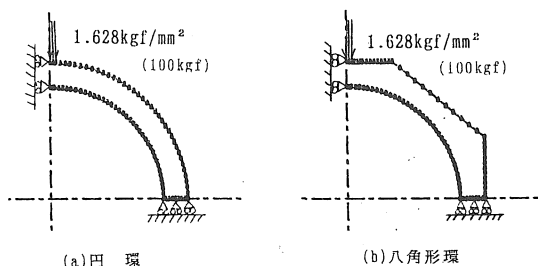


図2 円環および八角形環の境界要素分割と境界条件

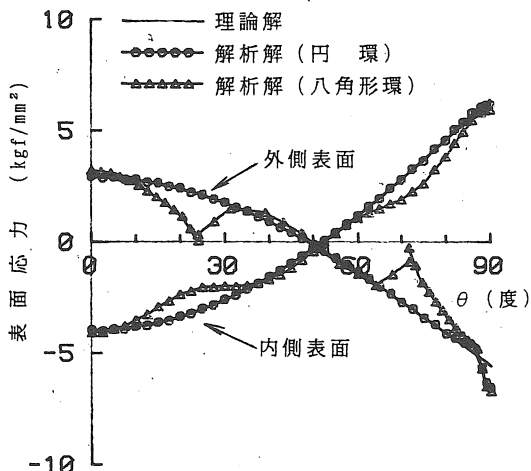


図3 円環および八角形環の表面応力分布の理論解と解析解の比較

から表面応力を計算して比較した。同時に、八角形環についても解析を行い比較した。

垂直荷重を作用させる場合は、分力計の中心を通る垂直および水平線に対称になることを考慮して、1/4の部分について解析モデルを作成した。100 kgf の垂直荷重は、荷重点まわりに θ が 88 度～92 度の範囲で垂直方向に一樣な表面力 1.628 kgf/mm² を与える方法によった。図2に要素の分割状態と境界条件を示す。なお、図で黒丸は節点を表している。また、解析結果を図3に示す。図に見られるように、荷重点付近では表面応力が過大になっているが、他の部分は理論解とよく一致していることが分る。表面応力が0の位置は、理論解では $\theta = 48.85^\circ$ であり、円環の解析結果では θ が 48.89° であった。うす肉円環の理論から得られる $\theta = 50.46^\circ$ の値と異なっているが、これは円環の肉厚の影響である。円環の直径に対する肉厚が小さくなれば、うす肉円環の理論値に近づくが、このようにすると円環のたわみ量が大きくなり、分力計の剛性が減少する。八角形環の場合は、表面応力値は大きく変動している。表面応力が小さくなっているところは、八角形の角の肉厚が厚くなっているところであるが、表面応力が0の位置は 49.81° であり、円環の場合とほとんど変わらない。これらの結果より、境界要素法による解析は、十分に精度があることが分る。

次に、分力計に垂直荷重が作用する場合について解析を行った結果を示す。分力計に垂直荷重が作用する場合は、円環の場合と同様に、表面応力は分力計の中心を通る垂直および水平線に対称になることを考慮して、1/4の部分について解析モデルを作成した。解析モデルの要素の分割状態を、拡張円形分力計の場合について図4に示す。垂直荷重を与えた場合の解析は、分力計の上部面の垂直方向に一樣な表面力を与

える方法と強制変位を与える方法で行った。

分力計の上表面に垂直荷重 100 kgf に対応する下向きの一様な表面力 0.025 kgf/mm^2 を与えた場合の解析結果を、厚肉円環の理論解と比較して図 5 に示す。理論解に比べて荷重部近くで表面応力の絶対値が小さくなっており、水平軸に近い部分では絶対値が大きくなっている。この結果、表面応力が 0 になる位置は 61.6° にもなる。分力計の上表面に下向きの表面力が作用した場合上表面は下向きにたわむが、このたわみ量は分力計中間部の中心で最大で、中間部の端に行くほど小さくなる。従って、垂直であるべき円環部の中心縦軸が傾き、円環部の上部では曲げモーメントが小さくなって、水平軸に近い部分で曲げモーメントが大きくなる。この影響で、表面応力が理論値から大きくずれたと思われる。

そこで、分力計の上表面に強制変位を与えて、上表面が一様にたわみむ場合の解析を行った。垂直荷重が 100 kgf になる強制垂直変位量を求めるために、最初に試験計算を行い、計算の結果得られた表面力を上表面で数値積分して垂直荷重を求め、荷重が 100 kgf になるように比例計算で強制変位量や表面応力を求めた。解析結果の表面応力分布を図 6 に示す。分力計上表面の表面力は、半無限弾性体上の剛性基礎下の応力分布と同じように荷重縁部で非常に大きくなり⁸⁾、大部分の荷重をこの部分で支持しており、垂直方向に一様な表面力を作用させた場合より円環の理論解に近い結果が得られた。この場合も、垂直であるべき円環部の中心縦軸が傾くが、その傾き量は垂直方向に一様な表面力を作用させた場合より小さい。この場合は、表面応力が 0 になる位置は 52.02° であった。八角形分力計の場合も、同様な方法で計算を行った。表面応力は、八角形の角の部分で小さくなるが、この

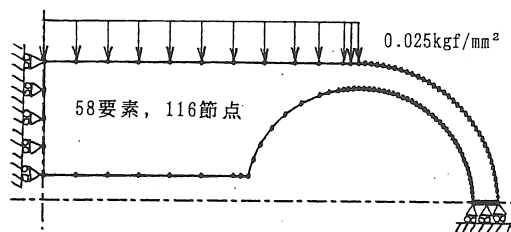


図 4 拡張円形分力計に垂直荷重が作用する場合の解析モデル

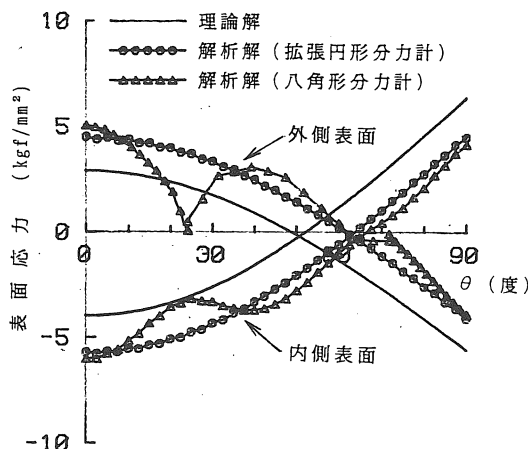


図 5 垂直方向に一様な表面力を与えた場合に拡張円形分力計および八角形分力計の表面に生じる表面応力

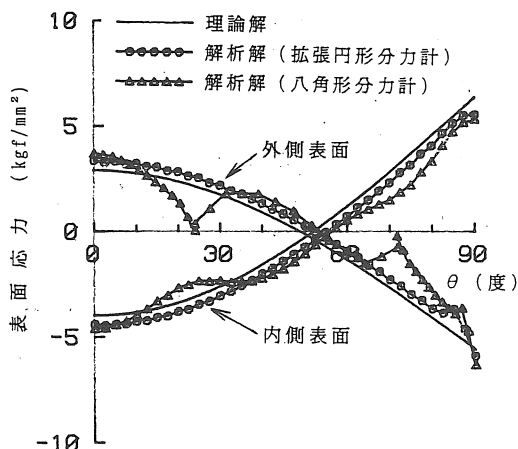


図 6 垂直方向に強制変位を与えた場合に拡張円形分力計および八角形分力計の表面に生じる表面応力

ことを除けば拡張円形分力計の場合とほぼ同様の分布傾向を示した。表面応力が 0 になる位置は 51.98° であり、拡張円形分力計の場合とほぼ

同じ角度が得られた。

実際に分力計を装置に取り付けた場合を考えると、装置と分力計の間では表面力が一様に分布することも、また取り付け部の剛性の関係で変位が一様な状態になることもなく、この中間的な状態になっていると考えられるが、取り付け部の剛性を高くして強制変位の状態に近づけることが、干渉を少なくし測定精度を上げるには必要であろう。

分力計に水平荷重やモーメントが作用する場合は、分力計全体を解析領域として解析モデルを作成した。分力計全体を1/4毎の4領域に分割した解析モデルを作成し、領域分割法で解析を進めた。解析モデルの要素の分割状態を、拡張円形分力計の場合について図7に示す。解析において、分力計の下部面中心節点は左右およ

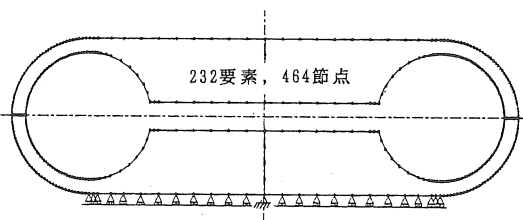


図7 拡張円形分力計の水平方向に一様な表面力を与える場合とモーメントを与える場合の解析モデル

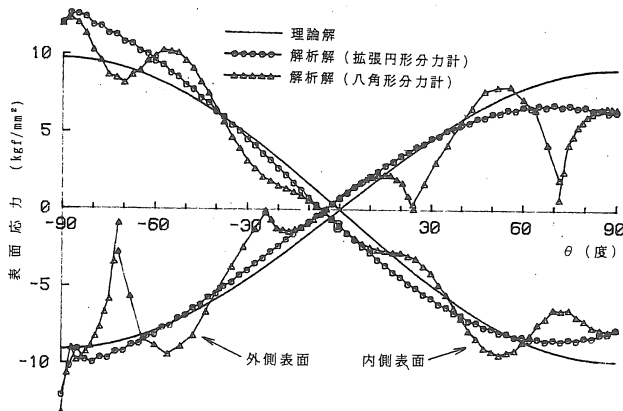


図8 水平方向に一様な表面力を与えた場合に拡張円形分力計および八角形分力計の表面に生じる表面応力

び上下の動きを拘束し、下部面の他の部分は上下移動のみ拘束して左右は自由に動くことができるとした。水平力100 kgfが作用した場合の解析は、上部面の水平方向に一様な表面力0.025 kgf/mm²を与えて行い、モーメント10 kgf・mが作用した場合の解析は、上部面の垂直方向に、上部面の中心で表面力が0となるような50 mm当り0.015 kgf/mm²の傾斜表面力を与えて行った。

分力計の上部面の水平方向に一様な表面力が作用した場合の、表面応力分布の状態を図8に示す。解析では上部面の表面力は一様に設定してあるが上下方向に拘束してないので、上部面は上下方向に変位する。しかし、下部面は上下方向を拘束してあるので一直線になっているが表面応力は一様に分布しない。そのために、一様な表面力による表面応力分布曲線が θ の小さい方に移動し、表面応力が0となる位置が θ のマイナス側に移動した。この条件で、表面応力が0になる θ は4.87°である。八角形分力計の場合も拡張円形分力計と同様な傾向を示した。

モーメントが作用した場合の、表面応力分布を図9に示す。理論解は、分力計上部面の中心から50 mmの位置に集中荷重が作用したと想定して、この位置に垂直荷重が100 kgf作用した

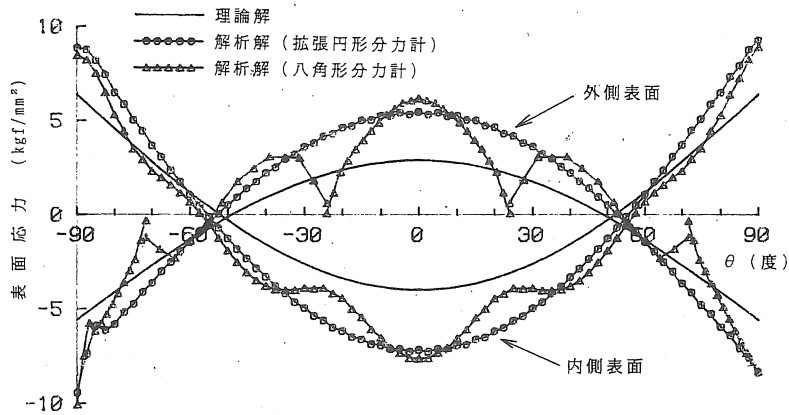


図9 モーメントを与えた場合に拡張円形分力計および八角形分力計の表面に生じる表面応力

場合の理論表面応力分布である。解析解は、水平軸に関してほぼ対称な表面応力分布になったが、垂直荷重が作用した場合に比べて表面応力の絶対値は大きくなっている。また、表面応力が0となる位置は、荷重方向に移動して、 θ が 52.7° となる。八角形分力計の場合も拡張円形分力計と同様な傾向を示した。

本研究では、分力計を使用する場合の実際の荷重条件を、解析における境界条件に十分に取入れることができていない。垂直荷重を作用させた場合で見られるように、等分布荷重入力と強制変位入力とは、表面応力状態が大きく変わる。従って、境界条件の与えかたをさらに検討する必要がある。分力計で剛体と見なしている中間部に作用する荷重は、原理的にはどのような分布をしていても、測定部になる円環部や八角形環部に影響がないはずである。しかし、実際には、中間部の変形やひずみの影響が非常に大きく、荷重のかけ方によっては理論値と大きな違いが生じて、相互干渉の原因になる。

4. 結 言

農業機械に作用する力やモーメントなどの3分力が測定可能な分力計について、境界要素法により表面応力の面から分力計の特性を検討した。

分力計の原理は、うす肉円環の理論から導かれているが、実際分力計では円環部の肉厚の影響が生じるので、厚肉円環の理論から影響の程度を確かめておく必要がある。

分力計を境界要素法で解析した結果、剛体と見なしていた分力計中間部の変形やひずみの効果が非常に大きいことが分った。荷重のかけ方によっては理論値と大きな違いが生じて、相互干渉の原因になるので、使用する場合には、取り付ける装置の剛性を高めると共に、中間部全体をしっかりと保持したり、中間部の剛性を高める工夫が必要とされることが分った。

参考文献

- 1) 森本國夫, 唐橋 需: 三点リンク・ダイナモメータの開発, 農機誌, 47(1), 104-106, 1985。
- 2) 李 基明, 木谷 収, 岡本嗣男: 振動耕耘の自動制御における土のせん断周波数センサ開発, 農機誌, 51(3), 97-100, 1989。
- 3) 王 秀崙, 田中 孝, 山崎 稔: ラグ車輪と土との相互作用に関する研究(第2報), 農機誌, 51(5), 11-18, 1989。
- 4) Loewen E. G., Cook N. H.: Metal Cutting Measurements and their Interpretation, Proc. SESA, 13(2), 57-62, 1956。
- 5) Hoag D. L., Yoerger R. R.: Designing Load Rings for Measurement, Trans. ASAE, 251-253 & 261, 1974。
- 6) 結城良治, 木須博行: 境界要素法による弾性解析, 培風館, 1989年。
- 7) 黒木剛司郎: 材料力学, 森北出版, 1967。
- 8) 最上武雄編: 土質力学, 技報堂出版, 224-225, 1969。

【読者コメント】 トラクタ用作業機の作業中の負荷の解明が充分でない現在, 境界要素法という能率的な手法で, リング型変換器の特性を解明することは意義あることと思う。

今回取り入れなかった実際上の荷重条件にはどのようなものがありますか。

【著者回答】 水平力やモーメントを与えた解析では, 表面力や強制変位を与えた上部面と, 上下方向に変位しないとした下部面では, 表面力が異なっている。実際の分力計の上部面と下部面の表面力は対称になっていると思われるので, 実際の条件に近づけるには, 境界条件の与え方にさらに工夫が必要であると考えている。

メカトロニクス教育用の簡易ロボットアームの製作

小林 由喜也*

Development of a Robot-arm for Education of Mecha-tronics

Yukiya KOBAYASHI*

I. はじめに

産業の各分野でロボットの利用が盛んになりつつあることから、工学系の大学ではもちろん、工業高校等においても電子機械科の新設に見られるように、ロボット等に関する教育が充実されつつある。

農業分野におけるロボット化に関する研究は最近緒についたところであるが、多くの基礎的研究が積み重ねられつつあり¹⁾、近い将来の実用化が期待されている。

このような流れの中で、農業大学、特に農業工学系学科のコンピューター教育においては従来のプログラミング主体の教育に加えて、ロボットシステム等のハード面の教育の充実が求められつつある。

以上のような観点から、学生教育のための教材用ロボットシステムの導入を考えているが、市販品は教育用であっても数百万円~千数百万円と高価であり、予算的に導入が難しい。

そこで、教材用のロボットアームシステムを自作した。このシステムは、写真-1に示すように、旋回部を持つ関節アーム部とX-Y移動可能な台車部で構成されているが、本報では関節アーム部について構造、製作費、性能等について報告する。

II. ロボットアームの製作

以下にアームの構造、センサ、制御回路等の

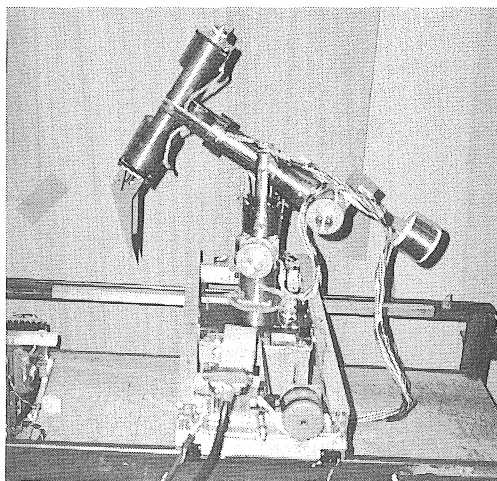


写真-1 製作ロボットアームシステム

概要と製作上の留意点について述べる。

1. 構造と製作上の留意点

製作したロボットアームは、旋回するベース本体、第1、第2アーム及びハンド部で構成されている。総重量は約4.2kg、寸法等の諸元は図-1に示したとおりである。

アームの材料は鋼管を約1mmの肉厚に旋盤で切削した後所要の加工を行い、可能な限り軽量化をはかった。又、アーム回転部にはテフロン材を加工した軸受を用いた。

各部の駆動源としてステップモータを用いた。その理由は、ホールド機能があること及びパルス周波数を変えて変速できるため、減速装置等の駆動系が小型化できること。さらに、送出力で動作量が決まるオープンループ制御が

* 秋田県立農業短期大学

可能であること等である。

駆動機構は、負荷が小さいハンド部と本体旋回部はモータ直結とし、第1、第2アーム部はタイミングベルト・ギアによる減速駆動とした(第1アーム;1:6.25, 第2アーム;1:2.5)。

機能について述べると、ベース本体は360度旋回可能であるが、他の部分は構造上の制限から第1、第2アームの回転範囲は各々約100度、ハンドの旋回、開閉は各々約180度、90度である。

2. センサの設置

ロボットシステムに自律性を持たせるためには各種のセンサを設置することが必要である。

このシステムに有効な応用動作を行わせるためには、ハンド部に多くのセンサを付加することが必要と考えられるが、今回は、アームの運動機能の自律性確保に焦点を絞って次のようなセンサを設置した。

1) モータ作動角検出用センサ

ステップモータはパルス送出数により作動角

が決定されるため、一般的には作動角を検出する必要はないが、アームの慣性により必ずしも予定位置に停止しないことも考えられることや、複数のモータを同時に駆動する場合、各モータへの送出パルス数を管理するためのハード、ソフトの負担を軽減するためには、むしろ、常時作動角を監視した方が得策である。

以上のような理由で1kΩの高精度ポテンシオメータをモータ軸に直結し、A/Dコンバータを介して信号電圧をマイコンで監視した。

ただし、本体旋回部は作動角の微小変動がハンド先端の変動に与える影響が大きいためから直結せず、ベース部で5倍に増速して用いた。

2) 異常動作検出用センサ

誤作動による暴走からのシステムの保全、実習学生の安全等を確保するため、オーバーラン検出用の機械式リミットスイッチを要所に設け、さらに、機械式スイッチで検出不能な振動および異常荷重を検出するためアーム各部にストレーンゲージを貼布し、ストレーンメータ、A/Dコンバータを介してマイコンで監視した。

3. 制御回路

システム制御回路は図-1に示すように、モータ駆動制御系(図中 24, 26)、センサ信号系(図中 25)、電源制御系(図中 28)、およびマイコン・インターフェース系(図中 27, 29)で構成されている。各部の概要と製作上の留意点を述べる。

1) モータ駆動制御系

モータ駆動制御系はハードシステムの中で最も重要な部分であり、この部分の良否が

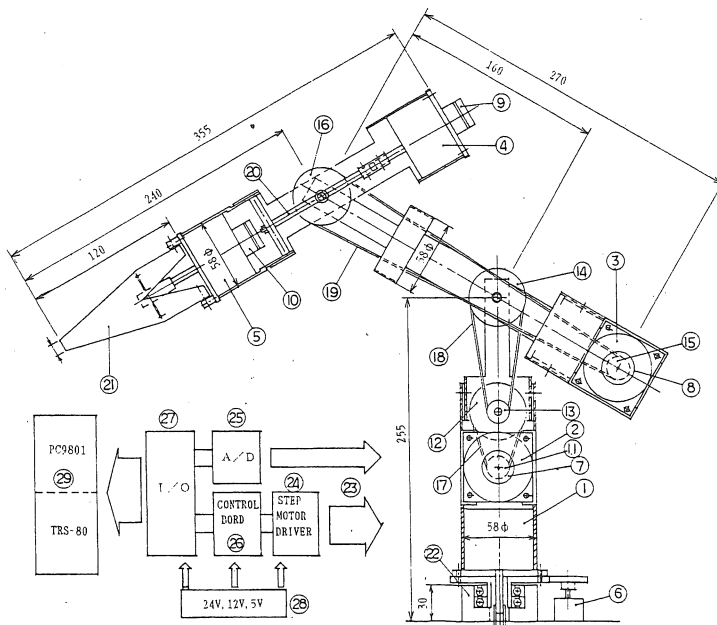


図-1 ロボットアームの概要

表一 部品仕様と価格

番号	部品名	型式	個数	価格
1	本体旋回用ステップモータ	日本サーボ KP 56 LM2-504 (24 V) 5 kg・cm	1	4,200
2	第1アーム駆動用ステップモータ	" "	1	4,200
3	第2アーム駆動用ステップモータ	" "	1	4,200
4	ハンド旋回用ステップモータ	オリエンタル PH264-03 (24 V) 3 kg・cm	1	4,100
5	ハンド駆動用ステップモータ	" "	1	4,100
6~10	位置確認用ポテンシオメータ	森測器 CP-3M1KΩ	5	30,000
11~16	減速用歯車	三ツ星 スーパートルクタイミングプーリ	6	11,500
17~19	減速用タイミングベルト	" " W=10	3	4,200
20	ハンド旋回用駆動軸	自作	1	—
21	ハンド	自作	1	—
22	ベース(ベースリング)	自作	(2)	—
23	ケーブル	36芯 (0.8mm)	2m	2,500
24	ステップモータ駆動回路	PD 430-4, SPD 4225	5	66,500
25	A/Dコンバータ	自作 (TRS) コンテック・AD12-16 A (PC98)	(1)	145,000
26	制御回路	自作	1	—
27	I/Oボード	自作 (TRS) コンテック・PI0-16 (PC98)	(1)	80,000
28	電源	24 V-5 A, (12 V, 5 V)	1	—
29	パソコン	PC9801 UV 11, TRS-80	2	—

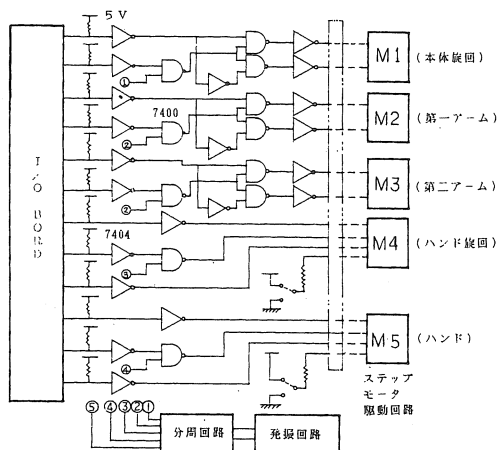
制御ソフトウェアの簡易化、ひいては動作精度の良否に影響する。また、表一に示すようにモータドライブ回路が最も高価であることから、安価な製作を目指すためには1台のドライブ回路で複数のモータを駆動することも考えられるが、次のような不都合が考えられた。

ホールド用と駆動用の2つのドライブ回路を設け、通電選択回路を制御することにより実現可能であるが、1台のドライブ回路の許容電流を大きくする必要があり一般的な市販品では入手困難であること、また、モータによって駆動パルスの周波数を変えることができないこと。

以上の理由で今回は、図一2に示すように、1台のモータに1台のモータドライブ (M1……M5) を対応させた。

M1の回路を例に制御の基本的な手順を述べると、M1のドライブ回路は左右回転用の2つの駆動パルス入力部を有している。マイコンより1台のモータ用としてパルス送出指令と左右回転区分の2つの指令信号が出力される。

モータを駆動する場合は、パルス送出信号が



図一2 ステップモータ制御回路

ONとなり、別に設けた発振回路よりのパルス信号とAND処理されたあと、さらに左右回転区分信号とAND処理されドライブ回路M1の一方へ入力される。又、パルス送出信号をOFFにすればモータは停止する (ホールド状態)。

M2, M3はM1と同じものであるが、M4, M5についてもドライバー仕様が若干異なるものの基本的には同様の制御が行われている。

2) センサ信号系

モータ作動角検出用ポテンシオメータ (5個)、異常荷重検出用ストレインゲージ (4個)、オーバラン検出用の機械式リミットスイッチ (2個) の信号をマイコンで監視した。

3) 電源制御系

電源電圧の降下やソフトウェアの不具合によるシステムの暴走等を防止するため、常時電源電圧を監視するとともに、異常時にマイコンで電源をON-OFFできる遮断回路 (SSR) を付加した。

4) マイコン・インターフェース系

供試したマイコンはPC 9801 UV 11, TRS-80の2台である。入出力制御用インターフェース等は、表一に示したとおりである。

III. 動作精度の確認実験

1. 制御ソフトウェア

アームを目標位置へ到達させるアルゴリズムとして各アームを順次作動させる方法と、全てのアームを同時に作動させ最短コースで移動させる方法がある。製作システムでは後者を採用した。その手順は、各モータの現在作動角検出→アーム座標計算→アーム目標座標計算→各モータ作動角計算→モータ起動→モータ毎に所要作動角終了監視→所要作動角終了モータのみ停止、となる。今回は各モータの作動角を予め設定し、起動後作動角を監視しながら所要作動角が終了したモータのみを停止させる基本ルーチンを開発し、システムの基本的な性能を調べた。

この場合、1出力ポートには複数のモータ指令ラインが接続されているが、1入出力ポートは8ビット単位で入出力されるため、必要なモータにのみ指令を発するソフト上の手順が必要

```

1000 '-----
1010 *OPERATION'  起動指令
1020 '-----
1030   FOR I=1 TO 5
1040     IF FG(I)=1 THEN DT=S1(I):AD=AD(I):GOSUB *GO
1050     IF FG(I)=-1 THEN DT=S2(I):AD=AD(I):GOSUB *GO
1060   NEXT
1070   RETURN
1080 '-----
1090 *FIN.CK'  終了チェック(全モータ)
1100 '-----
1110   FOR I=1 TO 5:SP=0
1120     IF SP(I)=1 THEN 1170
1130     GOSUB *LIMIT.CK:IF SP=1 THEN 1160
1140     IF FG(I)=1 AND E(I)<EDV(I) THEN 1170
1150     IF FG(I)=-1 AND E(I)>EDV(I) THEN 1170
1160     DT=S3(I):AD=AD(I):GOSUB *STP:SPY(I)=1
1170   NEXT
1180 '-----全モータ終了チェック-----
1190   SS=0
1200   FOR I=1 TO 5:SS=SS+SP(I):NEXT
1210   IF SS<5 THEN *FIN.CK
1220   RETURN
1230 '-----
1240 *LIMIT.CK'  限界チェック
1250 '-----
1260   IF FG(I)=1 AND E(I)>LOV(I) THEN SP=1
1270   IF FG(I)=-1 AND E(I)<UPV(I) THEN SP=1
1280   RETURN
1290 '-----
1300 *GO'  起動
1310 '-----
1320   IF I=5 THEN DE=DE OR DT:OUT AD,DE:RETURN
1330   DD=DD OR DT:OUT AD,DD:RETURN
1340 '-----
1350 *STP'  停止
1360 '-----
1370   IF I=5 THEN DE=DE AND DT:OUT AD,DE:RETURN
1380   DD=DD AND DT:OUT AD,DD:RETURN
1390 '-----
1400 *MDATA'  指令データと指令アドレス
1410 '-----
1420   RESTORE 1500
1430   FOR I=1 TO 5
1440     READ S1(I) '-----モータ1右回転データ
1450     READ S2(I) '-----モータ1左回転データ
1460     READ S3(I) '-----モータ1停止データ
1470     READ AD(I) '-----入出力ポートアドレス
1480   NEXT
1490   RETURN
1500   DATA &H3,&H1,&HFE,&HD2
1510   DATA &HC,&H4,&HFB,&HD2
1520   DATA &H30,&H10,&HEF,&HD2
1530   DATA &HCO,&H40,&HBF,&HD2
1540   DATA &H1,&H3,&HFE,&HD3
1550 '-----

```

図-3 基本ルーチンのプログラムリスト

となる。即ち、現在送出中のデータと必要ビットデータをAND又はOR処理して出力する必要がある。実験は機械語、BASIC(インタプリタ)、BASIC(コンパイル)の3言語で行った。図-3にBASICで作成した基本ルーチンのプログラムリストを示した。

2. 動作精度

1) ソフトウェアの違いによる制御誤差

図-4にインタプリタ型とコンパイル型BASICで制御した場合の目標作動角と停止時作動角の差(以下、制御誤差という)を示した。

コンパイルBASICによる制御の方が、監視ルーチンの処理速度が早いため、制御誤差も小さく、減速比6.25では、 0.3° 、減速比2.5では、 0.7° 程度であった。機械語の場合は、平均的にはコンパイルBASICより若干小さかったが減速機構、モータパルスレート($0.9^\circ/1$ パルス)が現状のままでは、機械語で制御することによる精度の向上は期待できず、コンパイルBASICで充分であると考えられた。

図-5に、減速比を変えた場合の制御誤差を示した。目標角度が小さい場合は、誤差が大きい傾向が見られたが、1/6程度まで減速する

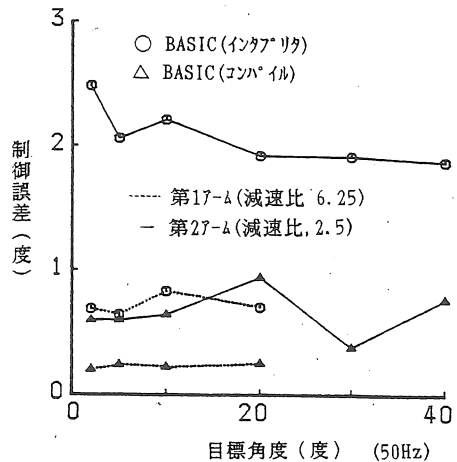


図-4 使用言語と制御誤差

と、目標角度の大小による制御誤差は回避できると思われた。

2) パルス周波数と制御誤差

図-6 に周波数を変えて駆動した場合の制御誤差を示した。周波数を大きくすると回転速度が上がるため、慣性力の影響で制御誤差は大きくなる。監視ルーチンの処理速度が遅いインタプリタBASICでは、50 Hz 程度であっても約 2° の誤差が発生する。又、コンパイルBASICであっても 0.5° 程度の誤差が発生することから、周波数を 25 Hz 程度に抑えることにより精度は確保できる。しかし、動作速度を大きくする場合は対策が必要である。

現在のシステムは、供給パルスの切換えを手動で行っているが、これをマイコンで制御できるように改良することにより 1 回の起動→停止の間を複数の周波数パルスで駆動することが可能であり、制御精度を確保しながら動作速度を向上させることができると考えられる。

3) 負荷状態と制御誤差

図-7 に負荷を変えた場合の制御誤差を示した。負荷が小さく目標角度が小さい時に若干の変動が見られたがほぼ一定の誤差であった。図-8 にロードセルによるアーム先端荷重の実測例を示したが、最大トルクを超えると、回転トルクが急減するパルスモータ特有の脱調現象が見られたことから、今後の応用時に、異常動作対策の一つに脱調対策も考慮しなければならないと考えられた。

4) 運転継続時間とモータ温度

モータを連続運転する場合、放熱対策を講ずる必要も考えられることから、連続運転中の各モータ外壁の温度を測定した(図-9)。1hr までは、第2アームを連続動作させ、以後は第1アームを連続動作させた。他のモータはホールド状態である。

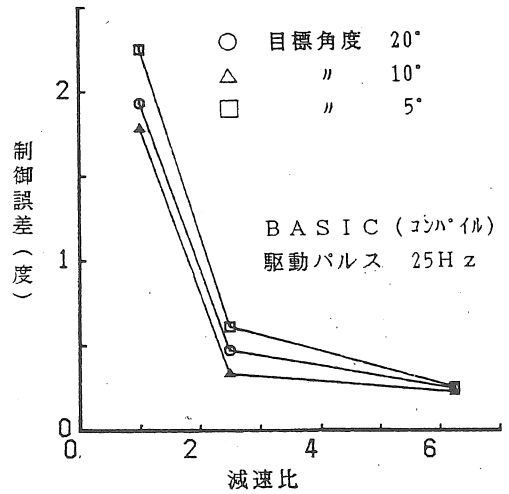


図-5 減速比と制御誤差

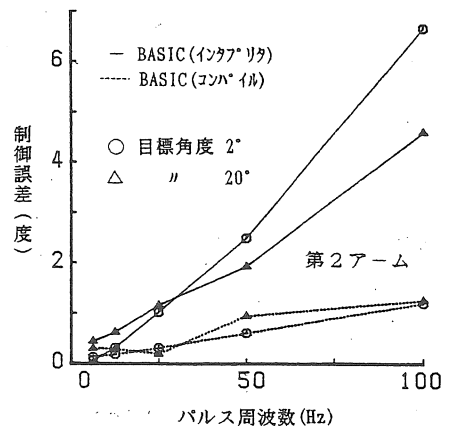


図-6 パルス周波数と制御誤差

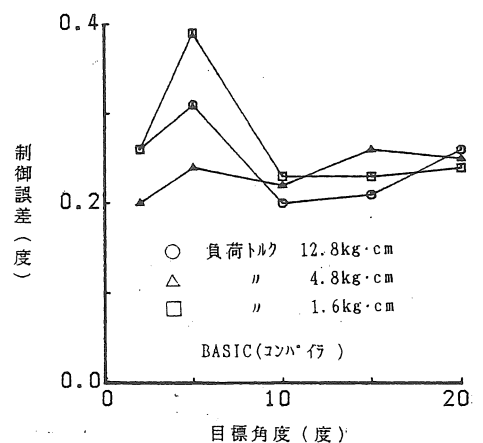


図-7 モータ負荷と制御誤差

その結果、ホールド中であっても負荷の小さいハンド、本体旋回用は約 50℃で平衡した。又、作動中のモータでも 70℃を越すことはなかった。

関連して、モータ軸に直結したポテンシヨメータも同一温度となることから、抵抗値が若干変化するが、ソフトウェアでの対応が可能であると考えている。

IV. おわりに

メカトロニクスの教材用として、安価な製作

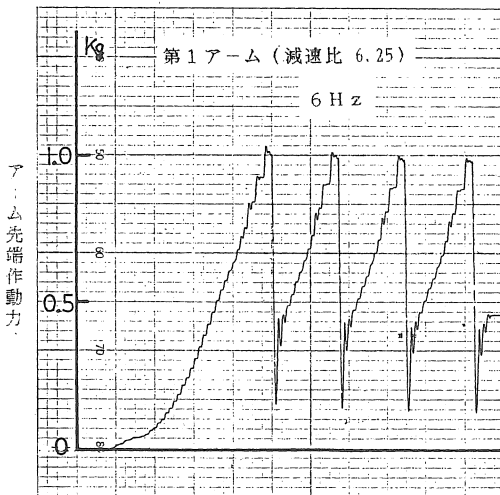


図-8 アーム先端荷重実測例

を目標にロボットアームを自作した。実験計測等で使われているマイコン、A/Dコンバータ等を活用し、若干の部品を購入することにより 20万円程度で製作可能であった。

基本的な性能について実験した結果、制御精度は良好であり、今後ハンド部を改良しながら応用的な実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 日本農業機械工業会：農業機械のロボット化に関する調査研究事業報告書，1988。
- 2) 金山裕・油田信一：マイコンによるロボット制御，CQ出版，1983。
- 3) 大木創：ステップモータの理論と実際，実教出版，1982。
- 4) 平松啓二・斎藤剛：図解マイコンのインターフェース，オーム社，1982。

〔読者コメント〕 学生教育用として安価なロボットハンドを自作されていることに敬意を表します。このようなノウハウは実際に行ってみないと身につかないものであり、当支部でもパネルディスカッション形式の実演会などを実施してもらえると、学生・院生等の研修には大変良いと思います。

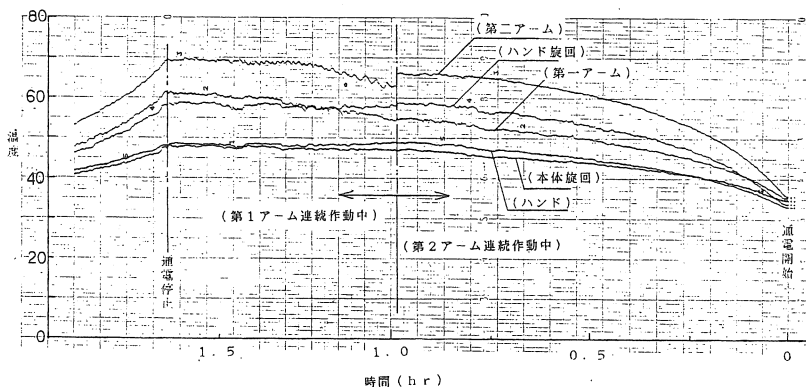


図-9 ステップモータの温度変化

〔著者回答〕 東北支部管内でもメカトロ分野の研究者等が増えることを期待しております。

研修会等、賛成です。手はじめに、ICの使い方などいかがでしょうか。

大底面積の堆積槽における有機物発酵乾燥過程の研究

呉 星五*・琵琶坂育雄*・清水 浩*

Studies on the Aerobic Fermentation and Drying Process of Organic Waste Materials in Packed Bed of Big Bottom Area

Xingwn WU*, Ikuo BIWASAKA*, Hiroshi SHIMIZU*

Abstract

Estimation of the fermentation and drying process of organic waste in assumed packed bed of big bottom area was done, using the data which were obtained from the experiments carried out with an apparatus of small size (The sample bed was 26.4 cm in diameter, 60 cm in depth).

The estimates of the accumulated quantity of the dry matter loss and the accumulated quantity of the evaporation of water with the lapse of time were calculated by aeration. The calculations were compared with the measurements of the experiments using the apparatus of small size. Furthermore, the moisture content of each layer was checked 8 and 100 hours after the temperature started to rise. Also investigated was the change of the effect of the heat loss from the wall. The change was caused by the decrease of the ratio of the wall area to the whole volume of the packed bed as the bottom area was increased.

1. 緒 言

実験室で小規模の装置(直径 26.4 cm, 高さ 60 cm)を用い鶏糞と稲わらを混合した堆積層へ下面から通気して発酵乾燥させ、縦方向で等分した 10 層毎の中心部の通過空気温度 T_{aci} と試料品温 T_{mci} (下から $i = 1 \sim 10$) を区別して計測し記録した。また通過空気は常に飽和湿度状態にあり、槽内での発酵による生成熱量は槽内での気温と品温の上昇に必要な顕熱と水分蒸発に必要な潜熱の合計値へ収支一致するとした式から、記録したデータを基に槽内での発酵過程における熱と物質の移動現象を推計する方法はさきに確立した(文献 1)。さらに他の条件を一定にして通気量だけを空塔速度で 0.18 ~ 45 [cm/min] の範囲に系統的に変化して実験し上記の推計方法を利用して発酵乾燥過程に通気量のおよぼす影響を調べた(文献 2, 3)。それによって発酵乾燥過程における有機物乾物減、水

分量変化などを経時的に明確に把握できるようになった。しかし、それらの成果は何と云っても小直径の実験から得たもので実際の大底面積の堆積層とは差があるとみられる。よって本報では大底面積の堆積層にも適用する推計法を究明した。

2. 研究方法

小直径槽での実験結果から大底面積層へ変換するには次項を考慮して、文献 1 の(1), (2)式を用いて行い、有機物乾物減・水分量変化などを推計した。

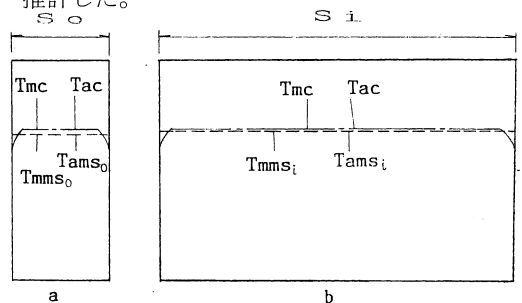


図 1. 中心部温度と平均温度の比較

* 岩手大学農学部

1) 発酵槽上面と周壁の断熱状態は小直径での実験条件と同一として、直径だけを大きくするとした。

2) 試料の初期総重量 W は下の式で計算した。

$$W = \rho \cdot H \cdot S \cdot 10^3 \quad [\text{kg}]$$

ρ : 試料かさ密度 [g/cm³] ($\rho = 0.5$)
 H : 層高さ [cm]
 S : 層断面積 [cm²]

3) 通気速度は空塔速度で表したので槽直径を大きくしても変わらない。通気量 Q は下式のようになる。

$$Q = v \cdot s \cdot 6 \cdot 10^{-5} \quad [N \text{ m}^3/\text{hr}]$$

v : 空塔速度 [cm/min]
 s : 層断面積 [cm²]

4) 各層中心部の通過空気温 T_{aci} と品温 T_{mci} について小直径槽で実測した層断面温度分布状態を文献1の図6に掲示したが、再度図1aに示す。中央部85%以上の断面積の範囲ではほぼ同様な温度であったけれど、周壁近くでは急激な温度降下が表われた。文献1では、その(8)式で示したが、全断面の平均温度 T_{ami} と T_{mmi} (図1aには T_{amso} と T_{mmso} として示した。) を求めて式(1)と(2)を代入して補正した。直径が大きい場合でも壁の断熱条件が同一ならば周壁部での温度降下は同様であるとした。すると図1bのように平均温度 T_{amsi} と T_{mmsi} は中心温度 T_{aci} と T_{mci} との差が極く少なくなった。本報ではかなり大底面積の例として直径5mの堆積槽を対象として推計したので、 T_{mcsi} と T_{acsi} の値として近似的に中心部での温度 T_{ac} と T_{mc} を用いた。経時変化するその温度は、小直径での実測値を用いた。

5) 乾燥能力は層上表面からの累積時間当り水分蒸発量の累積値 $\Sigma \Delta WA$ [kg/hr] で表し、その量は上面から出る空気と下面からの入気との絶対湿度差によって求めた。

$$\Sigma \Delta WA / W = \Sigma \{ \Delta \theta \cdot Q \cdot \gamma (Hwu - Hwco) \} / W = i$$

ΔWA : 上表面からの単位時間当りの水分蒸発量 [kg/hr]

$\Delta \theta$: 時間間隔 [hr] W : 試料の全重量 [kg]

γ : 空気密度 [kg/N m³]

i : 水分蒸発量比 [-]

Hwu : 上表面から出る空気の絶対湿度 [kg H₂O/kg Air]

$Hwco$: 入気絶対湿度 [kg H₂O/kg Air]

なお、層中心部の温度を近似的に用いたので i は無限大の底面積の場合に相応している。

6) 大底面積層での周壁からの熱損失は、小直径実験と同様に文献1の式(3)で計算し、式(1)を補正した。ただし底面積の増大によって周壁からの損失量の比率は減少する。

3. 乾物・水分減量の推計結果

大底面積(直径5mの場合)の推計条件は表1に一覧する通気条件別に行った。図2には乾物減量の全層合計値を経時累積値として通気量別に比較した結果を示した。比較のために小直径の場合を図3に併示した。両図を比較して、つぎのように考察できた。

表1. 実験条件の一覧表

番号	空塔速度 [cm/min]	初期含水率 [%w.b.]	かさ密度 [g/cm ³]	メモ
1	0.18	61.5	0.47	直通気
2	1.09	62.9	0.45	直通気
3	1.83	59.2	0.46	
4	3.66	60.1	0.44	
5	5.49	60.0	0.45	
6	7.32	59.8	0.48	
7	9.15	58.5	0.50	
8	11.0	59.7	0.50	無蓋
9	14.6	60.6	0.45	直通気
10	22.0	60.7	0.45	
11	27.5	59.9	0.45	
12	40.3	59.1	0.45	直通気

メモ内容にあるものを除いて、他の実験例は、蓋があり、20時間静置後通気する。

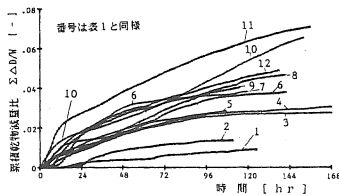


図 2. 累積乾物減量比の経時変化 (大底面積層)

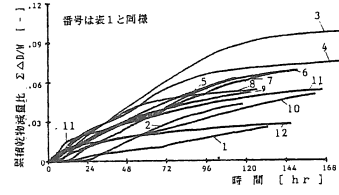


図 3. 累積乾物減量比の経時変化 (小直径層)

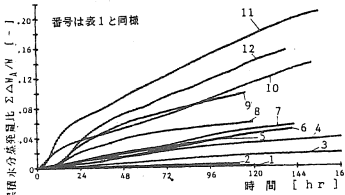


図 4. 累積水分蒸発量比の経時変化 (大底面積層)

- 1) 長時間 (100 時間) の時の累積乾物減 $\Sigma \Delta D$ は小直径の場合で 1.83 [cm/min], 大底面積の場合で 27.5 [cm/min] の通気量の例が最大値であって, 両者は相違し, 概して通気量の大小と $\Sigma \Delta D$ 値の大小の関係は反対になって, 大底面積層では 40.3 [cm/min] の場合を例外として, 通気量大なる程 $\Sigma \Delta D$ は大であった。その原因は堆積層全容積に対する周壁からの熱損失の比率の減少による。
- 2) 初期 8 時間 (直通気の場合は昇温開始後 8 時間) の時を見ると小直径槽も大底面積槽も共に初期の乾物減速度が大きかった。とくに 27.5 [cm/min] の通気量の例では初期乾物減が大きい値に表れた。
- 3) 通気が過小な 0.18 ~ 1.09 [cm/min] の例では底面積の大小に拘らず $\Sigma \Delta D$ は小さかった。これは微生物の生長に必要な酸素が足りないた

めとみられた。また通気量が過大な 40.3 [cm/min] の例でも, 共に $\Sigma \Delta D$ が 27.5 [cm/min] の例より小さい値になった。通気で熱量が奪われて微生物の生長に必要な温度条件を備えないためと見られた。

図 4 では堆積槽上面から蒸発した水分量の累積値を経時的に比較して乾燥能力を把握した。通気量の増加と共に乾燥能力が高くなり, 27.5 [cm/min] の時最大値になった。小通気量では温度上昇が大でも水分を運ぶ空気量が少ないために, 過大通気量の 40.3 [cm/min] では温度上昇が不十分となるために底面積の大小に拘らず水分蒸発量が共に低下した。

4. 層別含水率の推計結果

試料含水率の変化は乾物減少量と水分量の变化との両方の影響を受ける。今回は大底面積 (直径 5 m) の場合について初期 (昇温開始後 8 時間), および長時間 (100 時間) 後の層別の含水率を通気量別に比較した。図 5 は 8 時間後, 図 6 は 100 時間後の含水率である。両図から次のことがわかる。

- 1) 8 時間後では通気量の大小に拘らず, 含水率低下は極く少なかった。100 時間後では概し

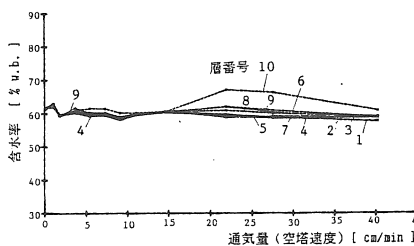


図 5. 8 時間時の層別含水率の通気量別の比較 (大底面積層)

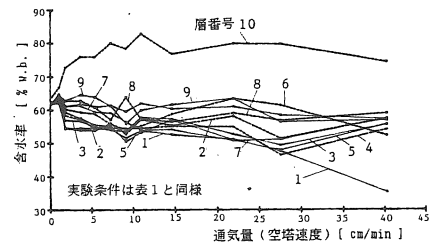


図 6. 100 時間時の層別含水率の通気量別の比較 (大底面積層)

て下層の含水率低下が著しく、通気量大である程そうであった。ただし、通気量過大(40.3 [cm/min])では例外である。

2) 第10層は含水率増加が著しい。8時間後でもそうであったが、100時間後にはとくにそうであった。上表面の品温低下が影響するからであり、第8~9層でもその影響がみられた。

5. 残された問題

実測の中心温度 T_{mci} と T_{aci} を使って求めた累積乾物減量 $\Sigma \Delta D$ は実は図7のようであった。図2と較べての相違点はNo.2~4の曲線が下向きとなった部分の存在である。他の条件でも小時間範囲で下向きとなった。すなわち乾物が増加する時期が現れたことを意味し理屈にあわない。それは、小直径での測温資料を大底面積へ適用したからと見られる。小直径では発酵による発熱量に較べて周壁からの熱貫流量が大きく、従って T_{mc} と T_{ac} が大底面積の場合よりも過大に低下するためである。本研究では、負の乾物減が表われたならそれを零になるように T_{mcsi} と T_{acsi} を高値へ修正した。図2はその方法での結果である。図8は、通気量1.83 [cm/min]の時の小直径での品温を層別経時的

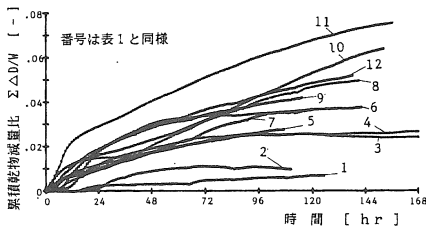


図7. 累積乾物減量比の経時変化 (大底面積層)

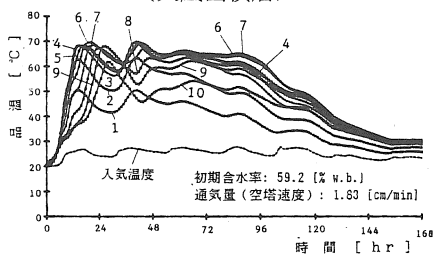


図8. 層別の品温の経時変化 (小直径層の実測値)

に記録したものであるが、上記のように修正した層別品温の変化は図9のようになった。大底面積層での層内品温変化は図示のようになると推計されるのだが今後さらに実験的に検討して推計の精度を改善する予定である。

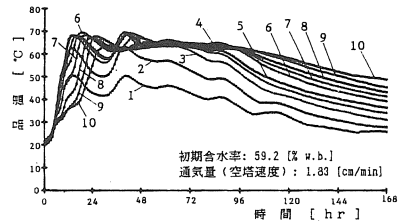


図9. 層別の品温の経時変化 (大底面積層の推計値)

参考文献

- 1) 清水・呉・木村・西山：有機物充填層の発酵乾燥過程における熱と物質との移動現象に関する研究 (英文)，農業施設，20巻2号，(1989)。
- 2) 清水・呉・木村・西山：有機物堆積層の発酵乾燥過程における通気量の影響についての研究，農業施設，投稿中。
- 3) 呉・清水：発酵乾燥過程における通気量の影響について，農機学会東北支部報35(1988)。
- 4) 木村・清水：家畜糞の堆肥化に関する基礎研究 (第1~2報)，農機誌 43 (2~3)，1981，(第三報)，農機誌 51 (1)，(1989)。

〔読者コメント〕層別の乾物減等を算出する場合に「外気からの入気以外は飽和状態にある」と仮定されていると考えるが、これは例えば最下層を貫流する空気でも現実に当てはまるとお考えか？

〔著者回答〕推計計算は御指摘の仮定に立っていますが、荷重計の読みとほぼ一致したことから仮定が許容されると判断しています。但し、最下層は必ずしも飽和状態にあるとは言えず特に通気量が大なる条件ではかなり相違すると思われまますので、今後の研究で精度を高めたいと思います。

生ごみコンポスト化装置の実用研究

清水 浩, 高木良太

Development of Composting Apparatus for Restaurant Waste

Hiroshi SHIMIZU*, Ryota TAKAGI*

Abstract

The authors developed a composting apparatus for organic waste from restaurants. They continued to conduct experiments at the cafeteria (about 200 seats) of the Faculty of Agriculture, Iwate Univ.. From the successful results, they proved the practical use of the apparatus. The actual capacity was about 512 liters. The reduction rate was 10~12kg/day in water, and 1.7~2.0kg/day in dry-matter. The temperature of composting material was 45~65°C at the normal condition. The products would be used in agriculture, and be restored for natural recycling. We also made some basic observations for the composting method.

1. 緒言 (問題の所在)

家畜糞から始まったコンポスト化の研究なのだが、延長して尿尿や生ごみへも適用しつつある。それは、地球環境の持続的保全と資源活用を図る問題だからである。近年における工業の加速度的発展と都市の急膨張とは、資源・エネルギーを乱費して地球の規模での自然環境の破壊へと進みつつあり、今や危機的認識を持って改善が迫られている。その改善策は自然循環の復元へ求められ、農業は役割を發揮するべきとみられる。この研究はその試行であり、下記諸項に問題の所在を認識して推進した。

(1) 在来型大規模施設への批判

生ごみを焼却や埋め立てでなくコンポスト化処理する施設は、1970年前後に大企業群が参加して積極的に推進された⁵⁾。それらは惨たんたる失敗に終わったと、今や評価されよう。少数ながら残存する施設もあるが、設備費単価や運転経費が焼却用施設より割高で⁶⁾、悪臭がひどく、汚水が溢れる場合もある。その原因は、発酵乾燥理論の整備不十分と、集団処理による異物混入にあったとみられる。前者については

その後の研究畜積^{1)~4)}で補えたと理解するが、後者については改善の兆しにない。分別収集を実施してもビニールや瓶類などの混入を断てぬ有様なので、抜本的改善を要するとみられる。

以上の事態は、下水道終末処理場の余剰汚泥でも同様である。そこでは工業排水が混入するので、製品を農地へ還元し難いからでもある。

(2) 自己責任による異物除去

家庭単位で発生する生ごみを個別処理する簡易装置 (通称・コンポスターなど) が、近年、急激に普及しつつある。その場合には自分が困るから、ビニール類などは事前に排除している。米国などでのディスポーザ利用でも同様で、自己責任での異物排除が前提である。異物排除は集団処理となると至難になるので、まず当面は、個別処理の方が良いと理解できる。

なお、ディスポーザは下水道終末処理場への負担を過重にするので日本では普及不能だが、冒頭へ記載の如く、資源乱費・環境汚染へ繋がるこの方式は、将来とも回避すべきである。

(3) 産業廃棄物処理の役割

食堂・病院・ホテルなどの生ごみや農産加工

* 岩手大学農学部

場廃棄物などは、産業廃棄物として発生者に処理義務がある。一般には業者依託で処理されるので出費を要し、一方、無責任な処理へ流れる傾向なので対応が必要である。その処理装置は上記コンポスターの能力を遥かに越えるので、対応可能な装置の開発が必要である。業者依託の出費負担が大きい地域から先発して普及は進み、改善に役立つであろう。まとまった発生量なので、社会への効果は大きいとみられる。

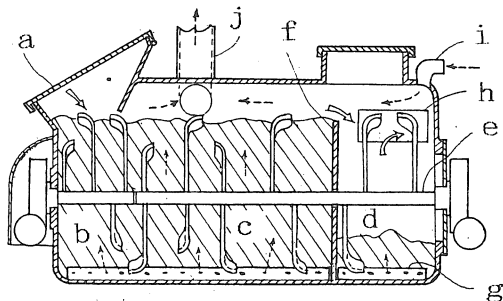
(4) 尿尿コンポスト化装置との連携

尿尿コンポスト化装置は順次に改善されて、少数ながら良い実績を築きつつある。これを強く希望する地域（離島、リヤス式湾岸地区、汲み取り難な住居、山小屋など）から普及開始して、有機質不足が深刻化した畑作地帯の農家などへと順次に普及拡大できると期待する。それを部分改良して生ごみコンポスト化装置とし、共通性をもって研究推進した。

2. 実験の装置と方法

図一に装置の構造を示した。槽本体は尿尿コンポスト化装置の改造で約3mm厚のFRP製、長125×幅70×高75cm、風体約660ℓ、攪拌室bの実容積約118ℓ、発酵室c 252ℓ、貯留室d 142ℓ、計512ℓである。

発酵処理する原料は蓋aを開いて随時に投入



a: 投入蓋 b: 攪拌室 c: 発酵室 d: 貯留室 e: 攪拌軸
f: 仕切壁 g: 給気管 h: 収納窓 i: 入気口 j: 排気管

図一 装置の構造図

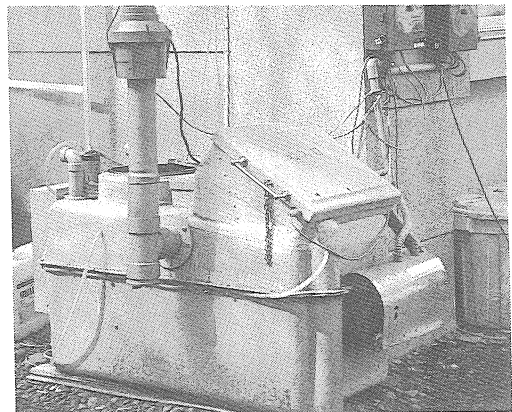
し、同時に、必要により添加材を投入する。全自動で完成製品が収納窓hから袋へ納入される。その間、投入原料は室b内で発酵乾燥するが、余剰分は仕切壁fを溢流して室dへ貯留し、さらに仕上げ発酵乾燥される。

攪拌軸eは継手を介し、b側は100Wモータで0.75rpm、c側は60Wモータで0.25rpm、おのおの独立のデイリータイマで表一に示す時間帯だけ間欠駆動した。給気用ブロワは90W（富士電気、リングブロワVF101A）、換気用ファンは60W（三菱電気、トイレ用ターボファン）、共に常時駆動した。また、給気は電熱で加温したが、100W=クロム線4本を夏季は総て直列配線で計12.6W、冬季は2本ずつ直列にした2組を並列配線して計40Wであり、共にサーモスタットで30℃以上へ維持するように装置した。この電熱量で冬季は-15℃へ対応可能となる。従って、設備電力量の合計は冬季で計350W、夏季には計323Wであった。

給気量は室毎にオリフィスを用いて規制し

表一 攪拌軸の駆動時間帯

攪拌室側	□ 45min	□	▨	□	□	▨	
×6 = 270min/day							
時刻	8	10	12	14	16	18	20
発酵室側	□ 30min	▨	□	▨	□	▨	▨
×4 = 120min/day							
□ : 正回転 ▨ : 逆回転							



図二 装置の外観

た。稼動期間中の値は表-2に一覧した。換気用ファンの排気量は実測値で1,884 ℓ/minであった。給気量との差が入気口 i から矢印の如く堆積物上面を通過して蒸発水分を排出する。

この装置を岩手大学農学部食堂に設置し、その発生厨芥全量を連続処理した。該当食堂は約200席、三食運営で約一千食/日である。該装置は1988年8月31日から翌89年3月20日まで連続稼動して、実績を計測した。夏秋冬を含む季節変化の影響を検証できたとみなせた。図-2には該装置の外観写真を掲げた。

原料供給量は、実験開始当初の9月上旬と翌年2月上旬とに5日間ずつ計量して実績平均値を求めた。結果は表-3に示した。夏季(9月)に比べて冬季(2月)には野菜屑量が格段と少なかった。日別変動はかなりに多かったが、両季節の残飯量は平均値で極めて近似した。野菜屑は含水率が高かった。

見掛け上では水分の多い残飯の方が、含水率は低かった。全体平均で夏季85%、冬季80%であった。灰分率も野菜の方が残飯より高かった。含水率は105℃-24時間法により、灰分率は絶乾後に1,000℃にて24時間マッフル炉で焼いて計った。

上記の測定結果を用いて中間をサインカーブで繋ぎ、稼動期間全体の投入量を推計した。図-3に結果を累積値で示した。ただし、食堂の休業日は除外して求めた結果である。投入水分と灰分の累積値も、図に並示した。また、添加材を少量ながら使用したので、それら3種の仕

表-2 給気量の室別実績値

期 間	8/31~10/24	10/25~12/5	12/6~
攪拌室	18	28.2	28.2
発酵室	36	73.7	40.0
貯留室	15	20.0	20.0
計	69	121.9	88.2

単位：〔ℓ/min〕

表-3 投入量とその内訳

		投入量 〔kg/day〕	含水率 〔% wd〕	灰分率 〔% db〕
夏 季	残 飯	13.0	77.0	2.54
	野菜屑	12.0	92.4	10.28
	合 計	25.0	84.8	4.39
冬 季	残 飯	12.8	77.7	2.54
	野菜屑	1.8	93.4	6.98
	合 計	14.6	79.6	2.72
添 加 材	A		20.0	6.5
	B		14.0	3.7
	C		12.0	0.5

(注) 合計値は%/wbでの平均であり、かつ、投入量の加重平均である。

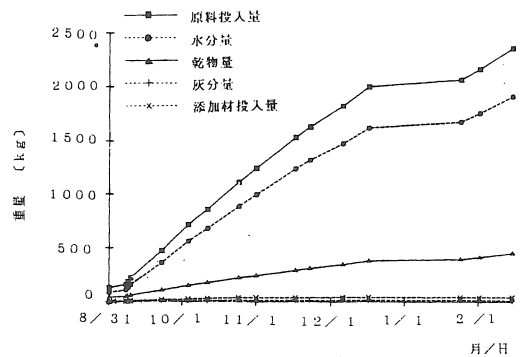


図-3 実績投入量の累積値

様を表-3へ、全体の累計値を図-3へ並示した。

3. 実験結果と考察

結果は良好であった。過大含水率の原料を小容積の装置で大量処理して、なお余裕がある程であった。発酵槽内はほぼ45~65℃を維持し、臭気などは殆ど感じられなかった。活発に好気性発酵すると悪臭はないが、投入口側の生ごみから若干の悪臭が立つので装置を密閉し、入気口 i を細管としたからと認められた。

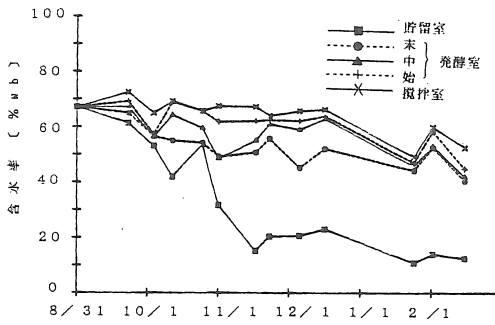
実験中、適当間隔の期間別に槽内各位置から試料採取して、含水率と灰分率の変化を計測した。結果を図-4・図-5へ示す。この結果と原料投入の推計値とから、期間別の日当乾物減

量と日当水分蒸発量を表一4のように算出した。

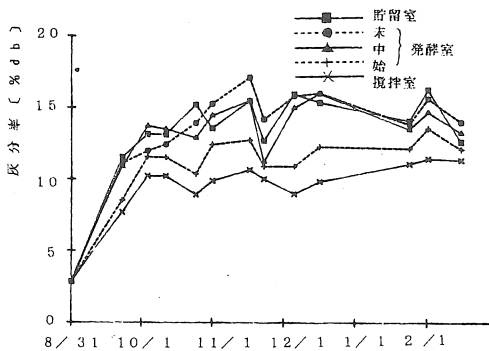
灰分率の増加は乾物減量の結果であって、図示のように、稼動開始時は表一2の原料と若干の混合材とで灰分率は約2.7%であり、その後、灰分率は攪拌室側から貯留室側へと勾配が付き、発酵室末端部で約15%へ増加した。これは、投入乾物量から灰分量を除いた可分解物量の実に約87%が消費されたことに相当すると、下式から理解できる。

$$[1 - \{(1 - 0.15) / (1 - 0.027)\} \times \{0.027 / 0.15\}] / (1 - 0.027) = 0.8661$$

含水率は図一4に示すように、攪拌室側から順次に低下して約45%wbで溢流し、貯留室へ移行してさらに約17%wbへまで乾燥していた。表一2に示した給気量中で、10/25からののは過大だったようで、発酵室末部では堆積物が塊状になる傾向がみられた。十分に発酵が進まない内に乾燥するためとみられた。よって、11/23



図一4 試料含水率の実測値 月/日



図一5 試料灰分率の実測値 月/日

表一4 測定期間別の乾物減・水分減

期 間 〔月 / 日〕	日数 〔日〕	日当乾物減 〔kg/day〕	日当水分減 〔kg/day〕	添加材混 合率〔%〕
8/31~ 9/22	23	1.11	6.62	6.5
9/23~10/ 3	11	1.97	12.45	4.2
10/ 4~10/11	8	1.67	10.24	2.9
10/12~10/24	13	1.93	11.48	3.1
10/25~10/31	7	1.85	11.95	0
11/ 1~11/16	16	2.03	11.99	0
11/17~11/22	6	1.77	10.26	0
11/23~12/ 5	13	1.74	10.54	0
12/ 6~12/16	11	2.00	8.95	0
12/17~ 1/20	38	0.213	1.120	0
1/21~ 1/31	8	1.80	8.27	0
2/ 1~ 2/24	14	1.89	9.20	0

に再度調節した。しかし、年末休みに投入休止したため年始めに掛けて約50%wbへ低下し、発酵温度も35~45℃となったが、十分に発酵した後なので粉状となって壁fから溢流し、良好状態へ帰ったと認められた。その過乾となる以前の攪拌室内は約70%wbであり、強い水分勾配を形成して発酵室内を適正水分に保持し、活発な発酵を維持して正常状態に在ったとみられた。表一4に示すように、その間の日当乾物減は1.7~2.0kg/day、日当水分減は10~12kg/dayであった。11/23に再調整して適正值へした段階での発酵室への給気量は、空塔速度に換算して約9.5cm/minであり、過大風量とみたそれ以前では17.5cm/minであった。それらは通気量の基礎研究結果^{2) 3)}と整合できた。なお、加温ヒータの夏冬季替えは11/23であった。

実は、図一1の装置は2号機であり、1号機の経験を基に細部を改良した装置であった。1号機は異物(大石)混入で給気管が破損したので、それへも耐え得るよう改良したのだが、その破損過程で発酵不良を如実に体験できた。1・2号機を比較して、次のように考察できた。

厨芥、とくに野菜屑は含水率が過大だが、新鮮時には細胞組織内へ豊富に水分含有して比較的強固な固体構造を保つので、攪拌室で適宜に

破砕され発酵物と混合されると、必要な空隙率と比表面積とで代表する通気性を堆積物が持っている、含水率は過大であっても発酵可能な条件にあったと理解できた。そして発酵が進むと細胞組織が崩壊して内部水分が流出すると共に物性が軟弱・粘質化するので、相応の低含水率で通気性が保持できる。発酵室内での上記の水分傾斜によって対応できていて、室内全体が発酵可能条件を保持したとみられた。本装置のこの特長をもって、高水分の厨芥が連続的に支障無く処理できたとみられた。

なお、乾燥混合材の使用量は図-3に示したように極少量であった。装置の運転開始当初には約2kg/日、原料投入量の1割弱程度の混合材投入を必要としたが、1カ月経過後からは殆ど添加不要であった。

4. 結果の分析

実用実験は予想以上の良好な結果が得られたが、その成因について、実験場と同一市内に在る盛岡気象台の測候資料を用い、若干の分析を試みた。

表-5は試料採取の期間別に、対応する月平均の気温・湿度を用いた分析結果である。表示の外気温・湿度で換気ファンの風量が入気し、乾物減量による熱量（高発熱量を3.600kcal/kgとした）とヒーター熱量とが加って実績水分減量を蒸発した後の排気温度とその比較湿度

表-5 蒸発水分搬出の季節別推計
(月平均値による)

期 間 (月 / 日)	平均気 温(°C)	平均相対 湿度(%)	排気温 度(°C)	排気比較湿 度(%) ①
8/31~ 9/22	18.0	81	18.4	93
10/ 4~10/11	11.6	78	12.5	106
11/ 1~11/16	5.6	75	7.0	123
12/ 6~12/16	0.4	75	5.0	101
1/24~ 1/31	-2.5	74	1.6	109
2/ 1~ 2/14	-1.8	72	2.1	112

①は絶対湿度での飽和度であり、100以上は架空

表-6 蒸発水分搬出の日別推計
(特定日での)

調 査 日 (月 / 日)	実績水分 減 量 [kg / day]	②水分蒸発 可 能 量 [kg / day]	③水分蒸発 可 能 量 [kg / day]	③/② [%]
9/22	6.62	10.37	11.95	115
10/24	11.48	8.30	9.38	113
11/22	10.26	6.48	6.98	108
12/16	8.95	6.74	6.77	101
1/24	8.28	8.09	9.00	111
2/10	9.14	5.37	6.22	116

②は一日平均値を、③は毎時測定値を用いた結果。

(絶対湿度の比)を計算すると、表示の①のように飽和点を越える場合が多く、換気では搬出不能と理解できた。

よって、稼動期間中に月別に6例を抽出し、1時間毎の測候資料を用いて排気が飽和湿度となる時の排気温度と、搬出可能な水分蒸発量を求めて一日集計値③を算出し、一日平均の外気温湿度を用いた時の水分蒸発可能量②と比較した。表-6にそれを示した。時間毎の外気の変化を考慮した時③は、一日平均値を用いた時②よりも多く、夏季ほど差が大きかった。

隔月に3例だけを採って、時間別変化の実態

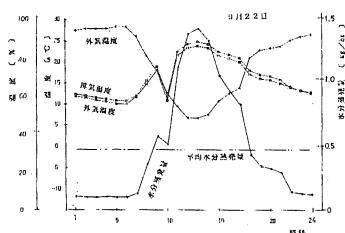


図-6 時間別の水分蒸発可能量(9月22日)

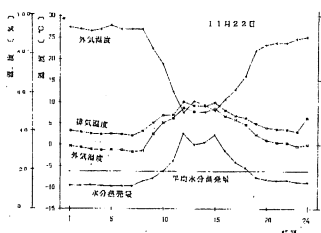


図-7 時間別の水分蒸発可能量(11月22日)

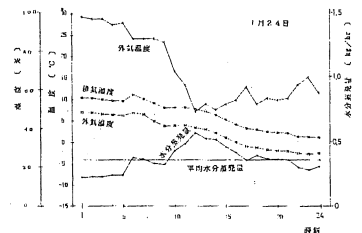


図-8 時間別の水分蒸発可能量(1月24日)

を図一7～9へ示した。水分蒸発可能量は図示のように日中に大きく、夏季ほどそうであって、日平均値を引き上げていることがわかる。概して、夜間も20時頃までは良いが、深夜から、とくに早朝に悪くなることが多い。図一8は雪になった日で気温が下降過程にあるが、同様である。従って、日中の乾燥能ある大気を積極的に活用する方法が大切と理解できる。前掲・図一2のように、深夜から早朝には攪拌せずに発酵熱を蓄熱し、日中から夕刻に集中して攪拌して暖かい濡れ表面を露出し乾燥を助長させた成果が前記のようであったと理解された。冬季に野菜屑量が激減して気候変化へ対応できていたことも、好都合な利点として評価できた。

天候には日変動が大きく、期間累計としての処理可能量が検討されねばならない。大気利用のこの乾燥機構については、今後なお、詳細に究明したい。

5. あとがき

別途研究中の尿尿コンポスト化装置を部分改良して生ごみコンポスト化について実用試験を実施した。結果は良好であって、実用可能と認められた。処理費用負担の大きい地域から順次に普及が始まるであろうと期待する。

処理製品は極く少量に納まるので、回収して再利用するシステムが構築できるとみられる。当面は有機質肥料として畑作地帯などで需要されるであろうが、原料が厨芥に限られるので、より価値ある飼料として利用して、後の家畜糞を肥料とする方が一段と良い。そのためには、なお長い研究蓄積を必要としよう。限り有る資源を可及的に有効利用するこの研究方向は、地球に生きる社会人の良心として、極力可能性

を模索せねばならない。この成果を一理塚に、実用化への具体的行動を願っている。

参考文献

- (1) 清水浩, 呉星五, 他: 有機物堆積層の発酵乾燥過程における熱と物質との移動現象についての研究 (英文), 農業施設 20 (2), 1989
- (2) 呉星五, 清水浩, 他: 有機物充填層の発酵乾燥過程における通気量の影響についての研究, 農業施設, 投稿中
- (3) 呉星五, 清水浩: 発酵乾燥過程における通気量の影響について, 本誌 35, 1988
- (4) 木村俊範, 清水浩: 家畜糞の堆肥化に関する基礎的研究 (第1～3報), 農機誌 42 (2～3), 51 (1), 1971, 89
- (5) 下水道汚泥資源利用協議会: 有機質廃棄物のコンポスト化に関するシンポジウム講演集, 1985
- (6) 木村俊範: 岩手県受託研究, 都市ごみコンポスト化技術調査研究, 昭和63年度報告書, 1989

〔読者コメント〕生ごみの良好なコンポスト化を実現したことは高く評価される。ここで、普及を前提とした場合、設備電力量は処理容量の割には少々高くないだろうか。また、インシヤルコストについて少しふれていただきたい。

〔著者回答〕設備電力量は過大とは思わないが、もう少し縮少するように改良したい。但し、文中にあるように、タイマーで極少時間しか働いていないので、消費電力量は僅少である。また、添加材も殆んど使わず、インシヤルコストは少ない。

農用トラクタ機関の出力制御に関する研究

— ガバナレバー位置のコンピュータ制御システム —

高橋照夫*・武田太一*・落合賢一*

Optimum control of engine power on farm tractors

— A computer control system for a governor control lever —

Teruo TAKAHASHI*, Taiitsu TAKEDA*, Kenichi OCHIAI*

Abstract

A computer control system has an optical pick-up of engine speed and a stepping motor which moves a governor control lever. The difference between the RPM from the pick-up and the zero-torque RPM that is computed from steps of the motor is to be used in a setting of governor control lever for the rated engine power.

1. はじめに

農用トラクタ機関は、オールスピードガバナを装備しているため、負荷の変化に対しても比較的安定した回転速度で作業ができる特徴がある。しかし、ロータリ耕などのような重負荷作業の場合にはアクセルレバー操作の適否によって、機関が過負荷状態に陥り出力状態が不安定になったり、逆に部分負荷の状態で燃費が悪化するなどの事態がみられることがある。こうした機関出力の最適化に関する問題については、Chancellor ら¹⁾や坂井ら²⁾³⁾の研究などがあるが、まだ数が少ない。

本報は、農用トラクタの効率的利用を図る研究の一環として、機関に装備されたガバナの特性を活用して、ガバナ機構のコントロールレバー位置をコンピュータで制御することにより、機関出力を負荷に応じて最適化する方法について検討したものである。

2. 機関出力制御システム

(1) 機関の出力制御の考え方 機関出力の最適制御に関しては、最小燃費曲線を利用する方法²⁾などがあるが、本報では簡便な方法として以下のように考えた。

農用トラクタ機関のトルク及び出力は、ガバナ機構のコントロールレバー（アクセルレバーに連結されている。以下ガバナレバーと略す）がある位置に固定されると、負荷に応じてガバナが作動し、一般に図1に示すような実線上を

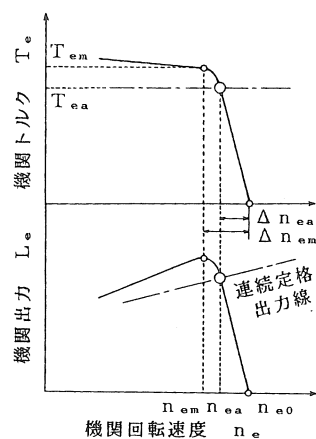


図1 機関の出力制御の考え方

* 弘前大学農学部

変化する。通常同図の出力線上の連続定格出力付近で機関を使用すれば最も効率的とされるので、機関出力の最適化は、出力が作業中常に連続定格出力線にあるように、負荷に応じてガバナレバー位置を制御することである。本報では、その連続定格出力が作業時最大出力の85～90%であると想定する。

ところで、トルク T_e が図1のように機関回転速度 n_e の低下に比例して増加する場合連続定格出力時のトルク T_{ea} は次のように表される。

$$T_{ea} = (0.85 \sim 0.9) T_{em} (n_{eo} - \Delta n_{em}) / n_{ea} \quad (1)$$

また、

$$T_{ea} = T_e \Delta n_{ea} / \Delta n_e \quad (2)$$

ここで、 n_{eo} はガバナレバー位置で決まる無負荷時回転速度、 T_{em} はそのガバナレバー位置での最大出力時トルク、 Δn_{em} は最大出力時回転速度 n_{em} と n_{eo} との差、 n_{ea} は連続定格出力時の回転速度、 $\Delta n_{ea} = n_{eo} - n_{ea}$ 、 $\Delta n_e = n_{eo} - n_e$ である。

式(1)中、 $(n_{eo} - \Delta n_{em}) / n_{ea}$ の値は、 n_{ea} が常に n_{em} に近接しているため、回転速度が約1800 rpm 以上では0.97前後となる。結局、同回転速度域で T_{ea} の値は、 n_{eo} にかかわらず T_{em} の約0.82～0.87倍である。すなわち、 T_e が Δn_e に比例し、かつ T_{em} が一定であるようなトルク特性の機関では、定トルク制御を行えばよいことになる。

以上より、本報における機関出力の最適制御方法を要約すれば、 Δn_e が Δn_{ea} と一致するように、 n_{eo} を負荷に応じて調節することである。さらに必要に応じて、 n_e の範囲に制限を設ける。

(2) 制御システムの構成及び機能 制御システムは、図2(a)のように、機関回転速度検出部、ガバナレバー位置調節部及びコンピュータ部で構成されており、本研究では小形農用トラクタ

(公称定格機関出力11.8 kW {16 PS } / 2600 rpm) のガバナ機構部に装着して実験に供試した。

機関回転速度検出部は、トラクタ機関のクランク軸プリーに取り付けたスリット円板(スリット数24ケ)とフォトインタラプタ(オムロン EE-SX 671) からなり、回転数に比例したパルスを出力する。検出時間は1回につき1秒である。

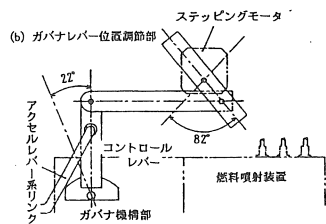
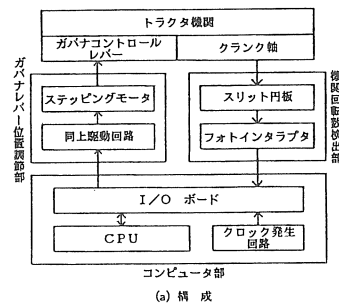


図2 制御システムの構成

ガバナレバー位置調節部は、同図(b)のようにガバナ機構のコントロールレバーとステッピングモータ軸をリンクで連結したもので、同モータ軸の回転角を変化させることによりガバナレバー位置を調節するようになっている。使用したステッピングモータ(オリエンタルモーター PXB 43 GO 1-01A)は2相励磁方式、ギア減速機構つきのもので、最大静止トルクが0.784 N・m {8 kgf・cm}、1ステップ当たり0.1°の送りである。同モータの駆動にあたっては、ギア減速機構のバックラッシュの影響を除くため、ガバナレバーにバネで張力を与えるとともに、0.2°単位で作動させるようにした。なお、ア

クセルレバー系は同モータが作動中解放状態となる。

コンピュータ部は8ビットCPU(NEC PC-8001 mk IIで代用), I/O ボード及びステッピングモーター駆動用のクロック発生回路から成る。同部は回転速度検出部の信号から n_e を算出するとともに, ステッピングモータ軸の回転角から n_{eo} を計算して, 両者の回転差 Δn_e と前述の制御基準から, 同モータ軸の所要回転角を決定し, ガバナレバー位置を制御する。

(3) 制御システムの作動特性 機関回転速度検出部の信号から算出される回転速度の精度は平均約±3 rpmであった。供試機関の回転速度範囲は800~2800 rpmで, それに対応するステッピングモータ軸回転角の制御範囲は約80°であり, 両者の関係を図3に示す。同図のよう

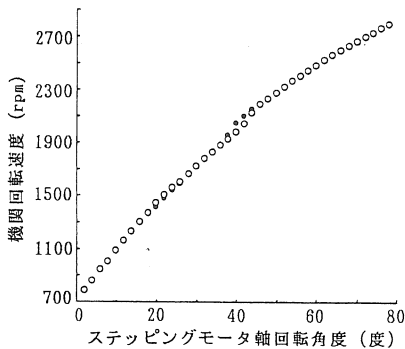


図3 制御システムの作動特性
(○印：回転上昇時, ●印：同下降時)

に, 高速回転域ほどモータ軸回転角の増加に対する回転速度の増加割合が小さくなる傾向にあった。なお, 回転速度上昇時(○印)と下降時(●印)で, 2000 rpm前後においては最大約18 rpmの差がみられたが, それ以上の回転速度では約5 rpm程度にとどまり, 使用上十分な精度と判断された。

3. 出力制御に関する実験方法

予め供試トラクタ機関の出力特性を建設機械

用ディーゼル機関試験法の作業時負荷試験に準じて調べたのち, 水動力計の負荷特性を利用し, ① Δn_e の性質, 及び②ガバナレバー位置の調節速度に対する機関応答性について実験した。

(1) 実験装置及び測定方法 供試トラクタ機関のPTO軸に水動力計(タナカ式P-2.5#)を接続し, その動力計荷重と同主軸回転速度を測定して機関トルク及び出力を算出した。制御システムの作動状況は, ステッピングモータ軸回転角, n_e , n_{eo} 及び Δn_e をディスプレイに表示させるとともにフロッピーディスクに記録させた。

(2) 実験条件 ①では, 供試機関の連続定格出力線上の3点を通る各負荷線について, n_{eo} を1900~2700 rpmの範囲で変化させた。②では, 同出力線上の1点(無負荷回転速度は n_{e1})を通る負荷線について, ガバナレバー位置を $n_{eo} = 1900$ (及び2700)rpmから n_{e1} まで移動させる所要時間を9~28秒の間で4段階設定した。

(3) 実験方法 ①では, はじめに所定の連続定格出力状態(それぞれの無負荷時回転速度は n_{ej})になるように水動力計で負荷をかけてその流量調節ハンドルを固定した後, n_{eo} を低速度側(及び高速度側)から n_{ej} に一致するまで段階的に変化させた。②では, ①と同様に設定したのち, ステッピングモータ軸の角速度は同一のままとし, 作動時間が所定値に合うように回転角及び休止時間を調整して, n_{eo} を n_{ej} まで連続して変化させた。

4. 実験結果及び考察

(1) 供試機関の出力特性 図4の○印は, 供試機関の出力性能試験における測定例を示したものである。同図のように, 供試機関のアングライヒ装置のため, 各出力線の過負荷領域における延長線が n_{eo} の増加とともに少しずつ高くなるという特徴がみられた。⁴⁾

同図中一点鎖線は連続定格出力線で、定トルク ($T_{ea} = 47.0 \text{ N} \cdot \text{m} \{4.8 \text{ kgf} \cdot \text{m}\} = 0.85 \sim 0.9 T_{em}$) を想定した場合のものである。それを

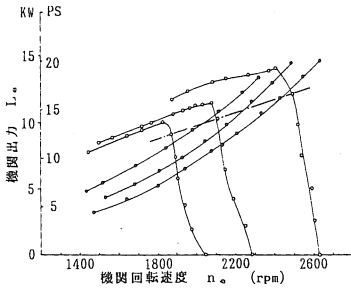


図4 供試機関の出力特性と水動力計の負荷曲線 (○印：出力線，●印：負荷線，一点鎖線：連続定格出力線)

もとに n_{eo} と Δn_{ea} の関係を求めた結果が図5である。この $n_{eo} \sim \Delta n_{ea}$ 線が供試機関の連続定格出力を規定する特性線となる。

図5によれば、 Δn_{ea} は、 n_{eo} が大きいほどトルク線の立ち上がりが急になるため小さいが、 n_{eo} が約 2300 rpm 以下の範囲では変化が少なかった。これは、トルク線の平均的な傾きは n_{eo} の小さいほど緩やかなものの、その一方で立ち上がりの途中から急になる傾向も表われたためである (図4の出力線参照)。従来のトラクタ機関には、トルク線の立ち上がりが直線的で、その傾き角度が n_{eo} の低下にしたがい比例的に小さくなるものが多いが、その場合 Δn_{ea} 線は全体にわたって右下がりの直線になると予想される。

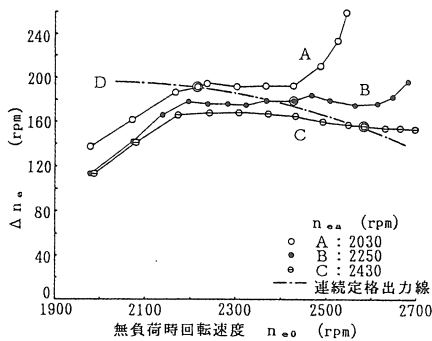


図6 無負荷時回転速度と Δn_{ea} の関係 (二重丸は連続定格出力時を示す)

(2) Δn_e と n_{eo} 及び T_e の関係 図4で●印は、水動力計の負荷曲線 (なお各線のプロット点は測定結果の一部) である。出力は回転速度の変化に対して3次曲線的に増加しており、流体機械の典型的な負荷特性の特徴がみられた。

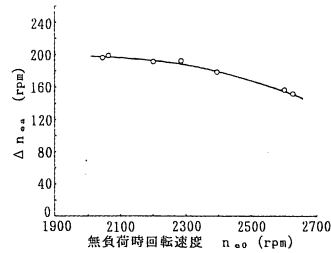


図5 無負荷時回転速度と Δn_{ea} の関係

それらの負荷曲線は供試機関の n_{eo} を段階的に変化させて得られたものであり、 n_{eo} と Δn_e の関係で表すと図6のようになる。なお、連続定格出力の特性線は一点鎖線 (D線) で示してある。また、 Δn_e と T_e の関係は図7に示すようになる。同図で左下方が低速回転側であり、 T_e は Δn_e が増えるにしたがいS字曲線的に増加する傾向にあった。すなわち、図6で Δn_e が一定ないし減少傾向となる部分が図7の全負荷付近に、その後の増加傾向の部分が過負荷領域に対応している。

ところで、 Δn_e と n_{eo} 及び T_e との上述のような関係は、 n_{eo} 各点における T_e 線の立ち上がりの傾き状態と、それに交わる負荷線の増加

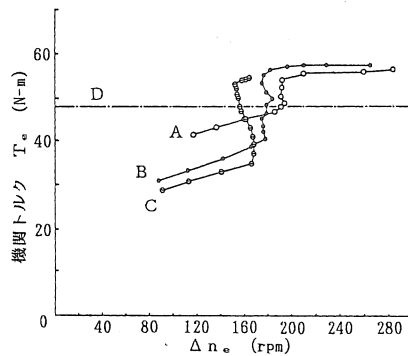


図7 Δn_e と T_e の関係

割合の関係によって決定される。トルク線図を簡略化した図8で考えると、 $\Delta n_{e2}/\Delta n_{e1}$ は次のように表される。

$$\Delta n_{e2}/\Delta n_{e1} = \{\beta(\varepsilon/\Delta n_{e1}+1) + \tan \theta_1\}/(\beta + \tan \theta_2) \quad (3)$$

ここで、 $\beta = (T_{e2}-T_{e1})/(n_{e2}-n_{e1})$;

負荷トルクの増加割合、 $\theta_i = \tan^{-1}\{T_{ei}$

$\}/(n_{eoi}-n_{ei})\}$, ($i=1, 2$), $\varepsilon = n_{e02}-n_{e01}$ 。

なお、 $\varepsilon = \Delta n_{e1}$ のときは、

$$\Delta n_{e2}/\Delta n_{e1} = (2\beta + \tan \theta_1)/(\beta + \tan \theta_2) \quad (4)$$

Δn_e は、 $\Delta n_{e2}/\Delta n_{e1} > 1$ であれば増加し、不等号が逆ならば減少する。

図6のA線について β と θ の関係をみると、 β はほぼ全域にわたり正であるが、 θ は n_{eo} が約2200 rpm以下では前述のような機関トルク特性のため n_{eo} の増加とともにやや減少し、約2200～2400 rpmでは増加傾向にあるもののその割合は小さかった。また約2400 rpm以上では過負荷領域に入るため β は0に近く、 θ は次第に小さくなった。他の線でも同様であるが、 θ が n_{eo} とともに増加する区間では Δn_e はやや減少傾向となっている。

以上は2乗トルク特性負荷の場合であるが、負荷が回転速度に比例して増加する場合も、 n_{eo} と Δn_e 及び T_e の関係は同様の傾向になることが β と θ の関係から推察される。

(3) Δn_e を変数とする制御について さて、上述のような2乗トルク特性負荷の場合において本制御システムの制御基準を適用すると、 n_{eo} が図6の Δn_{ea} 線(D線)と各負荷の Δn_e 線(A～C線)との交差点に設定されるように、ガバナレバー位置を調節すればよいことになる。 n_{eo} の設定誤差は、 Δn_{ea} 線と Δn_e 線の交叉角が大きいほど小さくなるが、図6のような場合には両線の傾きが接近しているため、制御精度を確

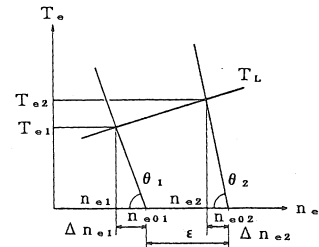


図8 Δn_e と n_{eo} 及び T_e の関係の検討

保するためには Δn_e の測定精度をかなり上げる必要がある。例えばC線の場合、連続定格出力値の $\pm 10\%$ 以内に収めるためには、 Δn_e の許容誤差を ± 6 rpm程度に押さえなければならない。

以上のような Δn_e の性質をもとに、負荷が定トルク特性及び定動力特性の場合の制御について考察すると次のようになる。

まず定トルク特性負荷の場合、 T_e は n_{eo} の変化にかかわらず一定であり、図6では Δn_{ea} 線と Δn_e 線は平行となる。したがって、この場合には両線が一致するように、トラクタ又は作業機の変速比などの制御によって負荷を変化させることが必要になる。なお、 n_{eo} は n_e が所望の値(又は範囲)となるように n_e に Δn_{ea} 分を加えた値に調節すればよい。

次に定動力特性負荷の場合負荷トルク線は n_e と反比例するので、 Δn_e 線は図6と逆に常に減少傾向となる。すなわち、 n_{eo} が過負荷領域から次第に増加すると、式(3)において β が負で θ が大きくなるので、 Δn_e ははじめ急減した後、緩やかな減少となって Δn_{ea} 線と交差する。したがって、 Δn_e を変数とする制御方法は2乗トルク特性負荷の場合と同様であるが、低速回転側が過負荷領域に入り、かつ両線がともに減少傾向のため、 Δn_e の許容誤差は上述の例以上に狭いことになる。

なお、2乗トルク、定動力両負荷の場合でも、 Δn_{ea} 線と Δn_e 線が交差する点の n_e が所望の範囲内に入らないときには、トラクタ又は作業

機の変速比などの制御によって負荷を変化させなければならないのは当然のことである。

(4) ガバナレバー位置の調節速度と機関の応答性 図9は、低速回転の状態から連続定格出力となる n_{e0} までガバナレバー位置を移動させる所要時間を変えて、 Δn_e の経時変化をみた結果である。同図によるといずれの場合も Δn_e の変動はほとんどみられなかった。高速回転状態からの実験結果も同様であったので、実験したような調節速度に対しては機関の応答性は十分と判断された。ただし実作業ではより高速で頻繁な調節が必要な場合も多いので、その応答性についてはさらに検討しなければならない。

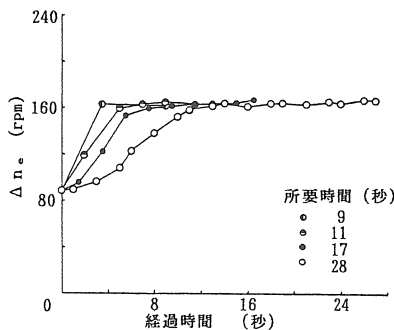


図9 ガバナレバー位置の調節速度と機関の応答性の関係

(5) 今後の課題 本制御システムは、機関のガバナ特性を負荷状態の検知に利用しているため、装置全体が比較的簡単で小形であるという点に特徴があるが、以上のように、負荷に応じて機関出力を最適化するために使用することは基本的に可能と考えられる。しかし、その実用化にあたっては、① Δn_e の測定精度(つまり n_e の測定精度)及び n_{e0} の制御精度の向上、②変動負荷においてガバナ位置を高速調節した場合の機関の応答性、及び③ガバナレバー位置調節部の温度による影響及び経時変化など信頼性について、ほ場試験も踏まえてさらに検討する必要がある。

5. 摘要

農用トラクタ機関の出力を負荷に応じて最適化するため、ガバナ特性を活用しながらコンピュータでガバナレバー位置を制御する方法について検討した。結果の概要は次のとおりである。

(1) 制御システムは機関回転速度検出部、ガバナレバー位置調節部及びコンピュータ部から成り、負荷に応じて機関の連続定格出力が得られるような機関回転速度にガバナレバー位置を調節する。作動精度は、回転速度測定で約 ± 3 rpm、回転速度の制御で約 ± 5 rpmであった。

(2) 出力制御実験で変数 Δn_e と無負荷回転速度及びトルクとの関係を検討した結果、2乗トルク特性負荷のほか定トルク及び定動力特性負荷の場合にも本制御システムが使用可能であると思われる。

(3) ただし、実用上十分な制御精度を確保するためには、回転速度測定精度及びガバナレバー位置制御精度の向上、ガバナレバー位置の調節速度に対する機関の応答性、同調節部の耐熱性及び耐久性などをさらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) Chancellor, W. J., N.C. Thai: Automatic control of tractor transmission ratio and engine speed, Trans. of the ASAE, 27(3): 642-646, 1985
- 2) 坂井純・鄒誠・中司敬: 原動機—変速機—作業機系の最適制御に関する研究(1), 農用エンジンの基本実用性能, 農機誌51(1): 13-20, 1989
- 3) 鄒誠・坂井純・中司敬: 原動機—変速機—作業機系の最適制御に関する研究(2), 最適制御実験システムの試作, 農機誌51(2): 9~16, 1989
- 4) 武田太一・戸次英二・高橋照夫: 農用トラクタのPTO軸出力特性に関する一事例, 農機学会東北支部報 32: 4~7, 1985

レーザー光利用による水田の自動均平化技術の開発（第3報）

—— 乾田均平を主体にしたレーザー均平機の開発と利用法 ——

木村勝一*・今園支和*・藤井清信*・坂上 修*

Development of Automatic Leveling Technology with use of Laser Beams at Paddy Field (3)

Development and Utilization of Automatic Laser-precision Leveler for the Dry Paddy Field

Syoichi KIMURA*, Sasakazu IMAZONO*, Kiyonobu FUJII*, Osamu SAKAUE*

1. はじめに

大区画圃場における均平精度を向上するため、レーザー光とその制御機器を用いて、トラクタの電子油圧制御と組み合わせた自動高低制御装置の開発について前報で報告した。ここでは、乾田状態の均平作業を対称にしたレーザー均平機を試作し、その均平機の性能及び作業法について検討したので報告する。

2. 試験装置および方法

1) 乾田均平機の自動制御法

(1) トラクタ3点ヒッチ制御による直装方式
本制御方式は、トラクタ3点ヒッチのリフトアームの制御を、外部のレーザー制御機器からのコントロール信号によって行った。開発した自動高低制御装置には、通常のポジションコントロール（位置制御）とドラフトコントロール（負荷制御）のほかに、耕深を制御する自動深度制御、さらに、レーザー光を利用した自動高低制御（高低制御）が装備されている。作業機の傾きをレベルリンクで制御する自動水平制御も持っており、リフトアームのど

の制御方法とも併用可能である。

供試トラクタは、S社製、SE 7340TIC, 54 KW (73 PS), 自動深度・水平機構付き電子油圧制御装置装備、直装型均平機は、リヤグレーダ（S社製、作用幅 2.4 m）を改造して用いた。

(2) 外部補助油圧取り出しを用いたけん引方式

本装置の制御には、トラクタの外部油圧取り出しを採用し、均平機のプレードの高低は図1に示したようにゲージホイールを介して油圧用電磁バルブで直接制御した。

供試トラクタは、MF社製、MF 3060, 58KW (79 PS), 電子油圧制御装置を装備し、けん引型均平機には、作用幅 3.2mの試作機を用いた。

2) レーザー機器の主要諸元

レーザー発光機（SP社製、944-GS）、有効

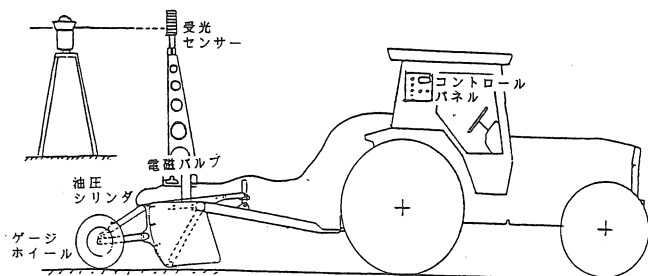
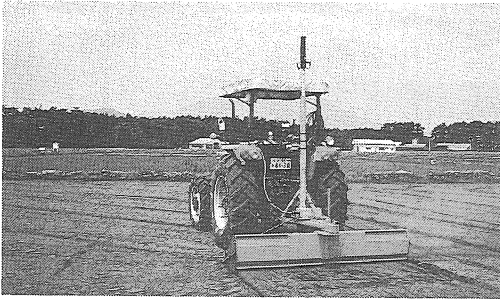
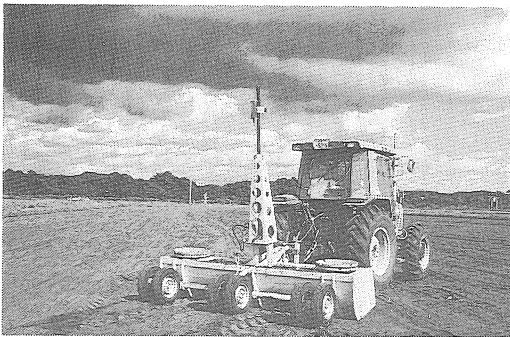


図-1 けん引型乾田均平機（2号機）の模式図

* 農林水産省東北農業試験場



写真一 直装型乾田均平機



写真二 けん引型乾田均平機

半径 300 m, 出力 2 mw, He-Ne ガスレーザ, プリズム回転数 600 rpm, 勾配付加機能を有す。

受光センサ (CLS 社製, 9921 オムニセンサ), 受光範囲 ± 14.6 mm。

コントロールパネル (CLS, 9924 M) 全自動型。

3) 供試圃場と区画

供試圃場: 東北農試大区画圃場, 多湿黒ぼく土。

圃場区画は, 50 m \times 50 m, 50 m \times 120 m, 50 m \times 200 m の圃場。長辺は用排水路に平行している。前作はない。

3. 試験結果および考察

1) 乾田均平機の試作

(1) 直装型乾田均平機

圃場の均平化には乾田状態時に土を移動させ

るのが容易と考え, ロータリとリヤブレードを組み合わせた耕うん同時均平法を試みた。しかし, 実際に作業をしてみると, 1 回の作業回数で目標均平精度に達しないので, 2 回目以降の均平作業は耕うん作業を必要としなく, 耕うん同時均平作業法の効果が少ないことがわかった。そこで, 耕うん後に均平する方法に改め, 均平作業を単独で行なう直装型乾田均平機を開発した。乾田均平機は, 作業幅 2.4 m のリヤブレードの両サイドに土寄せ用のプレートを取り付け, 運土量の増大 (容量 0.35 m³) を図った。受光センサを装備した乾田均平機をトラクタの 3 点ヒッチに直装し, ヒッチを上下にコントロールする高低制御を行った。(写真 1)

(2) けん引型乾田均平機

前述の 3 点ヒッチで制御する方式は, トラクタの大幅な改造を伴い使用するトラクタが限定されるので, 既存の外部油圧取り出しを持つトラクタで作業できるけん引型乾田均平機を開発した。

主要な諸元は作業幅 3.2 m, 運土容量約 1 m³, 電磁バルブを有している。

当初, 試作したけん引型の 1 号機はブレードの取り付け角度が大きく土の切削時に抱え込み土量が大量の場合, 機体が持ち上げられ作業が出来なくなることがあったので, ブレードの土に対する切削の角度を可変できる 2 号機を製作した。(写真 2)

2) 乾田均平作業の手順

乾田均平作業の手順は次の通りである。

①圃場全体を 5-10 m メッシュで計測し, 平均標高を求める。② 10 cm 以上高低のある所は手動操作で田面の低い所に土を移動させるように作業を行う。③田面の大きな凹凸が少なくなったら, 平均標高より 1~2 cm 高いところにブレードを設定し, 高低差を少なくするを縦

横斜めに走行する。④ブレードを1～2 cm 下げて仕上げ均平を行う。

3) 乾田均平機の作業性能

(1) 直装型乾田均平機

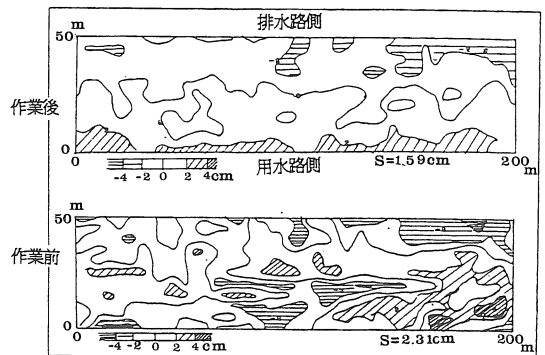
25 a および 60 a 圃場において直装型乾田均平機の作業性能を調査した(表 1)。供試した 25 a 圃場は一方が低く中央が高い圃場で、均平前は標準偏差 $s = 1.98$ cm, ± 1.5 cm の占める割合が 66% であった。1 回掛けで $s = 1.37$ cm, 2 回掛けで $s = 0.69$ cm となって ± 1.5 cm 以内に均平出来た。また、60 a 圃場での均平性能は 3 回掛けで、作業前 $s = 2.33$ cm から $s = 1.54$ cm に均平でき、作業能率は 0.8 Hr / 10 a を示し、作業速度は 0.5 - 1.0 m/s であった。乾田均平機による作業は運土が容易であり、自動制御の効果が認められたが、さらに安定した制御をするためには、トラクタ走行面の凹凸が少ないこと、重量を 200 kg 以下にして応答性を良くすることなどが必要であった。また、均平機が下降する場合に設定値からオーバーラップし急激に下降する場合があるが、乾田状態では土壌硬度が大きく大幅な切削が出来ず下降を妨げるため、上下変動の範囲が狭く制御には都合が良かった。

(2) けん引式乾田均平機

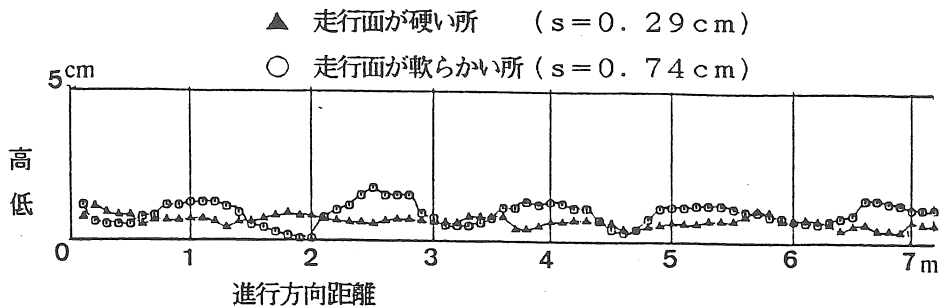
58 KW (79 PS) のトラクタとけん引式乾田

表一 直装型乾田均平機による均平作業結果

区画の 大きさ	25 a (50 × 50 m)			60 a (120 × 50 m)	
	均平前	1 回掛	2 回掛	均平前	3 回掛
高 cm	%	%	%	%	%
高 4. ≤	3.7	—	—	5.1	0.8
低 3. ~ 4	7.4	2.4	—	7.2	1.5
差 2 ~ 3	14.8	11.1	—	18.5	11.2
± 1 ~ 2	24.7	9.9	4.9	25.7	6.1
0 ~ 1	49.4	76.6	95.1	43.5	60.4
S (cm)	1.98	1.37	0.69	2.33	1.54
R (cm)	10	7	3	13.5	10.5



図一 けん引型乾田均平機による作業前後の圃場高低状態



図一 乾田均平後の進行方向凹凸状態

均平機の2号機を用いて1ha(50×200m)の圃場で均平作業を行った。

均平作業の結果は、図2に示したとおりである。試験を行なった圃場は、乾燥した土壌条件で高低差は16cmあった。レーザー光を用い部分的に高低差の大きいところを走行した後、縦横の2回がけの作業結果では、高低差±2.5cm以内に均平ができた。作業前の圃場凹凸状態によって異なるが、この場合の作業能率は0.3Hr/10a、作業速度は0.8-1.5m/sで、均平機の応答性は良好であった。

このけん引型および直装型の制御方法は、受光センサ上において、設定値より±0.6cmをはずれるとブレードの上下を指示するので、トラクタ走行面が軟弱であるとトラクタが上下に変動し、図3に示すように均平跡の仕上がりの面も波状になった。けん引型を用い作業速度0.8m/s以上で作業すれば波状になるのを少なく出来た。

4) 傾斜を付けた均平作業

田面は完全な水平状態より用水の入排水管理のためには、排水側が低くなっていることが必要である。供試圃場の排水路までの距離は50mで必要な高低差を5cmと設定し、供試した発光機の勾配付加機構を利用し、計画勾配を排水路方向に0.1%とした傾斜均平を行なった。作業結果は、図4に短辺方向の圃場断面の平均値を示したように、短辺50mに対し約5cm排水側を低くでき目標を達した。

5) 乾田均平機の作業適応条件

作業適応条件としては、ブレードに土の付着が少ないことが必要で、供試した土壌では土壌水分90%以下で作業が可能であって、乾燥状態が良いほど土の流動性が良く均平精度が向上した。25a区画での作業は、相当土面が乾燥していたので、高低差±1.5cmに全ての面積を

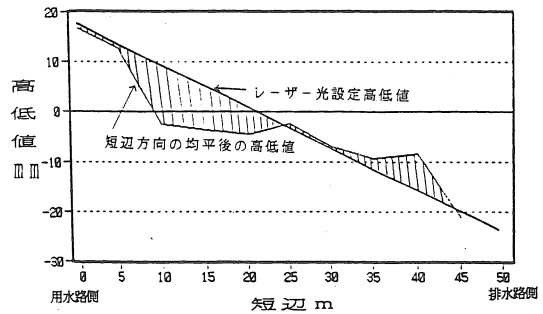


図-4 短辺方向の傾斜均平状態

おさめることが出来た。

4. 結 語

現行の代かき作業で均平にすることが可能であるが、土の移動が50m程度でそれ以上は困難である。乾田均平は運土量を大きく出来るので100m以上の運土が可能であった。

直装方式とけん引方式についてみると、直装型は20a程度の区画に適するが、トラクタの走行路面の影響を受け易くブレードの上下変動も大きく、運土量も少ないのに対して、けん引型は前述のような欠点がみられない。

このレーザー光を利用する方法は、当然大区画圃場が対象になり、今回試作したけん引型均平機の運土容量1m³でも不足と考えられ、土を抱えて作業できるスクレーパタイプの均平機の開発が必要である。

用排水を考慮し圃場に傾斜をつける均平方法は、発光機から傾斜したレーザー光を出せれば作業は可能であった。

今後、圃場高低のマッピングにもとづく自動制御が可能な均平機の開発が望まれる。

参考文献

- 1) 木村勝一, 他: レーザー光利用による水田の自動均平化技術の開発(第1報), 農機学会東北支部報, No. 34, p15~18 (1987)

自動走行管理機の開発 (第2報)

— 旋回制御, 作物性状検出及び作業性能について —

大下泰生*・古川嗣彦*・屋代幹雄*・矢治幸夫*

Development of the Microcomputer-controlled Small Vehicle (Part 2)

—Turning control system, measurement of crop sizes
and rate of work of the experimental vehicle—

Yasuo OHSHTA*, Tsuguhiko FURUKAWA*, Mikio YASHIRO*, Yukio YAJI*

Abstract

In our first report with regard to the development of automatic steering for the small vehicle, the control system unit with a microcomputer and the software system for automatic traveling along the crop row were described. In this research, the automatic turning control method in a headland using a terrestrial magnetism sensor was developed. In the room test, the method was almost suitable.

Next, the laser-beam sensor and the ultra-sonic sensor were utilized in order to measure the stem diameter and plant height of crops, such as beans and corn. The ultra-sonic sensor did not provide good results on measuring of the height of corn, because ultra-sonic waves were not sufficiently reflected from the crop leaves to the sensor.

Furthermore, a top-dressing unit and a head-topping unit were developed for sweet sorghum. In the field test, the head-topping rate of sweet sorghum was between 60% and 80%.

I 緒 言

第1報で、コンピュータ制御により作物条間を自動走行する小型管理機の機体概要及び条間走行制御方式について報告した。試作機は条間では作物列をガイドとして走行方向の制御を行うが、枕地旋回においてはガイドとなる適当な指標がないため、正確な旋回を行うためには自己位置や方向を認識する方式が必要となる。そこで磁気方位センサを使用して地磁気の方角を基準に旋回角度を制御する方法について検討し

た。次に、試作機を使用した高精度管理及び作物個体管理を目標とした作物生育状況検出のために、市販のレーザ式外径測定センサ（以下レーザセンサ）及び超音波式距離測定センサ（以下超音波センサ）を用いて茎径及び草高の検出を試みた。さらに、追肥及び穂切り作業ユニットを製作し、試作機をほ場作業に供試して、走行性及び作業性能を調査した。

なお、本研究は農林水産省大型別枠研究「バイオマス変換計画」で実施したものである。

* 農林水産省東北農業試験場

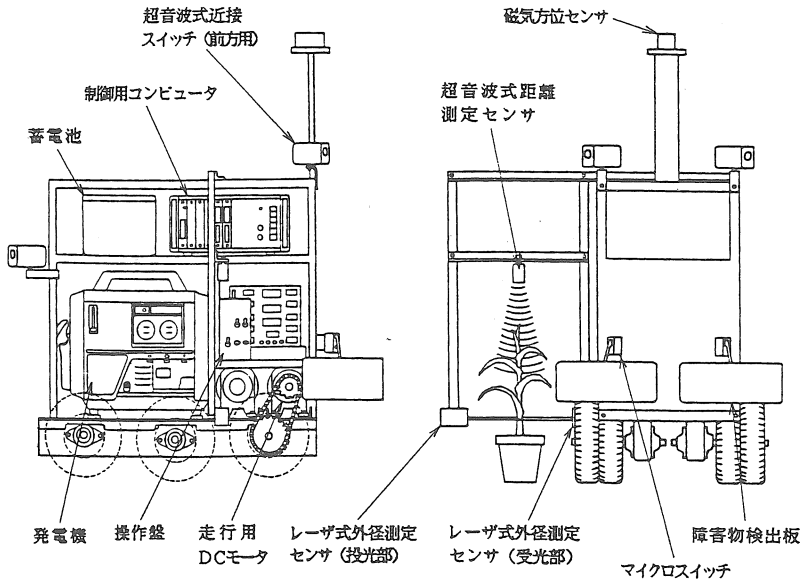


図1 自動走行管理機概略図

II 試作機及び試験装置の概要

図1に試作機の概略図を、図2に旋回性能及びセンサ性能測定時の計測システムブロック図を、表1にセンサ及び測定器の主要諸元を示す。試作機の機体上部に磁気方位センサを、機体右側にレーザセンサ及び超音波センサを取り付けた。各センサからの出力は制御用コンピュータのA/D変換ボードに接続され、A/D変換され、制御用コンピュータに取り込まれる。また、センサ出力はデータレコーダにも記録され、後に再生して、パソコン等により解析を行った。

III 磁気方位センサによる旋回制御

1) 磁気方位センサの出力特性調査

使用した磁気方位センサは、フラックスゲイト式磁力計で、直行するX及びY軸の2軸方向に磁力計が取り付けられており、それぞれの検出方向における磁界強度に比例した電圧を出力する。

センサを水平に設置し、360度回転させたと

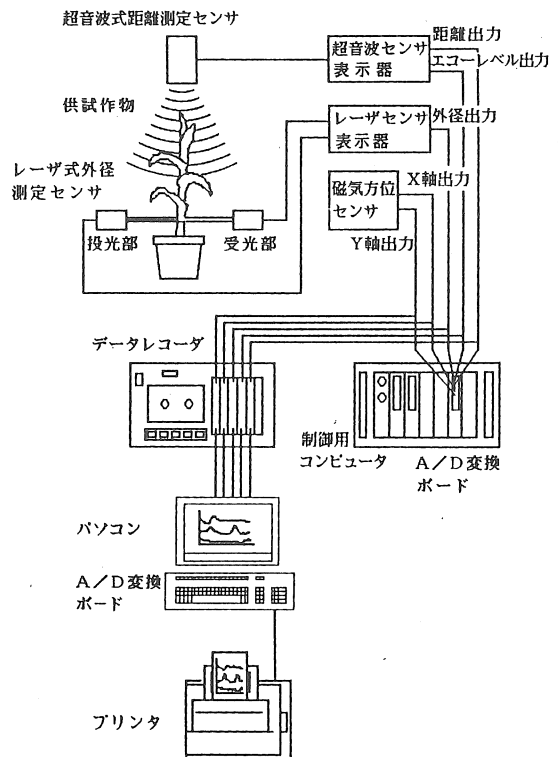


図2 計測システムブロック図

表1 センサ及び測定器の主要諸元

センサ及び測定器	仕 様
磁気方位センサ	WATSON社 FGM-100 A フラックスゲイト式磁力計 2軸検出型 アナログ電圧出力
レーザ式外径測定センサ	キーエンス社 LX-130 レーザビーム10×1mm アナログ電圧出力
超音波式距離測定センサ	キーエンス社 UD-1100 測定範囲3.5~30cm アナログ電圧出力(距離・エコーレベル)
制御用コンピュータ用A/D変換ボード	立石電気3G8B2-NA000 分解能 12Bit 入力チャンネル 16ch
データレコーダ	共和電業RTP-501AL 録音トラック数 7ch 録音周波数DC~2.5kHz
パソコン用A/D変換ボード	カーネーション電子ADX-98 E 分解能 12Bit 入力チャンネル 16ch

きのX及びY軸の出力波形を図3に示す。センサのX軸が北向きのときY軸は東向きとなり、センサを1回転させるとX及びY軸の出力波形はそれぞれ90度の位相差を持つサインカーブとなり、検出方向が北向きのときに極大値、南向きのときに極小値を示した。

センサ設置面の北側を下向きに傾斜させた平面上でセンサを360度回転させたときのX軸の出力を図4に示す。傾斜角度が大きくなるほど出力は大きくなり、15度傾斜の場合の極大値は水平時の1.37Vから1.84Vに増大した。東西方向の傾斜に対しては、東側下向き15度傾斜の場合、センサ出力値は水平時-0.24Vから0.19Vに増大した。これは、磁力線が北向きに俯角約50度の方向にあることによる。このことは磁気方位センサを試作機に設置して走行方向を検出する場合、傾斜による誤差を生じる可能性があることを示した。

2) 旋回制御試験方法

磁気方位センサを用いた旋回制御方式については、傾斜による誤差を考慮する必要があるが、枕地旋回では旋回角90度及び180度を検出するだけでよく高精度を要求しないため、簡易な方法としてセンサ出力が0Vとなる東西方向について検知する方式を検討し、以下の方式とした。

①磁気方位センサは回転座上に取付け、試作機本体に対して任意の角度に設定可能とし、1行程目の試作機の進行方向に対してセンサのX軸を北向きに設置する。②超信地旋回で最初に90度回転するときはX軸出力を検知し、センサのX軸が西又は東向きになり、センサ出力が0Vになったときに旋回を停止する。③作物条方向と垂直な方向に直進する。④さらに超信地旋回で90度回転するときはY軸出力を検知し、Y軸が西又は東向きになり、センサ出力が0Vになったときに旋回を停止する。以上で枕地旋回は完了する。

ガラスボールを長さ2m、条間75cmに並べた室内テストコースにおいて走行試験を行い、センサ出力をデータレコーダに記録し、走行時の様子をビデオカメラに録画して旋回性能を調査した。

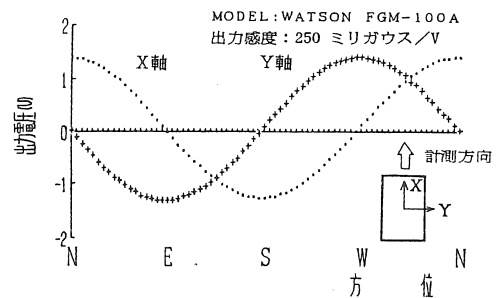


図3 磁気方位センサの出力波形

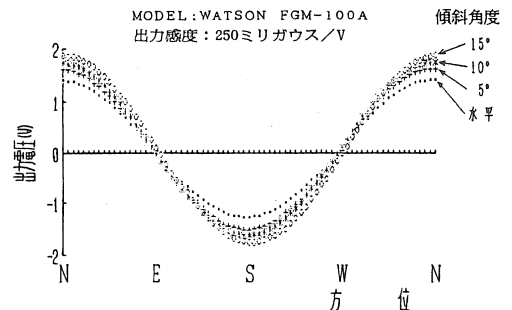


図4 磁気方位センサの出力波形

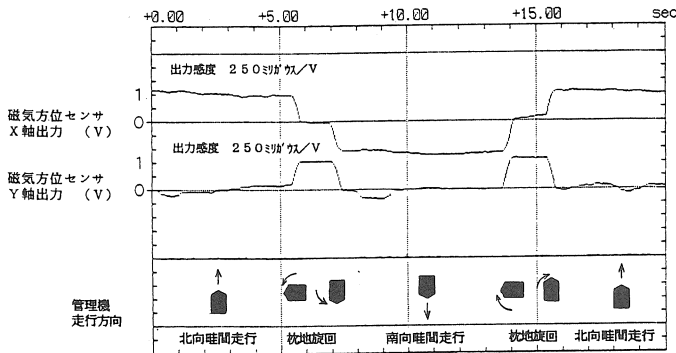


図5 磁気方位センサ計測出力例

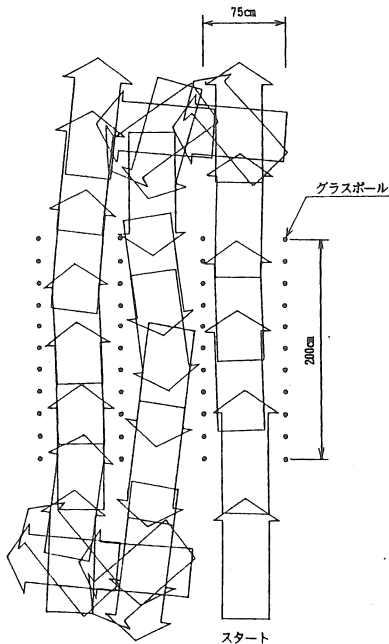


図6 自動走行管理機の走行軌跡の一例

3) 試験結果と考察

テストコースを走行したときの磁気方位センサの出力波形を図5に、試作機の走行軌跡を図6に示す。1行程目の試作機の進行方向及びセンサX軸は北向きのため出力は極大値、Y軸は東向きのため0Vとなっている。枕地に出て、左旋回を開始し、X軸出力が0Vのとき機体は西向きで停止し、1条間の長さだけ直進し、再び左旋回を開始し、Y軸出力が0Vのとき機体

は南向きで停止し、2行程目の条間に進行したことがわかる。以後の旋回においても、特に問題はなく、この制御方式の性能が確認された。

IV レーザセンサ及び超音波センサによる茎径ならびに草高検出

1) 試験方法

レーザーセンサは投光部及び受光部より構成され、その間のレーザービーム(幅10mm, 厚1mm)を遮光する面積に比例したアナログ電圧を出力する。センサは試作機側方の地上高13cm, 投光部・受光部間距離30cmに設置した。超音波センサは測定距離3.5~30cmで、対象物までの距離及びエコーレベル(反射波強度, 反射面の面積に対応)に比例したアナログ電圧を出力する。センサは発信方向を下向きに設置高40cmに取り付けた。外径測定試験は旋回制御試験で使用したテストコースのグラスボールを使用して行い、センサ出力をデータレコーダに記録し、再生してグラスボール外径測定精度を調査した。次に、茎径及び草高測定試験は鉢植えのスイートコーン(草高28~32cm, 播種後40日)及び大豆(草高36cm, 播種後40日)をそれぞれ2株供試し、管理機を走行させ、レーザーセンサ及び超音波センサの出力波形を記録した。

2) 試験結果と考察

グラスボールの外径測定を行った結果を図7に示す。直径4.7~8.6mmのグラスボール6本を供試したが、実径と測定値との差は1mm以下であり、測定精度は良好であった。

次に茎径及び草高を測定した結果を図8に示す。茎径計測は地上高13cmの位置で測定したが、測定位置に茎のみが存在する場合は高い精

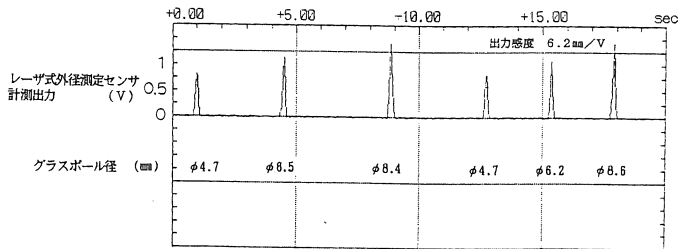


図7 レーザ式外径測定センサによるガラスボール測定結果例

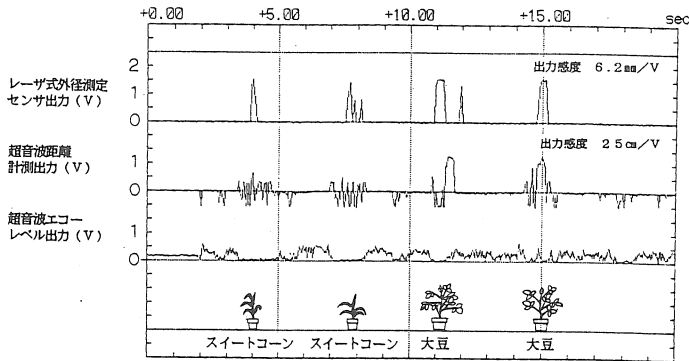


図8 レーザ及び超音波センサによる作物計測結果の一例

度で計測できたが、葉等がビームを遮光した場合は莖径の測定は困難であった。草高計測については、大豆の場合、供試した2株の測定値は草高36, 36 cmに対して31, 31 cmであった。スイートコーンの場合は計測が困難であった。エコーレベルはスイートコーン、大豆とも対象物投影面積との相関は見られなかった。これは対象作物の超音波を反射する葉面が超音波放射方向に対して必ずしも垂直でなく、反射波が超音波センサ受信部へ安定して入力しないためである。スイートコーンと大豆では草型が異なり、大豆の場合は葉が繁茂し、いずれかの葉からの反射波が超音波センサ受信部へ到達し、草高計測は可能であったが、スイートコーンの場合はほとんどの葉が超音波放射方向に対して垂直でなく、超音波が拡散反射し、超音波センサ受信部への反射波がないため測定できなかった。今後、草型の違いにより超音波放射位置、放射方

向等を検討する必要がある。

V 追肥及び穂切り作業性能

1) 試験方法

追肥作業ユニットは2条用繰出ロール式施肥機を改造したもので、電動機により駆動される(図9)。作業ユニットはコンピュータによりON-OFF制御され、作物条間では肥料を繰り出し、枕地では繰り出しを停止する。供試作物はスイートソルガムFS304(ハイシュガー)で、8葉期に追肥作業を行った。

穂切り作業はスイートソルガム出穂後、茎内の糖の蓄積増大を図るために穂切除を行うものであり、電動剪定機を改造して製作した

(図10)。刈幅は60 cm、刈り高さは平均的な穂首位高に手動で設定し、調節範囲は2~4 mである。作業ユニットのON-OFFはコンピュータにより操作される。供試作物はスイートソルガムSB-S(トウミツソルゴー)及びFS304(ハイシュガー)で、出穂後10日目に穂切り作業を行った。

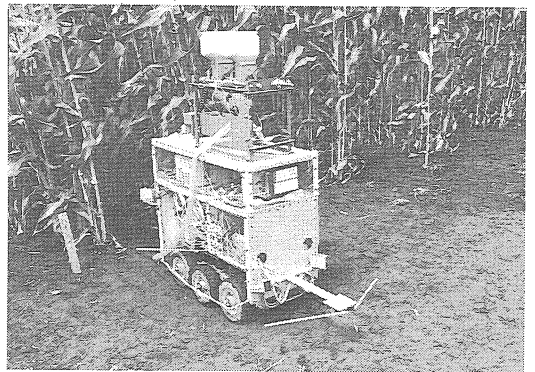


図9 追肥作業風景

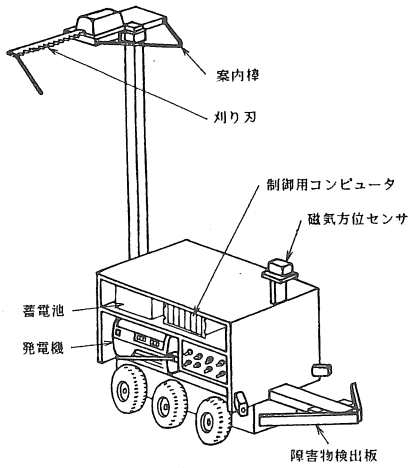


図10 穂切り作業時概略図

2) 試験結果

表2に性能試験結果を示す。

追肥作業能率は作業速度0.06 m/sで52分/aであった。穂切り作業においては、穂を切除した割合は61～79%であった。穂の刈残しの多くは茎径に対する剪定機の刈刃長の不足により、茎を完全に切断できなかったことにより発生した。また、倒伏や短稈により刈り刃内に茎が入らないものが5～8%であった。

各作業機を装着した場合の走行性はおよそ良好であったが、実用化のためには、作業速度を向上させ、作業能率を高める必要がある。

VI 摘 要

自動走行管理機の旋回制御、作物性状検出技術を開発するために、磁気方位センサを使用した旋回制御方式の検討、レーザーセンサ、超音波センサによる茎径、草高検出性能の調査を行った。さらに追肥、穂切り作業における能率、作業精度を調査した。主要な成果は以下の通りである。

- (1) 磁気方位センサにより機体方位を検出し

表2 追肥及び穂切り作業性能測定結果

追肥作業	作業速度	0.06 (m/s)	
	作業能率	41 (分/a)	
	旋回 肥料補給 計	5 6	52
穂切り作業	品 種	SB-S (トウミンソルゴ)	FS304 (ハイシュガー)
	穂丈	242 (cm)	287 (cm)
	刈取高さ	209 (cm)	240 (cm)
	作業速度	0.06 (m/s)	0.06 (m/s)
	穂切り精度	79 (%)	61 (%)
	切断	16	31
	穂刈残し	3	1
	短 稈	2	7
	倒 伏		

機体の旋回角度を制御する方式を開発した。実地試験の結果、旋回性能は良好であった。

(2) レーザセンサを使用し、茎径計測を行った結果、測定精度は良好であった。

(3) 超音波センサにより草高計測を行った結果、草型により適応性の差があり、大豆では計測可能であったが、スイートコーンでは測定が困難であった。

(4) 追肥作業ユニット及び穂切り作業ユニットを開発した。穂切り作業における穂の切除率は6～8割程度であった。

参考文献

- 1) 大下泰生他：自動走行管理機の開発(第1報), 農機東北支報 34, p. 31～36, 1987。
- 2) 松尾陽介他：自律走行システムの研究, 第47回農機講要, p 122, 1988。
- 3) 行本 修他：自律走行システムの研究, 第47回農機講要, p 123, 1988。
- 4) 佐藤禎稔他：超音波センサによる作物表面高さの検出特性, 第46回農機講要, p 110, 1987。

スイートソルガム用長切り収穫機の開発

矢治幸夫*・古川嗣彦*・屋代幹雄*・大下泰生*

Development of Long Cutting Harvester for Sweet Sorghum

Yukio Yaji*, Tsuguhiko Furukawa*, Mikio Yashiro*, Yasuo Ohshita*

Abstract

The long cutting and no cutting harvester for sweet sorghum was developed. The harvester was consist of the harvesting device, the transporting conveyer and the trailer. To complete long cutting (60cm), the power train of the harvester was separated into two, one for gathering and feeding part by the hydraulic moter, the other for cutting part by p. t. o.. Long cutting was realized by decreasing the peripheral speed of cutter and increasing the speed of feeding rolls. Furthermore detaching cutter knives and attaching loading rolls made it possible to harvest by no cutting. The knives, the cutter case and the shoot were modified to decrease the damage of long stems. Falling from the conveyer outlet, no cut stems were stocked side by side on the trailer.

1. はじめに

スイートソルガムは、C₄植物として高い生産力を有する高エネルギー資源として注目されており、寒冷な東北地域への適応性も明らかにされつつある。そこで筆者らは、東北地域における安定多収と機械化栽培における作業能率の向上を図るため、メカトロニクスの導入による高性能機械化作業技術の開発を実施中である。また、他場所ではスイートソルガム搾汁液の食品化や搾汁残渣の飼料化のための研究が実施されている。ここでは脱葉・搾汁前の貯蔵性や脱葉作業の機械化、収穫作業能率の向上を目指した長切り収穫機の開発を行い、その作業性能を検討した¹⁾。

なお、本研究は農林水産省大型別枠研究「バイオマス変換計画」で実施したものである。

2. 試作機の開発目標

スイートソルガムは、長大作物であり稈長は3~4mに達する、茎太さは約2cmとトウモロコシよりやや細いが、栽植密度が20,000本/10a以上の場合、生収量9t/10aを得ることができるなどの特色がある。スイートソルガムの利用は、収穫後に搾汁作業を行い搾汁液はパンの酵母、アルコール飲料等へ食品化し、搾汁残渣はサイレージとして家畜の飼料とする。

スイートソルガムの収穫機開発の規制要因としては、①収穫適期、②切断長、③機械コストがあげられる。

収穫適期は、品種やその年の気象条件によって若干の差があるが、茎稈に含まれる糖分が最大に達する9月下旬から霜・風によって茎稈が折れ始める10月末までの約1.5ヶ月である。

*農林水産省 東北農業試験場

また、切断長は搾汁作業における搾汁効率の点からは、短いことが望ましい。しかし、スイートソルガムをトウモロコシのように10mm程度に細断すると、収穫後数時間で発熱が始まり、材料の品質が変化する。したがって、細断した材料は、収穫直後に搾汁を行う必要があり、貯蔵の点からは切断長は長いほうが望ましい。また、葉に糖を分解する酵素が含まれているため、搾汁液の利用法によっては搾汁前に茎葉を分離する必要がある。

現在、筆者らは茎葉分離装置の開発²⁾も行っており、その機構上から収穫時の茎の目標切断長を検討している。また、長期貯蔵の観点から、無切断収穫にも対応できるように考慮した。

一方、搾汁工程の機械・施設の規模によっては搾汁作業の操業期間が長くなるので、搾汁材料を一時貯蔵するなどの手だてが重要となる。

スイートソルガムの収穫機を開発するにあたり、長大作物の収穫機としてのフォレージハー

ベスタや搾汁材料の収穫機としてのケーンハーベスタ^{3) 4)}が参考になる。しかし、現有のフォレージハーベスタは1cm程度の微細断のための機構となっていること、ケーンハーベスタは30cm程度の長切りが可能であるが、大型で高価であることなどスイートソルガム収穫への適用は難しい。

これらのことを考慮して、スイートソルガム用収穫機の開発目標を以下の通りとした。

- ①切断長を30～60cm以上とする。
- ②スイートソルガム茎の切口の損傷を抑える。
- ③無切断収納方式を可能とする。

3. 試作機の概要

試作機はコーンハーベスタ(T社, MC 120)の動力伝達部、切断部、シュートを改造するとともに、ハーベスタに搬送用コンベヤ、トレーラを取り付けた。試作機の概要と主要諸元を図-1、図-2、表-1に示した。

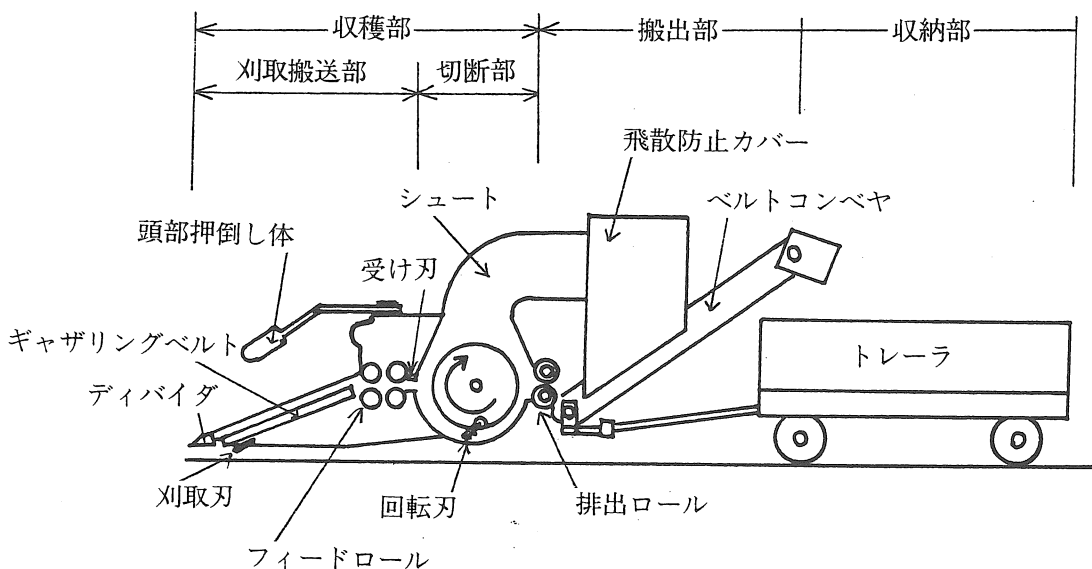


図-1 収穫機の概略図



図一 2 スイートソルガム収穫機

表一 1 収穫機の主要諸元

項目	主要諸元	項目	主要諸元
全長	1,514 cm	全高	250 cm
収穫部	304 cm	収穫部	157 cm
搬出部	686 cm	搬出部	250 cm
収納部	524 cm	収納部	140 cm
全幅	194 cm	全重	1,355 kg
収穫部	102 cm	収穫部	670 kg
搬出部	133 cm	搬出部	345 kg
収納部	194 cm	収納部	340 kg

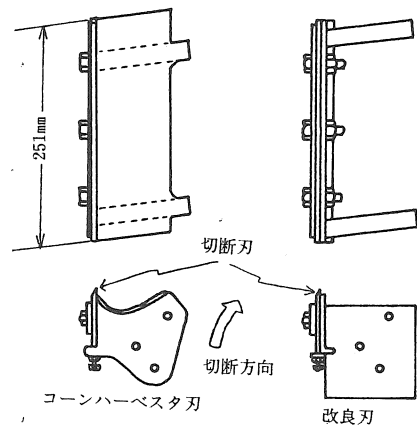
力伝達部の減速比を大きくして、カッター軸の回転速度を約1/4に低下させて、長切り（設定切断長約1,360 mm）を可能とした。

(2) 切断刃取付け部およびカッターケース、シュートの改良
供試したコーンハーベスタの切断刃ユニットを用いてソルガムを長切りする場合には、切断長が長いと茎が刃で切断される前に刃の取付部が茎に当り茎の折れや砕け、割れなど切口の損傷の発生割合が多くなった。このため、刃の取付部の突起を除去して（図一 3）切口の損

1) 長切り方式のための収穫機の改良

(1) 動力伝達部の改良

ソルガム切断長の調節範囲を拡大するために、刈取り搬送部を油圧モータ（N社 PF-2B-19-30）で、カッター部をトラクタ PTO 軸でそれぞれ独立駆動とした。刈取り搬送部は油圧モータによりフィードロールの回転数を約 2.5 倍に高めるとともに、ギャザリングベルトの速度を相対的に低下させた。切断部は、切断刃を減少（8 枚→2 枚、1 枚）させ、PTO 軸からの動



図一 3 切断刃取付け部の改良

傷の発生を防止した。さらに、材料が斜めにカット部に供給されると、切断刃の取付部やフライホイール等に接触して損傷が発生するので、フィードロール後方にガイド板(図-4)を設け、できるだけ切断刃中央へ供給されるようにした。また、長切り材料の排出を容易にするために、カッターケース開口部の拡大、シュートの改造(図-5)を行った。

2) 無切断収納方式における収穫機の改良と収納部の試作

無切断収納方式における収穫機は、切断刃を動作させない(切断刃を外すか回転を止める)で、刈取り部のみ動作させて作業を行う。しかし、茎がフィードロールから排出された状態では、茎はまだカッターケース内に留まり完全に排出することができない。このため、カッターケース外側の茎の通過する位置に、フィードロールと同じ周速度で駆動される排出ロール(上下組)を取り付け(図-5)、無切断茎を機外へ排出可能な機構とした。収納部は、小型エンジン(2.2ps)駆動のベルトコンベヤと低床トレーラからなる。収穫部から排出された4mにも達するソルガム茎は、ベルトコンベヤで後部上方へ搬送され、高い位置からトレーラへ放出されて整列収納される。

4. 性能試験結果と考察

試作した収穫機は、刈り取り搬送部と切断部の速度によって切断長を任意に調節可能な機構とした(図-6)、しかし、ソルガム茎がカッター部に入った切り始め

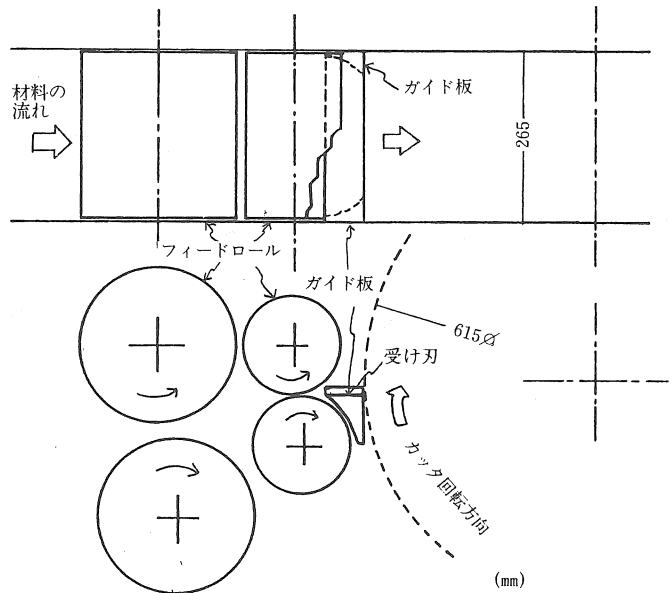


図-4 ガイド板の取付け

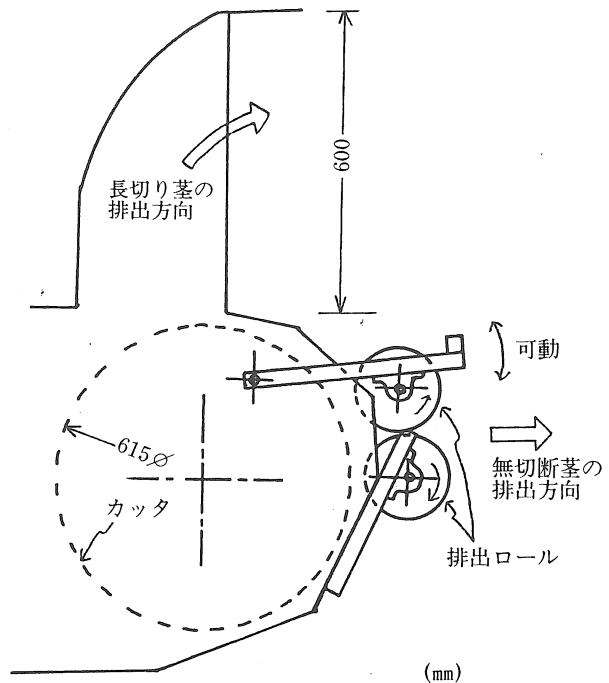


図-5 シュートの改造と排出ロールの取付け

の初期切断長と切り終りの最終切断長は設定切断長よりも短くなること、茎の送り速度はフィードロールで茎がスリップするためにムラがあることなどのために切断長の変動係数が25～44%と大きかった。また、切断長の設定においては、脱葉・搾汁機構の許容切断長を考慮した収穫機の調整が必要である。

スイートソルガム(表-2)を供試した切断性能は、ガイド板の取付けと切断刃取付け部の改良により各設定切断長区とも改良刃区で損傷が減少し、碎けの発生は28cm区で約10%、56cm区で約6%と低下した。また、改良刃区の切断長の変動係数は小さく、切断状態が良好であった(図-7)。

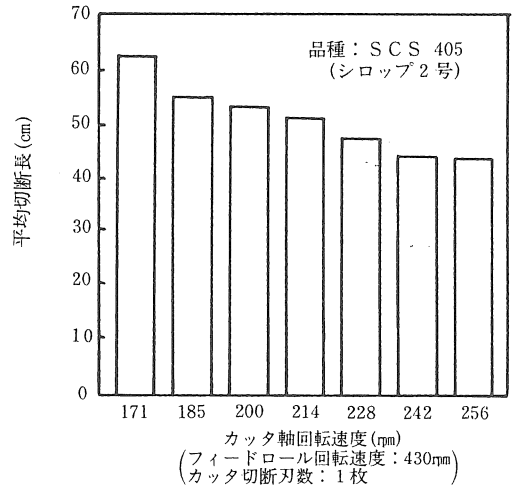


図-6 平均切断長の一例

表-2 供試作物の性状

品種名		FS 304 (ハイシュガー)	SCS 405 (シロップ2号)
項目			
草丈 (cm)		293	431
稈長 (cm)		266	383
水分 (%)	茎	75.7	73.6
	葉	59.0	53.0
	穂	28.1	-

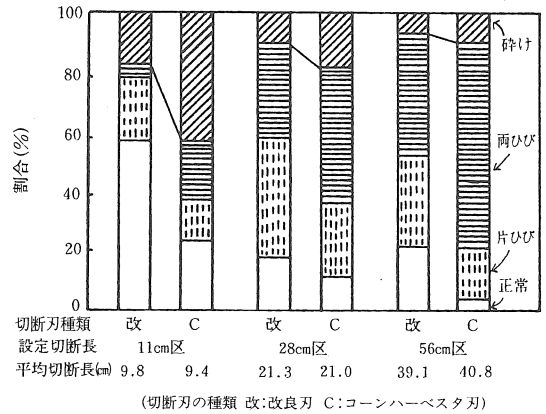


図-7 収穫時の茎の損傷

表-3 収穫機の作業性能試験結果

項目	品 種 名	FS 304 (ハイシュガー)	SCS 405 (シロップ2号)
トラクタエンジン回転数 (rpm)		1,800	1,800
油圧モータ回転数 (rpm)		430	430
作 業 速 度 (m/s)		0.15	0.15
作 業 能 率 (kg/h)		1,961	1,897
落 下 損 失 (%)		1.6	2.3
刈 高 さ (cm)		15.9	18.0

注：作業能率は旋回時間を含まない。

作業性能試験の結果は、試作段階で最高速度に達していないが、作業速度約 0.15 m/s で 1.5 ~ 2 t/h と人力作業の約 2 倍の能率を示し (表一 3), 作業能率向上が認められた。

5. まとめ

スイートソルガム用の長切り収穫機を開発してその性能試験を行った結果以下の成果を得た。

収穫機の駆動系を 2 系統に分離し、長切り方式における切断長調節範囲を拡大した。また、搬送コンベヤ及び低床トレーラで構成される収納装置を開発し、細断 (約 1 cm) から長切り (約 60 cm), 無切断までの収穫作業を可能とした。

残された問題点としては、収納装置における整列機能の向上、試作機のため作業速度が低く、能率の向上が課題である。

6. 参考文献

- 1) 矢治幸夫・古川嗣彦・屋代幹雄・大下泰生
: スイートソルガム収穫機の開発, 農機学会第 48 回講要集, p. 143 (1989)
- 2) 屋代幹雄・古川嗣彦・矢治幸夫・大下泰生
: スイートソルガムの茎葉分離・搾汁システムについて, 農機学会東北支部報, No. 35, p. 49 ~ 52, (1988)
- 3) 阿部正俊: さとうきび収穫調整作業の機械化に関する最近の動向, 農機学会九州支部報, 33, p. 44 ~ 60, (1984)
- 4) 後藤美明・山本健司・鈴木光雄・金光幹雄:
さとうきび収穫機の試作研究 (第 4 報), 農機学会第 39 回講要集, p. 90, (1980)

スイートソルガム茎葉分離・搾汁装置（1号機）の開発について

星代幹雄*・古川嗣彦*・大下泰生*・矢治幸夫*

Development of Leaf Removing and Stalk Pressing Equipment (No. 1) for Sweet Sorghum

Mikio YASHIRO*, Tsuguhiko FURUKAWA*, Yasuo OHSHITA*, Yukio YAJI*

1. はじめに

スイートソルガムは、高い生産力を有する高エネルギー資源で、寒冷な東北地域への新導入作物として注目されている。また、従来は、スイートソルガムをホールクロップサイレージとし、家畜飼料として使用したが、近年では、葉・穂および搾汁残渣は飼料素材として従来と同様に利用するとともに搾汁液は食品素材として利用し、高付加価値を持たせる研究が要請され、各国立試験研究機関で同時並行的に行われている。現在、搾汁液はアルコール飲料、パン酵母等の食品素材として有望視されている。

そこで、著者らは、食品素材、飼料素材への変換技術を前提としたスイートソルガム収穫後処理技術の一つとして、高性能茎葉分離・搾汁装置の開発を行っている。

前報¹⁾では、さとうきび等の茎葉を分離する脱葉機を用いてスイートソルガムを供試した場合の茎葉分離特性を調査するとともに既存のカッター、脱葉機、搾汁機を用いて収穫後処理作業を行い、問題点を整理した。その結果、2本のブラシを対向して回転させ茎葉を分離する既存の対向ブラシ型脱葉機では、スイートソルガムのような茎が柔らかい材料は、脱葉時に材料がブラシによってたたかれ、脱葉率が下がるとともに材料の先端部が折れ、損失も多いことが明らかになった。

また、収穫後処理工程においては、低コスト・省エネルギー化の観点から、工程を簡略化する（細断・茎葉分離・搾汁工程を1工程にする）必要があることが明らかになった。

そこで、より高精度・高能率で、細断するこ

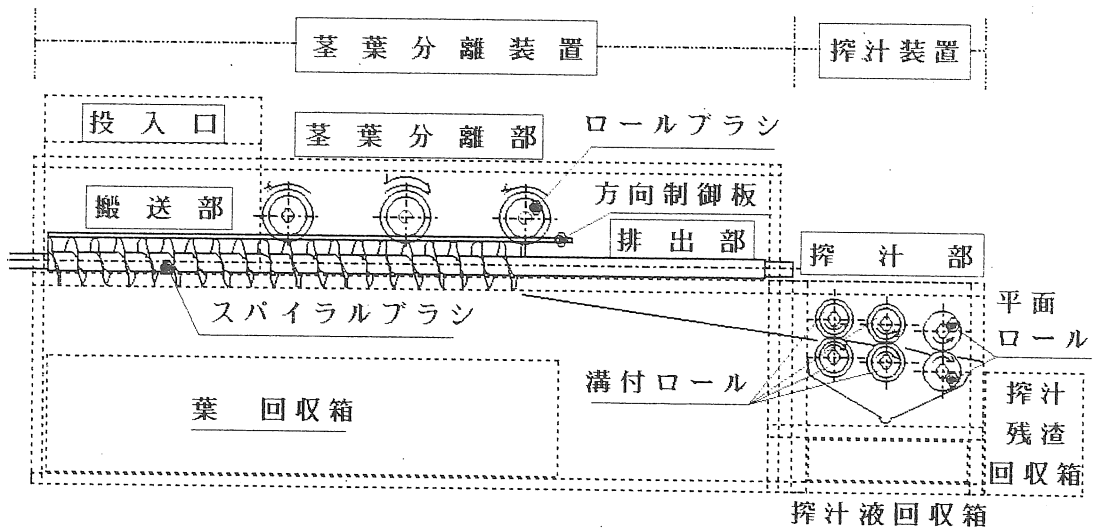


図1 茎葉分離・搾汁装置の概要図

*東北農業試験場

となしに長い茎の状態のまま茎葉分離が可能な茎葉分離装置を開発するとともに、搾汁装置を茎葉分離装置に連結し、茎葉分離・搾汁の収穫後処理作業を1工程で処理することが可能で、省エネルギー的な茎葉分離・搾汁装置を開発した。

なお、本研究は、農林水産省大型別枠「バイオマス」研究の一環として行った。

2. 茎葉分離・搾汁装置の概要

開発した茎葉分離・搾汁装置の概要を図1に示す。

茎葉分離・搾汁装置は、全長2.4 m、全幅1 m、全高1.5 mで、茎葉分離装置と搾汁装置を連結させたものである。

茎葉分離装置は、搬送部、茎葉分離部および排出部で構成され、スパイラルブラシ、ロールブラシおよび方向安定板からなっている。

スパイラルブラシは直径1.2 mm、長さ30 mmのポリプロピレン製ブラシを幅6 mmのチャンネルに植え込み、直径40 mm、全長1.5 mの丸鋼にピッチ50 mmでスパイラル状に一端から1 mの所まで巻き付けたもので、ブラシ羽根先端までの外径は100 mmである。本装置では、スパイラルブラシを4本製作し、これを平行にブラシ羽根部分を重複させて配置し(図2)、すべて同方向に回転するように構成した。これによって、2本のブラシ間の上にある材料に対し、ブラシの回転により材料を回転させながら軸方向に搬送する作用を与えるとともにブラシ羽根により葉を分離する効果を狙った。

ロールブラシは、直径0.3 mm、長さ20 mmのナイロン製ブラシを直径80 mm、全長500 mmの木製ベースに千鳥状に植え込んだもので、ブラシ先端までの外径は120 mmである。本装置では、これを3本製作しスパイラルブラシと直角にブラシを接触させて配置し(図3)、材料をスパイ

ラルブラシに強く押しつけ、茎葉分離特性を向上させる効果を狙った。

また、方向安定板は、幅10 mm、全長1 mの板で、スパイラルブラシの上方に配置し(図2、3)、材料が横方向に逃げるのを防止するとともに向きを一定方向に安定させる効果を狙った。

搾汁装置は2本1組のロールを3段に並べたもので、1、2段目は溝付ロール、3段目は平面ロールからなっている。

溝付ロールは、鋼製のドラムに長手方向にピ

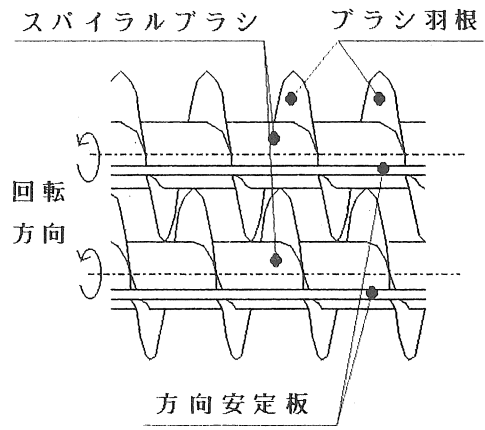


図2 スパイラルブラシ取付詳細図

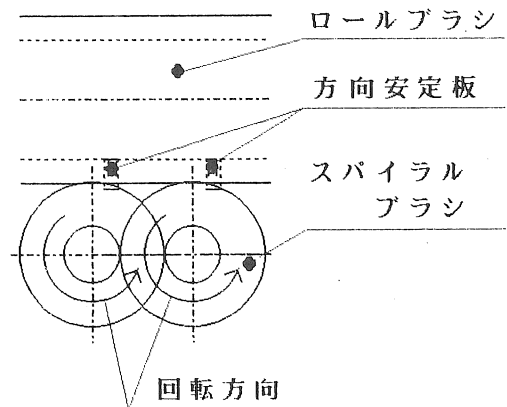


図3 スパイラルブラシ・ロールブラシおよび方向安定板取付詳細図

ッチ幅 20 mm で、幅 25 mm、高さ 5 mm の溝の付いたゴムを張りつけたもので、外径 160 mm、全長 250 mm である。また、平面ロールは、鋼製のドラムで、外径 160 mm、全長 250 mm である。ロール間隙は、1 段目は大きく、2 段目、3 段目と順に小さく設定し(図 4)、1 段目の溝付ロールで材料の引き込み作用を、2 段目の溝付ロールで材料を軽く圧縮し茎に亀裂を生じさせる作用を、そして 3 段目の平面ロールで材料を圧縮し、搾汁する効果を狙った。

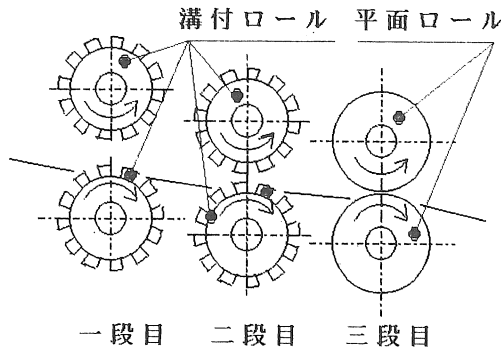


図 4 搾汁ロール取付図

本装置を用い、スイートソルガム(品種：FS 304 [ハイシュガー])を長さ約 40 cm にカットで切断し、搬送部に直接人力で投入し、茎葉分離・搾汁作業を行った結果、所期の目的どおりの作用が確認できた。

つまり、投入口から投入された材料は、スパイラルブラシによって回転させられ同時に軸方向に搬送された。この際葉の一部はスパイラルブラシに引き込まれ分離された。スパイラルブラシで茎葉分離部に搬送された材料は、ロールブラシによってスパイラルブラシに強く押しつけられ、ねじり作用を受け、葉が分離され、排出部から排出された。排出部から排出された茎は、搾汁部の 1 段目のロールで引き込まれ、1、

2 段目のロールで段階的に圧縮され、縦方向に亀裂が入り、3 段目のロールで搾汁された。

3. 茎葉分離・搾汁装置の性能

茎葉分離・搾汁装置の基本的性能を把握するために、茎葉分離装置の茎葉分離特性および搾汁装置の搾汁特性を調査した。

(1) 茎葉分離特性

スイートソルガム(品種：FS 304 [ハイシュガー])を長さ約 40 cm にカットで切断し、搬送部に直接人力で投入し、脱葉率(全葉重量に対する脱葉した葉重量)および折損率(全茎重量に対する脱葉時折れた茎重量)を調査し、市販のさとうきび用対向ブラシ型脱葉機(B社製 BMC-250 C)の分離特性と比較した。

なお、スパイラルブラシの先端速度は 11 m/s に固定し、ロールブラシの先端速度を 5 m/s から 10 m/s に変えて試験を行った。また、供試材料の含水率は、茎 70.5 %wb、葉 23.3 %wb である。

茎葉分離装置の茎葉分離特性の一例を図 5 に示す。

茎葉分離試験の結果、脱葉率は約 70%、折損

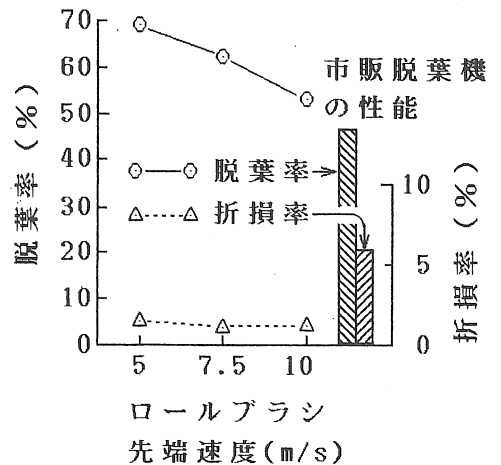


図 5 茎葉分離特性の一例(スパイラルブラシ先端速度 11 m/s)

率は約1%を示し、市販の脱葉機の茎葉分離特性と比較して、よい性能を示した。本装置はスパイラルブラシが葉を挟み込み、その回転によって茎から葉を分離する方式のため、脱葉作用の効果が高く、脱葉率は向上したと考えられる。また、折損率は、スパイラルブラシ上に茎を支持するため、茎折れが防止でき、飛躍的に向上したと考えられる。

また、本装置では、既存の対向ブラシ型脱葉機では分離するのが困難な鞘葉の一部も分離できた。これは、ロールブラシとスパイラルブラシで挟まれた茎に、スパイラルブラシにより強くねじり作用が働いたためであると考えられる。

(2) 搾汁特性

スイートソルガム(品種:FS 304 [ハイシュガー])を長さ約40 cmにカタで切断し、茎葉を分離した後、搾汁装置に人力で投入し、溝付ロールと平面ロールを組み合わせた場合の搾汁率(投入全重量に対する搾汁液重量の割合)および搾汁時の所要トルクを調査し、平面ロールのみで搾汁した場合と比較した。

なお、ロール先端速度は0.59 m/sとし、1段目間隙は10 mm、2段目間隙は5 mm、3段目間隙は1 mmに設定した。また、平面ロールのみのトルクは1、2段目のロール間隙を50 mmと大きく開け、平面ロールのみで搾汁するように設定して測定した。

搾汁装置の搾汁特性の一例を表1に示す。

搾汁試験の結果、搾汁率はどちらも約30%で両者の間にほとんど差はなかった。また、溝付ロールと平面ロールを組み合わせた場合、平均トルクは、約6 kgf・mであり、平面ロールのみで搾汁した場合と比較して、約30%減少できた。

また、平面ロールのみで搾汁した場合、約最大トルクは20 kgf・mと高いトルク値を示したが、溝付ロールを組み合わせた場合には約15 kgf・

mに減少した。これは、平面ロールのみの場合は茎の硬い節を圧縮する際に最大トルクを示したが、溝付ロールを用いた場合には溝付ロールが茎と節に亀裂を生じさせたため最大トルクが減少したと考えられる。

表1 搾汁性能の一例

項目		
ロール先端速度	0.59 m/s	
試験条件	溝付+平面	平面
ロール間隙		
1段目(溝付)	10 mm	50 mm
2段目(溝付)	5 mm	50 mm
3段目(平面)	1 mm	1 mm
搾汁率	32%	30%
平均トルク	5.8 kgf・m	8.1 kgf・m
最大トルク	14.8 kgf・m	20.2 kgf・m

4. まとめ

搬送部、茎葉分離部および排出部で構成され、スパイラルブラシ、ロールブラシおよび方向安定板からなる茎葉分離装置と溝付ロールと平面ロールからなる搾汁装置を連結した茎葉分離・搾汁装置を開発した。

また、その基本的性能を調査した結果、脱葉率は約70%、折損率は約1%で、市販の脱葉機の分離特性と比較して、よい性能を示した。また、平均トルクは、約6 kgf・mであった。

今後、この装置を改良し、茎葉分離性能、搾汁性能をより向上させるとともに実作業工程に導入して、後処理システムとしての試験を行い、スイートソルガム収穫後処理技術として、確立して行く予定である。

参考文献

- 1) 屋代幹雄他, スイートソルガムの茎葉分離・搾汁システムについて, 農業機械学会東北支部報, 35, p.49~52, 1988.12

簡易ハイドロポニクス装置による水稻育苗の可能性について

屋代幹雄*・古川嗣彦*・大下泰生*・矢治幸夫*

Possibility of Raising Rice Seedling Using Hydroponic Apparatus

Mikio YASHIRO*, Tsuguhiko FURUKAWA*, Yasuo OHSHITA*, Yukio YAJI*

1. はじめに

我が国の農業は、その急速な国際化にとまなない、農産物の生産性向上が緊急の課題となっている。日本の代表的作物である米についても同様で、水稻の生産性を向上させるため、経営規模の拡大や土地生産性向上による生産コストの大幅低減が強く要請されている。

これを機械・施設面から解決するためには、最新技術やメカトロニクス等の先端技術を導入し、使用資材の汎用化や使用量の低減による低コスト化、省エネルギー化、省力化を行う必要がある。

著者らは、ハイドロポニクス（野菜等に用いられるようになった養液栽培）技術を水稻育苗に導入し、現在行われている育苗工程を高効率化するとともに、全国約4千ヶ所¹⁾にある水稻共同育苗施設を水稻育苗施設としてだけでなく、野菜等其他作物の育苗・生産施設として利用し、施設の利用効率を向上させ、水稻育苗の低コスト化を図ることを目的として研究を行っている。

ここでは、従来の水稻共同育苗施設および野菜生産ハイドロポニクス施設を調査し、その問題点を明らかにするとともに簡易ハイドロポニクス装置を用いて、水稻の育苗を行い、その可能性について調査した。

2. 水稻育苗施設の現状

本研究を開始するにあたって、従来の水稻共同育苗施設を調査し、その現状および問題点を整理した。

I 県N 農協の水稻育苗施設の施設配置図を図

* 東北農業試験場

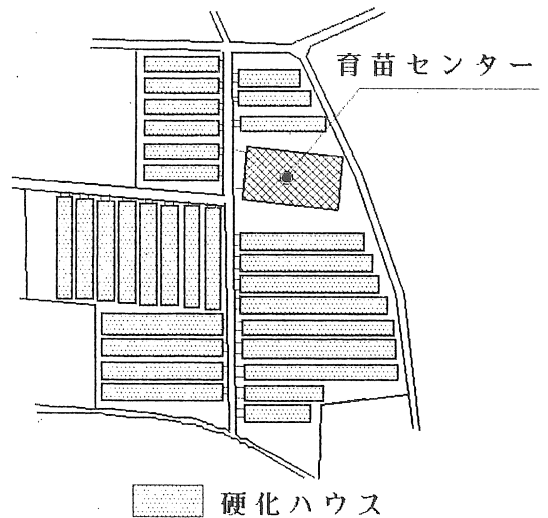


図1 水稻育苗施設配置図（I 県N 農協）

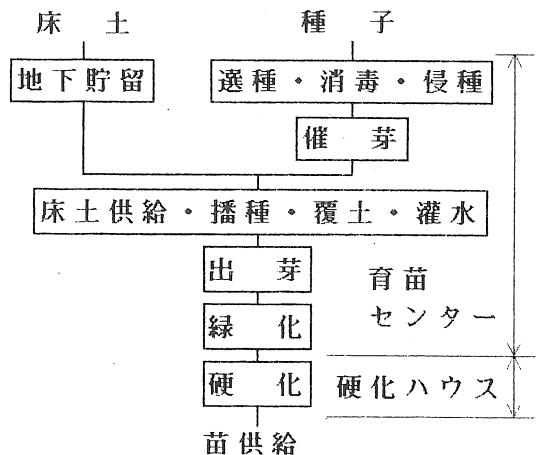


図2 水稻育苗工程図（I 県N 農協）

1に、また水稲育苗工程図を図2に示す。

本施設は昭和59年度に建設し、最新の機械を導入した施設で、3万箱（水田面積で150ha分）の育苗箱を生産する能力がある。本施設は主として育苗センターと硬化ハウス群からなり、育苗センターは、播種から出芽作業を行う施設で、播種設備、出芽室および事務室がある。また、硬化ハウスはビニールハウスで苗の硬化を行う施設である。硬化ハウスは30棟あり、本施設の総面積の92%と大きな面積を占めている。

また、この施設の使用期間は、主として4月上旬から5月中旬までの約1カ月半で、その他の期間は、ほとんど利用されていない。これは、他の水稲育苗施設でもほぼ同様で、硬化ハウスの占める割合が高く、その使用期間は短く、有効に利用されていない。

当農協の育苗箱1箱当たりの生産にかかった直接経費の内訳を図3に示す。

直接経費の内、種子費、床土費、パート費が高い割合を示した。当農協では、育苗に必要な床土をすべて購入しているため、床土費が高い割合を示しているが、これを自己調達をしている他の育苗施設では、床土費の占める割合は低い。しかし、逆に土壤消毒のための農薬費や、それを調製する労力がかかるためパート費が高くなっており、全体としての育苗箱1箱当たりの生産コストはほとんど変化しない。農水省統計¹⁾によると、現在人工床土を利用している育苗施設は全育苗施設の25%（利用面積100ha以上の施設では62%）に達し、年々増加している。

このように従来の水稲共同育苗施設を調査した結果、育苗施設は、空間的にも使用期間的にも無駄が多く、育苗施設の利用効率の向上および育苗資材の低減が図れるならば、施設の低コスト化および苗の生産コストの低減が図れる可

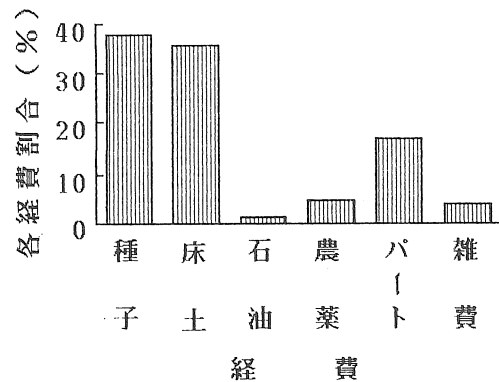


図3 育苗経費の内訳 (I 県N 農協)

能性があると考えられた。

3. 養液栽培

育苗施設の低コスト化および苗の生産コストの低減を図る一方法として、野菜等で導入され始めた hidroponics 技術を水稲の育苗に導入することを考え、hidroponics 技術および野菜生産 hidroponics 施設を調査し、水稲の育苗に適した育苗方式を模索した。

現在導入されている hidroponics 施設の栽培方式を分類・整理したもの^{2, 3)}を図4に示す。

非固定培地方式は作物の根を固定せずに栽培する方式で、根が養液中にあり、養液を循環させて生育に必要な養分を供給する水耕方式と、根が空気中にあり、養液を定期的に噴霧させて供給する噴霧耕方式がある。

固定培地方式は作物の根を培地内に固定して栽培する方式で、生育に必要な養分は、養液を圧送し、供給する方式である。使用している培地によって、多くのものに分けられる。

hidroponics による栽培方式は多く、それぞれに利点・欠点がある。しかし、これを水

稲の育苗に導入するためには、培地等育苗使用資材の少なさおよび培地管理・根圏環境制御の容易さの観点から非固定培地方式である水耕方式を採用することが望ましいと判断した。

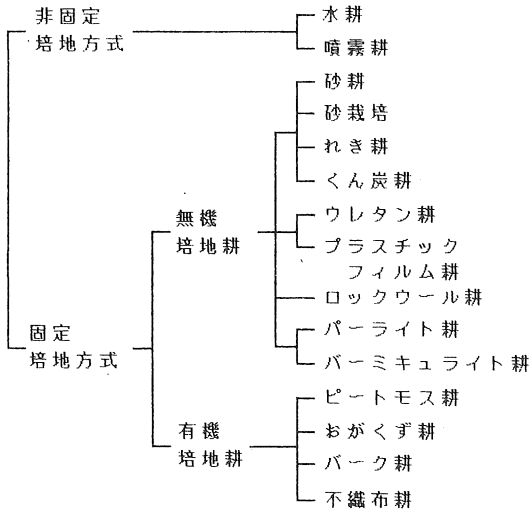


図4 ハイドロポニクス栽培方式の分類

水耕栽培は、土耕栽培と比較して、①単位面積当たりの栽植密度を高めることが可能、②使用肥料の低減が可能、③根圏環境の制御が可能、④生育管理の制御が可能等の利点がある。

4. 水耕方式による水稻育苗の可能性

水稻苗の水耕育苗の可能性を調査するために用いた簡易ハイドロポニクス装置の概略を図5に示す。

これは市販されている家庭用水耕栽培装置で、大きさは、長さ61 cm、幅27 cm、高さ33 cmで、育苗槽の大きさは、長さ30 cm、幅21 cmで、養液タンク容量は18 l、ポンプ吐出量は毎分6 lである。

養液供給は循環供給方式で、育苗槽下部の養液タンクより循環ポンプで汲み上げ、酸素混入部で酸素を養液中に混入させ、育苗槽に供給す

る。また育苗槽でオーバーフローした養液は、排出堰から養液タンクに戻る。

水稻苗の水耕育苗の可能性を調査するために、本装置の育苗槽に湛水した養液中に直接種子を播き、養液循環休止時間を変え、水稻の育苗の可能性を調査した。

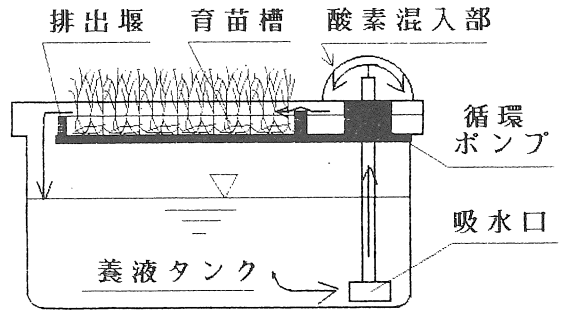


図5 簡易ハイドロポニクス水稻育苗装置

なお、水位は装置の機構上4.5 cmに設定し、養液に肥料養分は混入せず無肥料で育苗した。また、播種量は通常育苗箱相当で、200 g播きに当たる量に設定した。

本育苗方式で水稻の育苗を行った結果、養液中の種子は根の伸長によって水面に押し上げられ、水面付近に位置し、苗に成長した。また、根は養液中で絡み合いマットを形成した。

簡易ハイドロポニクス装置を用いて育苗したときの苗の出芽後の生育経過を図6に示す。

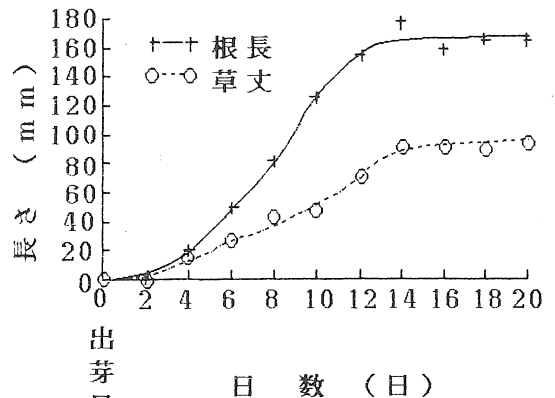


図6 苗の生育経過

根の伸長は草丈の伸長と比較して大きかった。また、根と草丈の伸長の経過を見ると、出芽後10日目(第2葉展開期)までは主として根が伸長し、それ以降は草丈が伸長した。また、出芽後14日目(第4葉展開期)で、草丈および根の伸長は最大値に達し、それ以降は横ばい状態を示した。この時水面上部では葉が繁茂し、水面下部では根が相当混みあった状態になっており、これは設定した播種密度での苗の限界葉齢に達したためと考えられる。

育苗した苗を観察すると、第2葉以降は葉色がやや薄い苗となった。これは無肥料で育苗したため、種子の離乳期以降生育に必要な栄養が足りなくなったためと考えられる。

養液を連続的に給液した場合、30分給液し30分休止した場合および30分給液し90分休止した場合の苗の生育を比較した結果、出芽から第2葉展開期まではどの場合もあまり変化がなかったが、第3葉展開期以降では、30分給液し90分休止した場合がいちばん良い生育を示した。これは育苗時期が12月で養液をヒータを用いて暖めていたが、第3葉展開期以降は温度センサの取付位置の関係で30分給液し90分休止した場合の養液温度が高くなってしまい、このために良い生育を示したと考えられる。

これらの結果より、最適の苗(健苗)を育苗するためには、苗の生育ステージおよび周囲環境に応じて、養液の肥料濃度、循環量、温度等育苗条件を最適に制御する必要があることが明らかになった。

このように、ハイドロポニクス装置を用い、水稻の育苗をした結果、根がよく伸長し、水稻の育苗が可能であることが確認できた。また、根は養液中で絡み合いしっかりしたマットを形成し、手で持ち上げても崩れない苗マットができた。また、本装置で育苗した苗マットは、従

来の苗マットと比較すると、床土を用いていないためマットの重量は軽く、その取扱いが容易であることが明らかになった。

5. まとめ

簡易ハイドロポニクス装置を用いて、水稻育苗の可能性を調査した結果、本装置のような水耕装置を用いて水稻の育苗が可能であることが明らかになった。本装置は他の作物、特に野菜等の栽培も可能であるので、大型の水耕育苗装置を開発し、水耕による水稻育苗技術を確立し、水稻育苗施設に導入すれば、育苗施設の汎用利用が可能となると考えられる。また、施設の自動化も可能であり、省力化が可能であると考えられる。

また、ハイドロポニクスによる育苗方式は、床土を必要としないため、生産コストの低減が可能である。また、苗マットの重量もかなり軽くすることも可能である。

しかし、播種の均一化、苗の根元位置の一定化、最適育苗環境の解明等今後解決すべき点も多い。また、根だけで苗マットを作るため、従来の田植機の掻き取り方式では、他の苗を引きずり出す等の問題もあることが明らかになった。

今後、実用規模の汎用型ハイドロポニクス育苗装置を試作し、これらの問題点を解決し、新しい育苗技術として確立させる予定である。

参考文献

- 1) 農林水産統計, 農林水産省農産園芸局農産課, 1989. 6
- 2) 養液栽培の新技术——その現状と展望——, (株)養賢堂, 1986. 2
- 3) 植物工場のすべて——施設農業の現状と今後の方向——, (社)日本施設園芸協会, 1987. 11

ソイルブロックマシンによるレタスの育苗

鶴田正明*・荻原武雄**・小田原和弘*

Raising Method of Lettuce in Soil Block Machine

Masaaki TSURUTA*, Takeo OGIHARA**, Kazuhiro ODAWARA*

1. はじめに

本県では、新しいわて農業確立計画をもとに、地域の特性を生かした収益性の高い作目を戦略的品目として位置づけ農業再編を推進している。

その中でレタスは、冷涼な気候を利用した作目として県北部の一戸町を中心に生産が拡大されてきました。本県の昭和62年度の作付面積は787 ha、生産量16,255 tであり10年前のほぼ2倍の伸びを示している。

しかし、農作業面をみると播種・定植・収穫作業は手作業中心であり、今後、機械化一貫体系の確立が望まれている。

ここでは、ソイルブロックマシンを用いたレタスの播種・育苗法について検討したので報告する。

2. 試験方法

1) ソイルブロック苗とペーパーポット苗の比較

(1) 供試機械：

ソイルブロックマシン SBM-552 S

ソイルミキサー SM-590 S

(2) 区の構成

① 播種日：

4月中旬, 5月上旬, 7月上旬

② 品 種：

サクラメント, ゼニス, エクシード

③ 苗の種類：

ソイルブロック苗(35mm角),

比較：ペーパーポット苗(No.11)

④ 供試育苗床土

自然土：厚層腐植質多湿黒ボク土

ピートモス：カナダ産 pH 4.0

⑤ 混合比：ソイルブロック苗は床土の50%をピートモスとした。また、ペーパーポット苗は床土の20%をピートモスとした。

2) ピートモスと自然土の比率を変えた場合の苗の生育

ピートモスの比率を30, 40, 50, 60, 70%と変えて苗の生育を調査した。

3) 移植時の植付角度別生育調査

手作業により、定植時の植付角度を0°, 30°, 60°, 90°としてその後の生育・収量を調査した。

3. 試験結果及び考察

今回供試したソイルブロックマシンは、床土を練るミキサーとブロックを形成するソイルブロックマシンから成り、2人の組作業で行うものである。使用した育苗用床土の材料は、自然土にピートモスを混入させたものである。なお、ピートモスは強酸性(pH4)なので、熔燐や苦土石灰などを混入して床土のpHを6程度に酸度矯正する必要がある。今回の試験では、自然土50ℓに熔燐1kg混入して、pHを5.8~6.0として用いた。

1) ピートモスの混入比率

ピートモスの混入比率(容積比)を50%以下にすると保水性が弱くなり、ソイルブロックが固くなって欠株率が増加した。50~60%の混入比率が適当と考えられた。(表1)

2) 床土量

10a当りに必要な床土量は、土の種類や練り方によって±10%ほどの違いはみられるが、

* 岩手県立農業試験場

** 岩手県立農業試験場県南分場

600 ℓである。その際のピートモスの使用量は、混合比 60 % の場合、10 a 当り 170 ℓ (カナダ産の場合) であった。

3) 練り方

ミキサーにピートモス→肥料→土の順に軽い材料から入れ、均一に混合したところで水を加え、手でにぎって水がにじみでる程度 (含水率 60 % 前後) まで加水して混合した。練りすぎたものは、ブロックが固くなり、発芽率やその

後の生育が悪くなった。また、水が多すぎるとブロック成型部に土が付着してブロック成型がうまくいかなかった。

4) 種子

種子はコート種子 (L コート) を用いることによりほぼ均一に播種できた。S コートでの対応は難しい。なお、ソイルブロックマシンは、1 粒播種なので発芽率の良い種子を用いなければならぬ。(表 2)

表 1. ピートモスの混合割合と欠株率・苗質 (昭和 63 年 岩手農試)

調査項目	ピートモス混入割合 (%)						備 考
	70	60	50*	50	40	30	
欠 株 率 (%)	0.8	0.8	欠 測	3.1	3.9	7.0	播種月日 5月 26日
葉 数 (L)	6.2	5.9	5.2	6.4	6.2	6.7	調査月日 6月 22日
葉 長 (cm)	10.7	9.7	9.8	11.5	11.6	12.2	50* : 固く練った
地上部生体重 (g)	2.28	2.08	1.84	2.67	2.78	2.77	ブロック
ブロック硬度 (mm)	5.7	4.7	9.8	8.6	8.9	9.4	ブロック硬度は山中式の
ブロック含水率 %	44.8	39.5	28.7	36.0	45.0	28.5	の読み (mm)

表 2. 播種精度及び作業能率 (昭和 62 年 岩手町)

作 業 名	作業能率 秒/箱	播 種 精 度 (%)			
		欠 粒	2 粒	脱 粒	合 計
ソイルブロックマシン	112	1.4	2.1	0.7	4.2
人 力 播 種	120	0	2.9	0.7	3.7

注 1. 作業能率の機械作業は、ブロック成型→播種→箱詰め
 人力播種は、播種のみで手直して播種精度 100 % にするのに 12 秒要する。

表 3. ソイルブロックマシンとペーパーポットとの作業能率の比較 (昭和 63 年 園試高冷地開発センター)

区	作業名	床土作り 床土混合	ポット作り ブロック成型	播 種 追 播 種	全 作 業 時 間	備 考
ソ イ ル ブ ロ ッ ク	単位当り 所要時間	ミキサー 1 回 4.2 分	1 箱 (144 株) 1.6 分		1 箱 2.2 分	1. ミキサー 1 回分の床土量 66.5 ℓ 2. 1 箱分の床土量 10.6 ℓ
	作 業 毎 所要時間	ミキサー 8 回 33.3 分	50 箱 (7,200 株) 77.5 分		50 箱 110.8 分	
ペ ー パ ー ポ ット	単位当り 所要時間	ミキサー 1 回 4.3 分	1 箱 (144 株) 2.6 分	1 箱 2.6 分 (1.4)	1 箱 5.9 分 (4.7)	1. ミキサー 1 回分の床土量 64.3 ℓ 2. 1 箱分の床土量 10.3 ℓ
	作 業 毎 所要時間	ミキサー 8 回 34.3 分	50 箱 (7,200 株) 131.3 分	50 箱 128.8 分 (71.5)	50 箱 294.4 分 (237.1)	

注 1. 組作業人員はソイルブロックもペーパーポットも 2 人
 2. ペーパーポットの播種は手播き : () は播種板を用いた場合
 3. 育苗箱は NK 箱 (32 × 56 cm), ペーパーポットは特 12 号を用いた。
 4. 一戸町奥中山の農家使用例では
 ソイルブロックマシン 50 箱播種 2 時間 2 人組
 ペーパーポット 50 箱播種 2.5 時間 2 人組
 であった。

5) 作業時間

10 a 当りの作業時間は、2人組、NK箱60箱(8,640株)播種でおよそ2.2時間であった。これは、人力作業で播種板とコート種子を用いて播種した場合の作業時間2.5時間よりやや短縮されるだけである。(表3)

6) 育苗

レタスは好光性なので覆土をしないで育苗した。覆土が必要な場合も覆土はごく薄く、種子が見える程度としなければならない。厚く覆土すると発芽が悪くなり、ソイルブロックのメリットが生かされない。

播種直後の水管理は、ソイルブロックの形がくずれない程度に弱く行い、その後、寒冷紗や新聞紙等でベタがけをし、乾燥を防がなければならない。特に播種後発芽するまでの2~3日は、乾燥させるとブロックが固くなり発芽不良となるので水管理に十分注意しなければならない。

7) 苗質・収量

同じ条件で育苗したソイルブロック苗の苗質は同形(35mm角No.11)のペーパーポット苗とほぼ同じであった。(表4)また、定植後の活着も良好で、収穫時の収量・球重・形状等も変わりなかった。(表5)

8) 定植作業

ソイルブロック苗はペーパーポット苗に比べて定植作業が容易であり、15%程度作業時間が短縮された。(表6)

苗の定植時の植付姿勢を極端に傾けると障害球が増加した。(表7)今後、機械移植等を考える場合でも植付姿勢を90°~60°に制御できる移植機の開発が必要と思われた。

9) 導入条件

規模別に経費試算をすると、3ha分以上育苗しなければ、ペーパーポットに比べて安くならず導入しても経営上のメリットはない。従って、集団や大規模野菜農家が導入の対象となる。

(表8)

表4 ソイルブロック苗とペーパーポット苗の定植時の苗質(昭和63年岩手農試)

区番号	播種日	定植日	品種	苗の種類	定植時の苗質			
					葉数(L)	葉長(cm)	葉幅(cm)	葉形比(縦/横)
1	4月15日	5月6日	サクラメント	ソイルブロック	4.2	5.4	2.3	2.3
2				P. P No. 11	4.3	4.7	2.1	2.2
3	5月12日	5月28日	サクラメント	ソイルブロック	2.2	3.4	1.7	2.0
4				P. P No. 11	2.1	2.6	1.7	1.5
5			ゼニス	ソイルブロック	3.0	3.9	3.7	1.1
6				P. P No. 11	2.0	2.5	2.5	1.0
7			エクシード	ソイルブロック	2.2	3.4	1.9	1.8
8				P. P No. 11	2.1	3.1	1.7	1.8
9	7月8日	7月21日	エクシード	ソイルブロック	2.3	4.5	4.7	1.0
10				P. P No. 11	2.1	4.3	4.5	1.0

(注：P. P No. 11 →ペーパーポット No. 11)

表5. ソイルブロック苗とペーパーポット苗の収穫時調査 (昭和63年岩手農試)

区番号	収穫月日	品種	苗の種類	全重 (g)	球重 (g)	球高 (cm)	球径 (cm)	外葉数 (枚)	最大葉 (cm)		収量 (kg/a)
									長さ	幅	
1	6.24	サクラ	S	581	301	11.1	12.0	13.7	25.0	28.9	200.5
2	~6.27	メント	P	650	336	12.7	13.6	13.3	25.2	31.4	223.8
3	7.14	サクラ	S	914	609	15.1	16.5	12.3	26.0	31.3	354.8
4		メント	P	791	512	14.7	16.0	12.0	25.6	31.9	298.7
5	7.16	ゼニス	S	817	504	14.4	15.5	11.0	27.2	33.1	314.8
6			P	717	447	14.1	16.1	11.5	24.8	31.8	297.8
7		エクシード	S	830	484	14.0	15.2	10.5	25.3	33.5	302.3
8			P	896	528	14.0	15.6	11.0	25.1	32.7	351.8

(注 S:ソイルブロック苗 P:ペーパーポット苗No.11)

表6. 定植作業時間の比較 (昭和63年 一戸町奥中山)

育苗条件	時間/10a	対比	備考		
ソイルブロック苗	7.9	86%	播種	7月16日	品種
ペーパーポット苗	9.2	100%	定植	8月3日	葉数
			調査面積	1.4a	エクシード 2.5

表7. 植付角度による生育の変化 (昭和63年岩手農試)

苗の種類	植付角度 (度)	全重 (g)	球重 (g)	最大葉 cm		球径 (cm)	球高 (cm)	変形球割合		不結球割合 %	腐敗球割合 %
				長さ	幅			△	×		
ソイルブロック	90	914	609	26.0	31.3	16.5	15.1	20	0	10	0
	60	744	481	24.9	29.9	15.5	14.4	30	0	0	0
	30	954	643	26.5	33.4	17.1	15.0	40	0	0	0
	0	843	515	25.9	30.2	16.1	15.5	50	10	0	10
ペーパーポット No.11	90	791	512	25.9	31.6	16.0	14.7	30	0	0	0
	60	730	477	26.4	29.0	15.5	14.5	30	10	0	0
	30	664	419	24.2	31.4	16.0	14.2	60	10	0	10
	0	691	459	23.2	29.9	15.2	14.4	60	10	10	0

注 播種月日 昭和63年5月12日 定植月日 5月28日 収穫月日 7月14日
 品種 サクラメント

表8. ソイルブロックとペーパーポットの育苗経費試算 (NK箱 60箱当り)

項目	ソイルブロック		ペーパーポット		備考
	数量	経費(円)	数量	経費(円)	
ピートモス	383 ℓ	4,213	123 ℓ	1,353	開封1ℓ11円, 60%混合UF配合他
肥料	4.8 kg	354	4.8 kg	354	
種子 (Lコート)	8,640 粒	3,283	8,640 粒	3,283	耐用年数 5年
NK箱	60 箱	2,280	60 箱	2,280	
ペーパーポット	—	—	60 冊	5,700	500円/時間 (ペーパーポットは播種板使用とした)
電気代	—	309	—	—	
労賃	4.43 hr	2,215	9.48 hr	4,740	
小計		12,654		17,730	
機械償却費					耐用年数5年 ¥180,000 耐用年数5年 ¥490,000
ソイルミキサー	1年	36,000			
ソイルブロックマシン	1年	98,000			
小計		134,000			

福島県における降水量からみた作業期間の地域的特徴

荒川市郎*

Estimating Workable Days in Fields from the Amount of Precipitation

in Several District of Fukushima Prefecture

Ichiro ARAKAWA*

1. はじめに

福島県は、面積が広く地形が複雑であり、県境を関東・上越に接しており、県内の気象条件が地域によって大きく異なることが知られている。この地域間の特徴を明らかにし、定量的にとらえるため、本県ではメッシュ気候図を作成し、気温の推定を行った²⁾。これらのメッシュ気温は、水稻の刈り取り適期予測や好適出穂期の推定、病害虫の初発日の推定に利用されている。それぞれの地域について、営農に関する情

報を提供するには、気温などの情報ばかりでなく、土壌条件・土地利用状況などの情報を、メッシュデータとして供給する必要がある。

また、農業生産における農業機械の果たす役割は大きく、低コスト農業が求められる現在においては、機械の効率利用が必要である。農業機械の効率的利用をはかるには、作業期間の拡大が必要であるが、これまで作業期間は作物の生育や収量が最大となる時期を中心に決められており、機械の作業条件や稼働日数を拡大する

表1 作業可能日数の推定に使用したA Me D A S観測点

地域	地点名	地点番号	標高	地域	地点名	地点番号	標高	
県北	茂庭	36006	250	会津 山間	金山	36341	324	
	梁川	36066	46		只見	36426	377	
	福島	36126	67		南郷	36536	540	
	二本松	36291	240		田島	36641	570	
				舘岩	36726	690		
県南	船引	36391	460	相双	相馬	36151	9	
	郡山	36476	230		飯舘	36221	452	
	長沼	36571	317		浪江	36411	47	
	小野新町	36591	433		川内	36501	410	
	白河	36666	354		富岡	36511	29	
	石川	36676	290					
	東白川	36821	217					
会津 平担	喜多方	36176	212	いわき	広野	36611	60	
	西会津	36251	110		上遠野	36776	125	
	若松	36361	212		平	36781	12	
	猪苗代	36276	521		小名浜	36846	3	

* 福島県農業試験場

立場からみた知見は少ない。そこで本県の代表的な地点の日別降水量をもとに、作業可能日数を推定し、気象条件からみた地域の特徴について検討した。

2. 試験研究方法

気象データは、1979年から1985年のAMeDASの降水量のファイルを利用し、農耕地の無い地点を除き県内を表1のように区分し、それぞれ作業可能日数を推定した。作業可能日数の推定に使用した作業可能日判定基準は、表2のとおりである¹⁾。なお、この基準は転換畑を前提としているが、通常の水田の耕起にそのまま利用した。また、麦収穫の基準をそのまま水稲収穫作業の基準とした。

作業可能日数の推定は、これらのデータをもとに、パソコン上でプログラムを作り日別に計算した。計算方法は、当該日の当日、前日、前々日の日別降水量がいずれも基準の降水量以下であれば、その日は作業が可能であるとし、その日数を半旬別に合計し、それぞれの地域区分ごとの平均値を求めた。

3. 結果および考察

(1) 耕起作業

4月から5月にかけての耕起作業の作業可能日数を、図1に示した。作業可能日数が比較的多いのは、時間的には4月1~2半旬および5~6半旬と5月3~4半旬であり、地域的には会津平担および山間・県北・県南であった。

実際の耕起作業は相双・県北・県南の地域が

表2 降水量からみた作業可能日判定基準(mm)

作業名	当日	前日	前々日
耕起・碎土	5	8	17
麦 収 穫 *	6	24	25
大豆収穫 *	0	0	20

* コンバインによる収穫

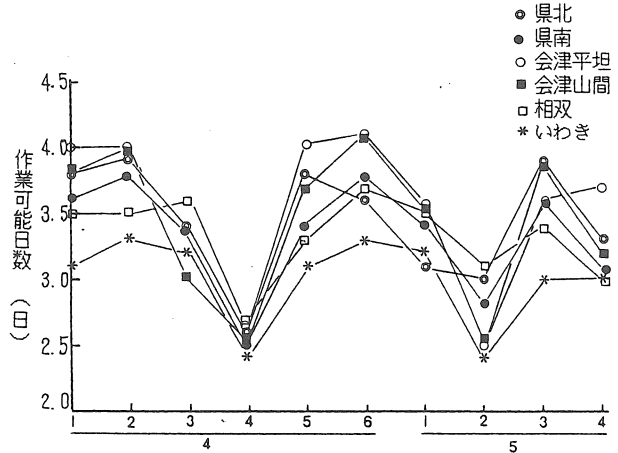


図1 4月から5月4半旬にかけての耕起作業の半旬別作業可能日数

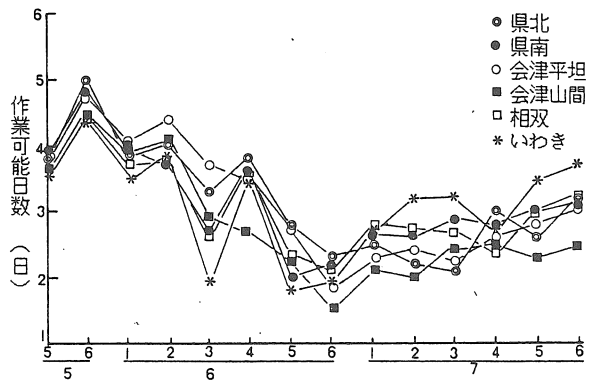


図2 5月下旬から7月にかけての耕起作業の半旬別作業可能日数

早く、会津が遅いのが現状であり会津平担および山間では、融雪による土壌水分の上昇を考慮する必要があると考えられる。したがって、地域的には県北・県南の作業可能日数が多く作業

可能期間が長いと推察される。

次に5月5半旬から7月にかけての、耕起作業の作業可能日数を図2に示した。5月5半旬から6月2半旬にかけての作業可能日数は多く、地域間差が小さい。しかし、梅雨にはいる6月3半旬の作業可能日数は、会津平担で多く、相双・いわきが少ない傾向を示した。また、梅雨の後半では、いわき・相双が多い傾向を示した。大豆の播種は、会津で6月3半旬まで作業日数が多いが、太平洋岸では6月の2半旬までで、それ以降はまとまった作業日数の確保は困難と推定される。このことは、麦大豆の体系を組む

場合、大麦収穫のあとの大豆播種のための耕起作業の日数が、確保しにくいことを示している。

(2) 麦類の収穫作業

6月4半旬までは作業可能日数が多く、地域的には会津平担が多い傾向を示した。また、7月2半旬に一時的に作業可能日数が多くなる時期がみられ、地域別ではいわきが多い傾向を示した。したがって、本県における大麦の収穫は、地域に関係なく6月4半旬ごろまでが作業可能日数が多く確保できる。また、小麦では7月2半旬に3～4日の日数と推定され、地域的にはいわき地方が多い傾向を示した。

(3) 水稻の収穫作業

9月3半旬から5半旬にかけて作業可能日数が多い時期があり、その後減少し10月3～4半旬及び11月の1半旬に再び多くなる。地域別では、9月の6半旬から10月5半旬にかけて会津の作業可能日数が多く、いわきが少ない傾向が認められた。また、10月6半旬から11月2半旬にかけては県北・県南で多く、会津山間が少ない傾向を示した。したがって、水稻収穫の作業期間としては、相双・いわきでは9月3～5半旬および10月6半旬～11月2半旬が作業可能日数が多くなると考えられる。このほか、県北・県南では10月3～4半旬も作業が可能である。また、会津では、他の地域に比べ作業可能日数の時期的な変動が少ない。このことは、県内における水稻の収穫作業期間が2つの時期に分かれることを示している。現在の本県における中生の品種は、ほとんど9月中下旬に刈り取り適期となることから、

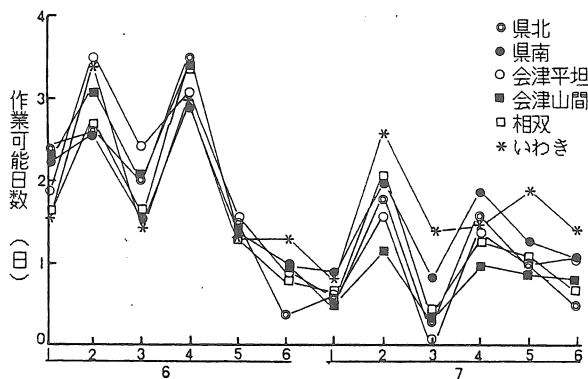


図3 麦類収穫の半旬別作業可能日数

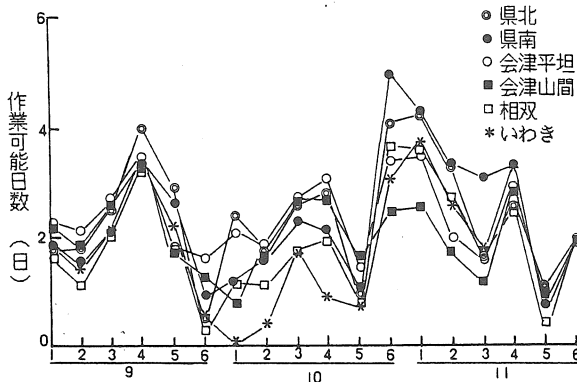


図4 水稻収穫作業の半旬別作業可能日数

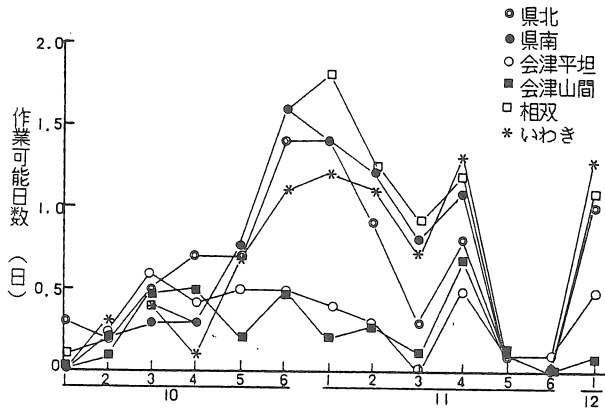


図5 大豆収穫作業の半旬別作業可能日数

後半の作業期間に対応する中晩生品種や栽培法の導入によって、作業期間の拡大が可能と考えられる。

なお、この推定に使用した基準値が水稻を対象としたものでないことや、会津地域のようにしぐれの影響のある地域での作業可能判定基準については不明であるため、今後さらに検討を要する。

(4) 大豆の収穫作業

コンバインによる大豆の収穫作業の作業可能日数は、10月6半旬から11月4半旬ごろに多いが、他の作業に比べ可能日数が少ない。地域別では、相双・いわき・県北・県南が多く、会津平坦および山間が少ない。このことは、会津地方が10月以降数ミリの降水が断続的に続くことがあることによると考えられる。本県における作業可能日数は関東地方に比べ少なく¹⁾、作業期間の拡大が困難であることを示している。福島県特に会津地方では、コンバインによる大豆収穫作業方法の改善が必要と考えられる。

以上の結果は、これまで一般にいわれていたものとはほぼ一致するが、用いた気象データの年数が少ないことや、作業の可能日判定基準が本県の自然条件下で求めたものでないこと、さらに土壌条件等を考慮していないことなど、すぐに実用化するには問題があるが今後これらの条件を解明し、降水量や土壌条件のメッシュ化とともに地域の営農計画を作成する上での資料として整備する必要がある。

4. 引用文献

- 1) 茨城県農業試験場(1988) 転換畑における降水条件からみた麦・大豆の作業別・時期別作業可能日数 昭和62年度研究成果情報 関東東海農業 185-186
- 2) 宗村洋一(1988) 福島県メッシュ気候図プログラムの開発に関する研究。
第1報 1kmメッシュの最高気温・最低気温平年値の推定 福島県農業試験場研究報告 第28号 63-84

◇◇◇◇◇
シンポジウム
◇◇◇◇◇

農業機械におけるハイテク利用

日本農業と農村は、いま、ひとときわ厳しい局面を迎えている。海外からは、貿易不均衡に伴う農産物の市場開放攻勢、特に米の輸入自由化問題を抱えている。国内では、米の減反政策と米価引下げ問題、身近なところでは農家就業人口の半数を占める60歳以上の高齢化と60%を占めるようになった婦女子化問題がある。

これからの国際化時代をどう生きていくかという時、農業技術の大躍進に熱い期待のまなざしが注がれている。特に、スーパーコンピュータ、ロボット、半導体、バイオテクノロジーと言った先端技術（ハイテクノロジー）を駆使した世界のトップランナーである我が国の工業技術力を、国際競争力のある農業を育てるために、速やかに導入・利用しようとする期待は大きい。

昨今、農業労働力が減少していく中で、一層の省力化と高能率で高精度な農作業が可能な高性能農業機械・施設の開発と利用による新しい農業技術の早急な確立が強く望まれている。

このような情勢下において、当支部では平成元年8月2日、福島市みちのく荘において、

「農業機械におけるハイテク利用」のテーマでシンポジウムを開催した。

弘前大学の戸次英二氏の司会のもとに、話題提供は、農業機械に関連したハイテクの概括的な解説と今後の展望を、岩手大学の太田義信氏に、農家と直結した現場サイドからのハイテクに対する声を、福島県農業試験場の渡辺千春氏に、研究の最先端で農業機械へのメカトロニクス導入と取組まれている技術の紹介を東北農業試験場の大下泰生氏に、そして好評を博しているロボットスプレーカーを開発された、メーカーサイドからの具体的なハイテク機械開発に関する経緯を、㈱共立の宮下進氏にお願いした。

話題提供のあと、総合討論が行われて、多くの会員から活発な意見と今後のハイテク導入に対する期待が寄せられた。

以下に、話題を提供された各氏の抄録を掲載する。

1. ハイテク利用の現状と展望

岩手大学

太田 義 信

2. 現場との接点から

— ハイテク利用についての要望 —

福島県農業試験場

渡 辺 千 春

3. 農業用メカトロ装置の開発について

— 自動走行管理機開発を例として —

東北農業試験場

大 下 泰 生

4. 共立ロボットスプレーカー開発経緯について

㈱共立 商品開発部

宮 下 進

ハイテク利用の現状と展望

岩手大学 農学部

太田 義信

I. はじめに

農業生産には、作物の育苗や栽培、土や水管理などに多くの技術的労働力が投入されているが、農業機械・施設の利用なしには、生産技術を語れない程、その比重は大きい。昨今、農業問題は、社会問題として一般消費者のお茶の間にも入ってきているように、大きな試練に直面している。海外からは、農産物の国内市場開放を求める外圧と輸入された農産物との競合などの国際競争力の問題があり、国内では、米の恒常的な生産過剰に対する減反と米価引下げ問題、さらに農業労働力の減少、高齢化、婦女子化に関する担い手問題もあり、どれをとっても農業全体に係わる重大な問題である。

このような障害を克服して、農業生産の維持・発展を図るには、これまで以上に低コストなもの、品質の良いもの、安全なものを生産する機械化技術が求められている。つまり、我が国農業の基本は、高度に集約的な土地利用において、高品質な多品目・多様生産方式を実現し農家経済として国際的にも自立することであり、より一層の高精度、高能率、省力化を可能にする高性能な農業機械・施設の開発と利用技術の確立が求められている。

これらの解決策として、これまで工業分野で発展してきたハイテクノロジー（先端技術）を農業生産の場にも導入することが、強力的に推進されている。このような流れのひとつである農業生産の自動化を Farm Automation (FA) あるいは Agri-Mation と称している。

本文の取りまとめにあたり、当大学の圃場機

械学講座、農産工学講座および農業土木機械学講座の諸先生のご指導とご協力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表する。

II. 農業機械に関係するハイテク技術

ハイテク技術は広範かつ先鋭化して発展しているが、農業機械・施設に関係すると思われる基幹ハイテク技術と農業機械における応用分野について、表1にまとめた。

III. ハイテク利用の現状と今後の課題

主な農業機械別にこれまでに利用されているハイテク技術、現在検討中の技術および今後の課題となる事柄についてまとめた。

1. 農用エンジン

自動車用エンジンにおいては、①理論空燃比に近づける燃料噴射量制御、②最大トルクが得られる点火時期制御や燃料噴射時期制御、③低速かつ安定した回転数を得るアイドル回転速度制御、その他ノッキング制御やグロープラグ制御が行われている。さらにこれらエンジン制御とトランスミッション制御とを組合せて総合制御するパワートレイン制御も行われている。これらの制御技術は、遠からず農用エンジンにも導入されてこよう。

[今後の課題]

- ① 負荷の大きさや変動に応じて、出力の最適制御が行えるエンジン
- ② 軽量高出力で低騒音かつ低燃費なエンジン
- ③ バイオマス代替燃料の使用可能なエンジン

2. トラクタおよび耕うん整地機械

(1) 3点リンクヒッチ機械

従来の機械油圧式による位置制御，抵抗制御および複合制御は，トラクタの大型化，高速化に伴い迅速な応答性と精密な制御特性を要請されて，電子油圧制御式の導入が進行している。

(2) ロータリ耕うん装置

ポテンショメータによる耕深制御と傾斜センサによる水平制御，およびエンジン回転速度の検出とロータリの耕深調節を組合せたエンジン負荷制御が行われている。

(3) マイコン制御

マイコン（マイクロコンピュータ）と各種セ

ンサを利用して，トラクタ装著作業機と作物あるいは地表との相対位置制御や作業機の姿勢制御およびトラクタ走行速度の調節による作業機の負荷制御が検討されている。

(4) トラクタの自動走行

トラクタの自動走行については，1960年代から各種の方式が検討されているが，いまだ実用化されていない。機体の位置検出法（①機械式接触法——プラウ溝の検出による自動操向，②電磁誘導ケーブル式，③光反射式，④超音波式，⑤レーザビーム式，⑥地磁気方位式）とかじ取り機構をマイコンにより制御する方法が検討されている。

表1 農業機械に関係するハイテク技術

ハイテク分野	基幹技術	応用分野
センシング	物理センサ 化学センサ バイオセンサ	環境情報（温度，水分，圧力，光，音，流量，速度，ガス，イオン等） 生体情報（色，形状寸法，濃度，成分，熟度，鮮度，香り，味等）
新素材	ファインセラミックス	エンジン耐熱部品，耐摩耗部品
	高分子材料	エンブラ（軽量性，耐食性，成形性） 吸水ポリマー，混合物分離膜（果汁の精製・濃縮，糞尿の固液分離）
	新金属	制振合金，形状記憶合金
	複合材料	繊維強化プラスチック（タンク，ホッパー，カバー，フロート等），ゴム
ソフトテクノロジー	データ解析	最適制御，画像処理等
	シミュレーション技術	試作設計，動の実験，運動解析等
	人工知能	判断技術，知能ロボット
	エキスパートシステム	生育診断，故障診断，営農管理等
メカトロニクス	センサ	センシング技術
	適応制御	マイクロコンピュータ
	アクチュエータ	電気式，油圧式，空圧式，機械式
ロボット	移動ロボット	圃場作業ロボット（耕うん，播種，移植，間引き，防除，刈取り，収穫） 施設化ロボット（ガントリー形式）
	定置ロボット	施設作業ロボット（カルス移植，育苗，肥培管理，乾燥調製，籾すり，青果物選別包装，搾乳，羊毛刈取り）
バイオテクノロジー	遺伝子工学	F1種子，人工種子
	種苗生産工場	ウイルスフリー苗
	植物工場（野菜工場）	サラダ菜，レタス，カイワレ大根，ミツバ，トマト，イチゴ，蘭，葉草
	バイオマス変換	バイオリアクター，エタノール発酵，メタン発酵，コンポスト，環境浄化

[今後の課題]

- ①トラクタ装著作業機の位置，負荷および姿勢制御
- ②傾斜地走行におけるトラクタ姿勢制御
- ③圃場でのトラクタの高精度な位置検出
- ④無人走行トラクタ（半自動化ラジコントラクタおよび自律走行トラクタ）

3. 播種と管理機械

(1) 播種機

播種粒数，播種間隔および播種深さを一定にするような制御が検討されている。

(a) 落下種子の検出

繰出しモニターとして，①光電式，②ひずみゲージによる落下衝撃センサ，③圧電センサ，④静電容量式，⑤流体素子センサ等の利用が検討されている。

(b) 欠粒の補填法：補種装置の開発が遅れている。

(c) 播種間隔の制御（条間，株間とも）

適切な播種のタイミングには，精密な走行速度の検出が必要であり，①播種機地輪式，②第5輪式，③超音波式，④レーダー速度計が検討されている。

[今後の課題]

- ①高精度かつ低廉な速度センサの開発
- ②播種間隔および播種深さの精密な制御技術
- ③信頼性のある欠粒の補種装置の開発

(2) 田植機および野菜移植機の課題

- ①苗補給の自動化
- ②欠株に対する補植の自動化
- ③軟弱地における走行性の改善
- ④自動操向技術

(3) 間引き作業

対象作物の検出には，①光電式，②電気容量式，③流体素子式，④TVカメラあるいはCCDカメラによる画像処理等が検討されている。検出後は一定範囲内にある健苗を残すように，機械式除去あるいは除草剤散布を行う作業である。

[今後の課題]

- ①対象作物と雑草や地表とを識別する技術
- ②作物列を識別して自動走行する技術
- ③健苗と不良苗とを選別し摘出する技術

(4) 防除機

(i) 散布量の制御

走行速度に応じてノズル吐出量を調節し，散布量を一定に保持する。そのために，ノズル吐出圧力あるいは流量と走行速度を検出して制御する方式が検討されている。

(ii) 散布位置の制御

各種センサ（接触式，光電式，流体素子式，超音波式，TVカメラ等）による作物の位置や

高さの検出と相対的なノズル位置の検出・制御を行う技術が検討されている。

[今後の課題]

- ①高精度な走行速度の検出法
- ②散布対象の位置検出技術
- ③健康上および省力面から防除作業の無人化（防除ロボット）

4. 自脱コンバイン

走行→刈取り→脱穀→選別→一時貯留と多岐にわたる作業を同時に行っている複合機械であり，操作の簡易化と作業能率の向上のために多くの自動制御技術を導入している。

- (1) 刈高さ制御（超音波センサ使用）
- (2) 抜き深さ制御（穂先部を脱穀機の最適位置に送込む制御）
- (3) 自動操向制御（稲株の検出による制御で回行も含む）
- (4) 車速制御（エンジン負荷制御による）

[今後の課題]

- ①地表面に対する刈取り部の精度の高い水平制御
- ②選別性能等を向上させるための機体の水平制御
- ③抜き深さ制御における平均的な穂先の検出法

5. 穀物乾燥機

マイコンを用いた自動化が進んでいる。すなわち，乾燥プログラムに従って，穀物の含水率は乾燥機の始動時から自動水分計（電気抵抗式，電気容量式）によって測定され，燃料供給量が調節できるロータリガス化バーナによって，熱風温度や送風量を調節して，仕上り含水率に達すると乾燥機は自動停止する。

[今後の課題]

- ①穀物の種類や状況に適應した乾燥プログラムの開発
- ②穀粒温度の最適制御
- ③含水率以外にも品質に関係する物性を検出して、品種や用途に適應する制御技術

6. 選果施設

青果物の流れとしては、荷受→洗浄→等級選別→階級選別→包装・箱詰め→出荷となる。

(1) 等級選別の自動化

青果物の形状や色、傷等の外部品質による選別と糖度や熟度、水分量等の内部品質選別とがあり、従来は人手に頼っていた。近年、自動機械が導入されつつある。例えば、

- ① キュウリの形状選別：CCDカメラによる曲りと大きさの判定
- ② スイカの音響判定：スイカの打撃音からの入りや熟度を判定
- ③ 柑橘類の色判定：ITVやCCDカメラによる色彩選別と傷や斑点の判定
- ④ モモの糖度判定：近赤外線分析計による判定

(2) 階級選別の自動化

青果物の重量と大きさとの選別であり、自動化の第1世代は、重量選別機やはめ合わせ選別機などの機械式、第2世代は光ビームや電子天秤を用いた電子式、そして第3世代はCCDカメラからの画像処理を行うコンピュータ式が導入されている。

(3) ハンドリングの自動化

ミカン、スイカ、柿、卵などで自動箱詰めが行われている。

[今後の課題]

- ①多種多様な形状、色、大きさを識別する画像処理技術

- ②青果物の糖度、熟度や鮮度などの内部品質を検出するセンサの開発

7. 農業用ロボット

農作業に係わる自動制御技術の究極の目標は、無人化、すなわち農業用ロボットの実現である。農業用ロボットに対する期待は、次の点にある。

(1) 農業生産性の向上

作業の質の向上による高精度作業や高能率化と労働力不足の解消とが図られることである。

(2) 重労働、危険及び不健康作業からの解放

①単調な労働作業や重労働、さらに野菜や果実の収穫などの選別作業、②傾斜地や高所などの危険作業、③薬害や塵あい、振動の多い不健康な作業環境から、農業従事者を解放することである。

農業用ロボットの種類としては、表1に示したように大別すると、①圃場作業ロボット、②施設化ロボット（ガントリー形式）、③施設作業ロボットがある。

[今後の課題]

- ①自己位置について精度の高い検出技術
- ②地表の状況、障害物、溝などの識別技術
- ③穀物、野菜、果実などの位置や形状、色、熟度の判断技術
- ④誤操作運動に対する安全対策、信頼性および経済性の評価

8. 植物工場（野菜工場）

ガラス室やプラスチックハウス内などで、生産環境を常に最適な状態に制御した人工の環境下で野菜などの生産を行っている施設である。一般に人工光あるいは太陽光の下で、土を使わない養液（水耕）栽培が行われている。

環境制御としては、室内温度、湿度、日射量と日射時間、CO₂濃度を調節しており、生産工

程制御としては、搬送コンベア、播種、移植、灌水、収穫、包装の各作業を調整している。

栽培対象作物：表1を参照

[今後の課題]

- ①各作物の生育環境の最適化
- ②作物生育情報の計測技術
- ③商業ベースでの生産作物の拡大
- ④植物組織培養施設での各種手作業の自動化

IV. おわりに

農業機械の取扱う対象物は多種・多様な形状、寸法および色彩を有している。まず、対象作物を識別する人間の目に相当する視覚センサと画像処理技術、生物体を取扱う人間の手と触覚に相当する柔軟性あるマニピュレータの開発・制御技術、さらに圃場走行中のトラクタや作業機、あるいは対象作物についての高精度な位置検出技術の3本柱が確立されることが重要である。工業製品のように画一的には処理できない農産物の取扱いには、あいまいを加味できるファジィ制御の利用が期待できる。

農業機械は、単なる省力のための自動化を目指すのではなく、これまで以上に作業の出来る高精度・高効率な複合機械や高性能機械が要求される。ハイテク化によって農業機械の高価格化および故障の多発化を招いてはならず、信頼性ある高性能と経済性とが両立できる技術開発が望まれる。

参考文献

- 1) 農業機械学会：農業機械の新技術開発調査研究——昭和60年度調査報告書，1986.
- 2) 農業機械学会：農業機械の新技術開発調査研究——昭和61年度調査報告書，1987.
- 3) 農業機械学会：農業機械のロボット化に関する調査研究——昭和62年度調査報告書，1988.
- 4) 農業機械学会：農業機械分野の21世紀の課題，1989.
- 5) 日本学術会議農業機械学研究連絡委員会：農業機械学の新しい将来像，1986.
- 6) 日本学術会議農業機械学研究連絡委員会：農業機械の自動化，1988.
- 7) 日本学術会議農業機械学研究連絡委員会：農業機械化のソフトテクノロジー，1988.
- 8) 農業機械化研究所：先端技術活用研究委員会検討資料No.1～6，1985.
- 9) 農業機械化研究所：農業機械の自動化に関する調査結果概要，1988.
- 10) 日本機械学会編：機械工学便覧C1——産業機械・装置，1988.
- 11) 日本機械学会編：機械工学便覧C4——メカトロニクス，1989.
- 12) 山海堂：エンジンメカトロニクス，内燃機関7月増刊号26(333)，1987.
- 13) 柳田博明，山崎弘郎：センサ先端技術，海文堂，1986.
- 14) 山香英三：ハイテクノロジー・センサ，共立出版，1986.
- 15) 村井恒夫：ハイテク食料戦略，ダイヤモンド社，1986.
- 16) 高辻正基：野菜工場——未来の農業システム——，丸善，1986.
- 17) 高辻正基他：ハイテクが農業を変える，シー・エヌ・ティ，1989.
- 18) G. W. Krutz：Agricultural robots and social issues, Agric. Engng. 64 (11), 1983.

農業用メカトロ装置の開発について

— 自動走行管理機開発を例として —

東北農業試験場 大下 泰生

1. はじめに

今日、日本の農業を取り巻く情勢は、農産物の市場開放、米の生産過剰、高齢化、後継者不足等の問題をかかえ、一方では消費者ニーズの高品質化、多様化等に対応した技術開発が要請されている。これらの事情を背景に、農作業ロボットや自動制御施設等を導入することにより作業の高能率化、高精度化、省力化を図り、生産性の向上、生産コストの低減、作物の常時生育モニタリングや細かな栽培管理による高品質生産をめざした技術開発が期待されている。しかし、このような自動制御装置、とりわけコンピュータを利用した装置を開発するためには専用の開発装置や周辺機器を必要とし、これには簡易なシステムから大型で高価なシステムまで多種多様であり、導入するにあたっては十分検討する必要がある。そこで当試験場で開発を進めている畑作物用自動走行管理機を例として、比較的簡易なシステムを中心とした開発環境及び開発手順について概略を紹介する。

2. 自動走行管理機の概要

自動走行管理機はコーン、ソルガム等の畑作物の管理作業を無人で行う目的で開発したものである。開発目標は、①条間75cm程度の作物条間を走行可能なこと、

②走行装置やコンピュータ等の動力源や電源は全て搭載すること、③ほ場での走行性の良好な足回りとする、④追肥、除草、スリートン

表1 主要諸元

全長	99 cm
全幅	65 cm
全高	74 cm
質量	120 kg
制御部 I/O ボード	CPU Z80 A 16ch入力ボード 16ch出力ボード A/D変換ボード サーボモータドライバボード
検出部	超音波式近接スイッチ マイクロスイッチ 磁気方位センサ レーザ式外径測定センサ 超音波式距離測定センサ
走行部 操向方式 原動機 回転検出方式 動力伝達方式	6輪式 スキッドステアリング式 DCモータ 120W×2台 ロータリエンコーダ 800P/R 遊星歯車式減速機、チェーン駆動
電源部 発電機 蓄電池	750 W 26 Ah (20時間率) × 3個

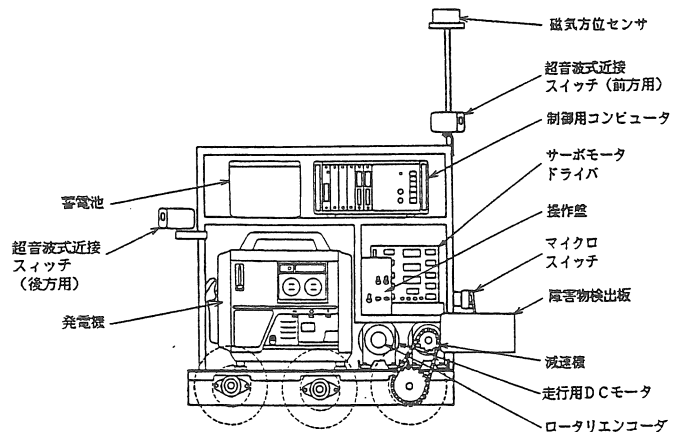


図1 自動走行管理機概略図

ルガムの穂切り等の管理作業が可能なこと等である。

試作機は6輪式の小型管理機で、制御部、検出部、走行部及び電源部で構成される(表1, 図1)。走行部の操向方式はスキッドステアリング式で車輪は左右各1個のDCモータにより駆動され、左右車輪の回転方向、回転速度差により前進、後進、旋回を行う。電源として走行用モータに蓄電池、コンピュータ、センサ等に発電機を使用しており、1時間程度の連続走行が可能である。作業ユニットとして追肥及び穂切り作業用を製作しており、機体上部に装着する。

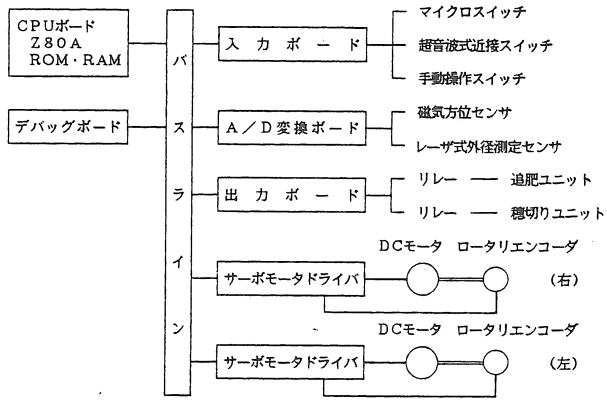


図2 制御部システムブロック図

3. 制御部及び制御プログラムの作成

1) 制御用コンピュータの概要

図2に制御部のシステムブロック図を示す。試作機の制御にはCPU(中央処理装置)にZ80を使用したVME-8バス(立石電気SBCシリーズ)仕様のシングルボードコンピュータを使用した。一般にコンピュータと言えばすぐにCRTやキーボードの付いたパソコンを連想するが、農業機械のように屋外使用が多く、水や塵埃、振動など電子機器にとって劣悪な条件下での使用や、小型機械に搭載する場合は、CRTやディスク装置の付いたパソコンの使用は困難であり、試作機はシングルボードコンピュータを使用した。試作機に搭載したコンピュータはCPUボードの他に16ch入力ボード、16ch出力ボード、A/D変換ボード、サーボモータドライバボードを有する。制御プログラムはROM(読み出し専用メモリ)に記憶されており、電源を投入すると自動的に起動する。

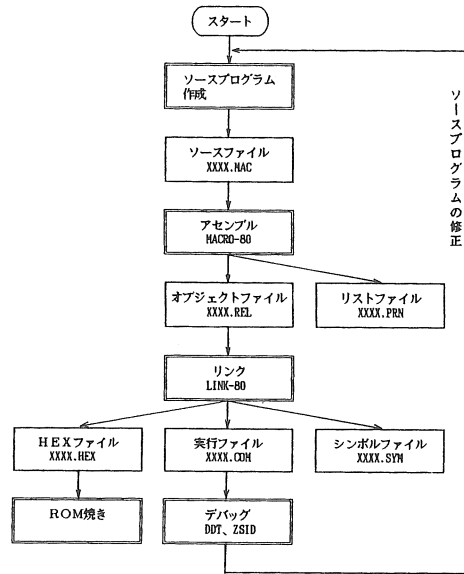


図3 MACRO-80によるROM化の手順

2) ソフトウェア開発環境及び手順

シングルボードコンピュータ用の制御プログラムを書き込んだROMを作成するためにはマイコンソフト開発用ツールが必要となる。ツールの構成はパソコン(NEC社PC-9801)を中心として、インサーキットエミュレータ(Minicom社PC-iCE/Z80EX, 以下ICE), ROMライター(ICEに内蔵)である。

Z 80 用プログラム開発ソフトは数種あるが、CP/M-80 (Digital Research社のオペレーティングシステム (OS)) のもとでMACRO-80 (Microsoft社) が多く使用されている。一方、16ビットパソコンにはMS-DOS (Microsoft社のOS) が普及しており、ソースプログラム (アセンブラ、BASIC等のプログラミング言語で書かれたプログラム) の作成、編集に適した使いやすいエディタが多数ある。異なったOS間でソフトを使用するためにCP/M-80用アドオンボード (カノーブス電子社PLUS-180) を使用し、MS-DOSのもとでCP/M-80ソフトを実行した。

MACRO-80によるROM化の手順を図3に示す。ソースプログラムはアセンブラで記述し、アセンブルしてオブジェクトファイル (マシン語で書かれたファイル) を作成し、リンクを行い必要なファイルを複数個つなぎ合わせて実行ファイルを作成する。ROM焼きするためにはHEXファイル (16進数ファイル) も

作成する。

次に、作成した実行ファイルがターゲットシステム (ここでは自動走行管理機制御用コンピュータ) 上で正しく作動するか確認するためにICEを使用してシステムチェックを行う。バグ (プログラムの誤り) 取りが完了し、プログラムが完成するとROMに書き込む。

3) 制御プログラムの概要

制御プログラムのフローを図4に示す。コンピュータが起動すると、最初に初期設定を行う。ここでは、作業条件として必要な条間走行時間、作業行程数、作業速度等のデータを入力する。次に手動走行、自動走行の選択を行う。路上走行や作業開始位置までの走行は手動で操作し、作業開始位置からは自動走行モードに切り換える。作物条間では作物列をガイドとして左右のセンサにより作物列位置を検出し、作物列に接近すると走行方向を修正し、常に条間中央を走行するよう方向制御を行う。左右の作物列が無くなると枕地と判断し、旋回して次の条間に進行する。以後、この動作を繰り返し、設定作業行程数を終えると自動的に停止する。

4. センサの検出性能の調査

自動制御装置にとって、大きさ、重さ、温度、色等の外界情報を入力するセンサは重要であり、センシング性能の良否は制御性能に大きく影響する。現在、農業分野で使用されているセンサは工業用センサを利用したものが多く、作物、家畜、収穫物等は工業製品と異なり、形状、色、大きさが不均一で、検出場所の温度、光、土壌条件等の使用環境も様々である。対象物に適したセンサの選定、あるいは開発が必要となる。試作機で使用したセンサを表2に示す。以下、センサの適応試験を行った結果を示す。

1) 障害物検出用マイクロスイッチ

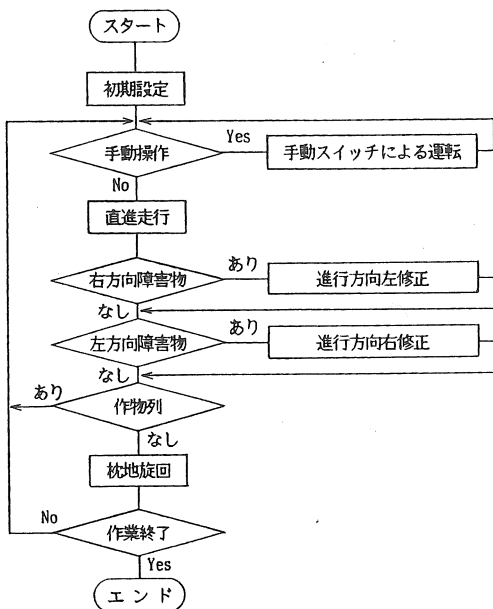


図4 制御プログラムのフローチャート

マイクロスイッチは構造が簡単で、障害物に接触することにより確実に検出できる。問題点としては作物以外の雑草に反応することである。シートソルガムの稈強度は7~9葉期、地上高20cmで0.5kNあり、マイクロスイッチの操作力を0.2kN(先端部)として、茎が柔らかい雑草には反応しないようにした。

2) 超音波式近接スイッチ

作物列や障害物を非接触で検出するために超音波式近接スイッチを使用した。検出範囲はセンサ前方20~30cmである。検出性能を調査した結果、超音波放射方向に対し垂直な平面(4×4cm以上)は良好な検出性能があるが、細い茎や超音波放射方向に対して傾斜している葉については検出精度が低かった。

3) 磁気方位センサ

フラックスゲイト式磁力計で、直行する2軸方向に磁力計が取付けてあり、それぞれの検出方向における磁界強度に比例したアナログ電圧を出力する。センサの出力特性を図5に示す。管理機の制御用コンピュータは出力電圧をA/D変換し、2軸の出力値より機体の走行方向を検出する。問題点としてセンサが傾斜した場合、出力電圧が変動するため機体の傾斜に対する補正が必要である。

4) レーザ式外径測定センサ

測定対象作物の茎径を測定する目的で使用した(図6)。投光部及び受光部間にレーザービーム(10mm×1mm)を通し、ビームを遮断する面積に比例したアナログ電圧を出力する。

5) 超音波式距離測定センサ

超音波により対象物までの距離を測定し、距離に比例したアナログ電圧を出力する(図6)。測定範囲は3.5~30cmである。作物検出の場

表2 自動走行管理機使用センサ

種類	測定項目	仕様
マイクロスイッチ	作物および障害物検出	ON-OFF出力
超音波式近接スイッチ	作物および障害物検出	立石電気 E4B-RS70E4 検出範囲 20~30cm ON-OFF出力
磁気方位センサ	走行方位検出	WATSON社 FGM-100A フラックスゲイト式磁力計 2軸検出型 アナログ電圧出力
レーザ式外径測定センサ	作物茎径検出	キーエンス社 LX-130 レーザビーム 10×1mm アナログ電圧出力
超音波式距離測定センサ	作物草高検出	キーエンス社 UD-1100 測定範囲 3.5~30cm アナログ電圧出力(距離・エコーレベル)

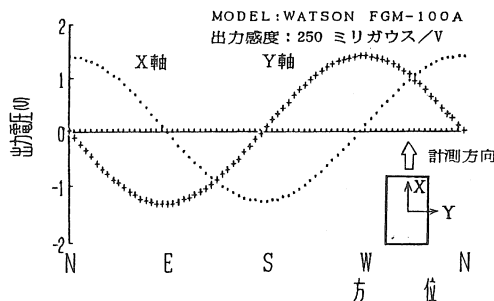


図5 磁気方位センサの出力波形

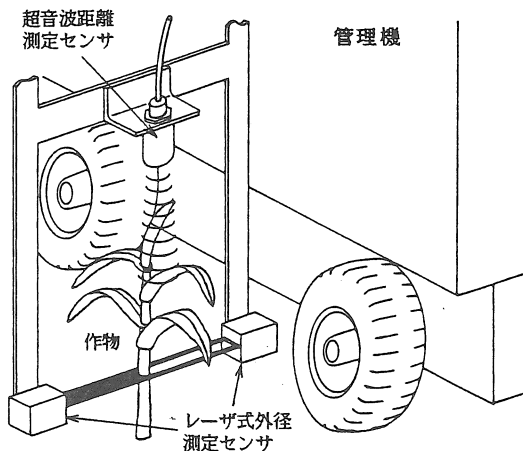


図6 レーザ及び超音波センサ取付方法

合、超音波放射方向に対し茎葉等の反射面が必ずしも垂直でないため受信部にエコーが安定して反射せず、測定精度は低かった。

以上が管理機に使用したセンサであるが、作物位置や形状の検出には色センサやCCDカメラ

ラを使用した画像処理装置等の利用が考えられる。ただし、Z 80 のような8ビットのCPUでは大量のメモリや演算処理を必要とする画像処理は、相当の処理時間を要する。画像処理を行う場合は16ビット以上のCPUを用いる必要がある。

5. 走行性能の検討

1) 条間走行

作物列に沿って条間を走行する場合、作物検出時の走行方向制御性能は走行性、作物損傷防止に影響する。走行方向の制御角度が大きい場合は蛇行を繰り返す、小さい場合は作物を踏み倒し損傷を与える。操向時の左右車輪速度比を1:0~1:0.75の4段階に設定し、図7に示すS字コースを走行させ軌跡を調査した。試験の結果、車輪速度比1:0.5の場合がこのS字コースへの追従が良く、蛇行も少ないため、ほ場での走行性も良好と推察された。

2) 枕地旋回方法

枕地旋回方法は、初期設定で条間の走行に要する時間を入力しておき、条間走行時間を経過し、作物検出センサ（超音波式近接スイッチ、マイクロスイッチ）からの入力がない状態が一定時間（10秒に設定）継続すると枕地と判断する。条間走行時間を入力するのは途中の連続欠株を枕地と誤認することを防止するためである。枕地に出ると機体を超信地旋回させながら磁気方位センサの出力を検出し、機体が90度回転したときに停止し、次に作物条方向と垂

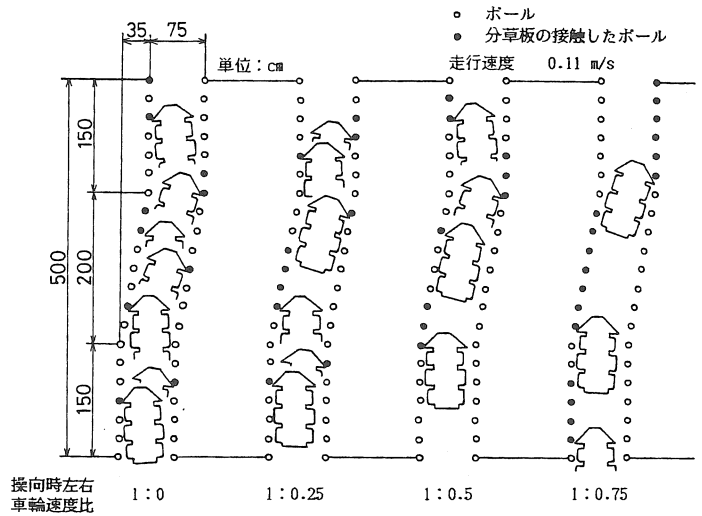


図7 S字コース走行試験結果

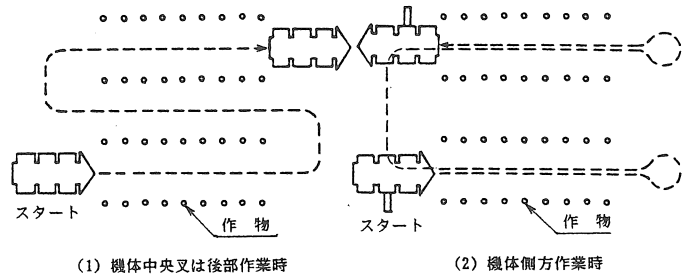


図8 自動走行管理機の走行方式

直な方向に直進し、さらに機体を回転させながら磁気方位センサの出力を検出し、90度回転したとき停止する。このとき機体の施回は完了する。

3) 機体中央・後部作業及び機体側方作業のための走行方式

除草作業や作物条間への薬剤散布のような作業では、管理機は各条間毎に作業を行う。一方、機体側方片側のみ作業を行う場合は、最初1列目の作物列に対して作業を行い、枕地でUターンして、1行程目と同じ条間を逆方向に走行し、2列目の作物列に対して作業を行う。次に3列目の作物列に対して作業を行うために条間を一列抜かして3列目の条間に進行する。2種類の

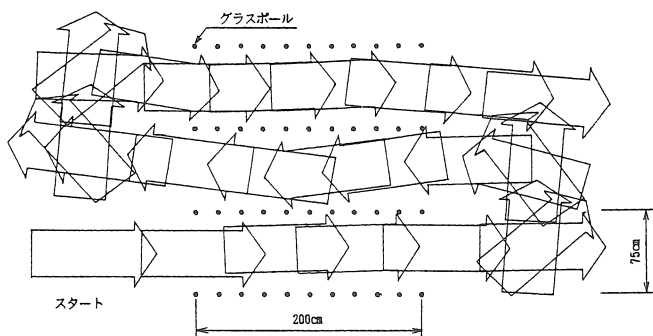


図9 自動走行管理機の走行軌跡の一例

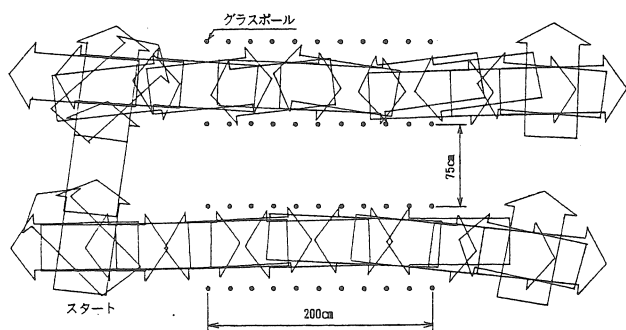


図10 自動走行管理機の走行軌跡の一例

走行パターンを行うためのプログラムを作成し(図8), 走行性能を確認するために, グラスボールを並べたコースを走行させ, それぞれの軌跡を調査した(図9, 10)。いずれも, 良好な旋回制御性能が得られた。

6. おわりに

作物条間を自動走行し管理作業を行うための小型管理機の開発を例として, 制御プログラムの作成, センサの性能調査, 走行性能の確認の順に開発環境, 開発手順の概略を紹介した。

コンピュータを使用した自動制御装置の開発にはソフト開発用ツール等の開発支援装置を必要とするため, 初期投資が高価となるが, 開発環境が整えば, プログラムの改良, 変更に対して容易に対応が可能となる。また, 別の自動制御装置を開発するにあたって, 同じCPUを用いれば開発支援装置を兼用することが可能と

なる。

最後に, 今日のコンピュータテクノロジーやその応用技術としての自動制御装置の開発速度は以前とは較べものにならないほど急速になっており, 世はまさに開発競争の時代である。今後はより早く効率的な開発が必要とされるであろう。皆様の研究の一助となれば幸いです。

参考文献

- 1) 額田忠之: ROM化プログラムの開発技法, CQ出版社マイコンピュータ24, P12~71, 1987。
- 2) 小林 享他: 桑園用管理機の自動走行, 農機誌48-1, P91~94, 1986。
- 3) 大下泰生他: 自動走行管理機の開発(第1報), 農機東北支報34, P31~36, 1987。
- 4) 平田 晃他: 自律走行システムの研究, 第47回農機講要, P121, 1988。
- 5) 松尾陽介他: 自律走行システムの研究, 第47回農機講要, P122, 1988。
- 6) 行本 修他: 自律走行システムの研究, 第47回農機講要, P123, 1988。

現場との接点から

—ハイテク利用についての要望—

渡辺 千春*

1. 農業機械のハイテク利用への期待

ハイテク利用の農業機械に、農業者が期待することは以下のように考えられる。

- ①省力化
- ②能率の向上
- ③品質の向上
- ④作業の安全・快適

省力化は、作業が自動化されることにより、それまで人間が行っていた作業を機械が代替して行うことである。

能率の向上は、単位時間当りの作業量が増加することであり、作業規模の拡大につながる。

品質の向上は、人間の経験と判断に委ねられ熟練を要した作業を、機械が代行することにより、作物の生育に最も適した（適すと考えられる）環境をつくり、高品質の収穫物（商品）を得ることである。調整・選別でも同様である。

作業の安全・快適は、各種安全装置を機械に装備することとリモートコントロールあるいはロボット化等により、人間が安全な場所にいながらにして農作業を行えることである。

2. ハイテク利用の農業機械に最も要求するのはどの部分か

ハイテク利用の効果を前述の4点としたとき、農家がハイテクを利用した農業機械に最も要求するのは、一連の作業体系の中で作業規模を規定している作業の能率の向上と、作業者が危険にさらされる作業からの解放であろうと考えられる。また、当然ながらコストの低減につながるものが要求される。

機械に自動化の機能をつけてもそのことにより機械が高価なものとなり生産費が上昇するのであれば、現場においては余り意味のあることとはいえない。もちろん作業者の安全を確保するために、多少のコスト上昇は受け入れられるであろう。

また、単に機械の仕様に合わせた栽培をするのではなく、農家個々が組み立てた栽培条件に適應できるフレキシブルな農業機械が求められる。

3. ハイテク利用機械による経営規模拡大の障害の解決

水田作において、規模拡大の障害となる作業は、春作業においては代かきと移植である。移植ではロータリ田植機が開発されたが、その作業能率はクランク式の田植機に比較して1.2~1.5倍程度であり、現行の栽培体系では規模拡大には限界がある。そこで、直播栽培の確立が望まれるが、直播栽培では耕起・砕土作業において砕土率と均平精度のコントロールが要求される。ハイテクを利用することにより、これらを作業者が自由にコントロールすることが可能になることが求められる。

畑作では、作業が天気に大きく左右されることが最も大きな問題である。特に南東北では、麦の収穫が梅雨に遭遇するために、作業日数が著しく少なく、このため規模拡大が不可能となっている。また、収穫が適期から遅れることにより、品質低下の大きな原因ともなっている。これらのことから、濡れたままでも収穫できる

* 福島県農業試験場

収穫機の開発は、麦作農家にとっては是非実現して欲しいもののひとつである。また、麦類に限らず収穫適期を逃がしたために、品質を低下させている例も多い。このため、誰でも収穫適期を的確に把握できる、収穫適期判定機の開発も必要と考えられる。乾燥機の汎用化も期待が大きい。作物に最も適した乾燥法を農家が自由に選択でき、能率の高い汎用乾燥機の要望は多い。

水田作や畑作では対象が作物の集団であるのに対し、野菜作では個体を対象とする場合が多い。このため作業者が個体をひとつひとつ観察し、個体毎の熟度、生育量を判定して作業することが要求される。特に、収穫作業に大きな労働力を必要とするため、これが、規模拡大の大きな障害となっている。野菜作では、人間が知覚し判断して行っている収穫作業を代行する収

穫ロボットの開発が求められている。選別・調製も収穫と同様に、人間の知覚・判断を代替する機械が必要である。

4. ハイテクを利用した機械は誰が使うのか

これまで述べてきたことは、規模拡大を指向する農家が求めるハイテク利用の農業機械である。ハイテク利用の農業機械のユーザー層をどこに置くかにより、農業機械が具備すべき条件が変わる。

将来においては規模拡大を指向する農家と規模縮小に向かう農家に二極分化するものと考えられる。また、都市勤労者層が行うホビー農業も増加するであろう。これらの層が最も要求するのは、未熟練でも一定レベル以上の作業精度と能率を確保でき、かつ安全で汎用性の高い機械であろう。

共立ロボットスプレーカー開発経緯について

(株)共立 技術本部 商品開発部 宮下 進

1. はじめに

一般産業機械のメカトロニクス化、ロボット化の進歩が著しい今日、その対応方が遅々としている第一次産業の中で「農業機械のハイテク化」が叫ばれて久しい。

一方では日本農業全体をとりまく環境は厳しい情勢下であり、明日への展望も霧の中にある現状下、その農業機械を製造する一企業の商品開発を担当する現場から「夢」と「現実」の狭間でジレンマと戦い、悪戦苦闘している現状を今回発売した共立ロボットスプレーカーの開発経緯として報告し、本日のテーマの参考に供し

たい。

2. 開発のねらい

日本農業は今、水田農業の体質強化(規模拡大)対策と表裏に米の需要均衡対策と混迷の中にあり、施設園芸への指向が高まり、この数年急速にその作付面積が拡大傾向にある。その栽培作物も、野菜、果樹、花き等、多岐にわたっているが、いずれにしても日本の多湿な気候条件と共にハウス内の高温多湿な悪環境下の中で病虫害の発生は露地作物の比ではなく、その管理作業の中で防除作業の占めるウエイトは高

く、ハウス内の防除システムの開発は今迄幾多の方法、機械が発表され発売されてきた。

当社としても常温煙霧器をはじめとして数多くの防除機を開発し、生産販売を行ってきましたが、実際は今でもハウス内の防除の主流は依然として慣行濃度での散布ホースを引き廻す人力散布である。人力散布防除には人体の農薬被曝はさけられず、「ハウス病」と呼ばれる職業病の報告が各地から聞かれたしている。

この現実を直視したとき、無人防除システムの開発を模索し、そのロボット化を指向し、研究開発に着手した。

3. 試作・実験経過

防除車のロボット化は若い技術陣にとっては仕事としても興味あるテーマで、本日のテーマでもある「農業機械のハイテク化」指向の各種センサーの採用、さてはマイコン搭載まで持てるハイテク産業の情報のあたかもはげ口の如く、試作一号機に集積され、ロボットと呼ばれるにふさわしい技術内容とその汎用性は満足出来る結果を得、実用実験へと移行された。しかし、農業機械の難しさは土に接触する箇所であり、畝間走行の足廻りに実用実験は終始した。この間自動走行についてもステアリング機構の採用とその制御方法の検討、畝間回行時の自動化対応とそのロボット化とボルテージは上昇するばかりである。一時の冷却期間を求め、初歩的に走行部のテスト機を試作し、畦間走行の基本を実地で実験を重ねることとし、若手設計陣も実験に立ち合わせ、原点に戻る試行錯誤を繰り返した。

4. 商品化と内部調整——「コスト」と「ハイテク」のジレンマ——

「低コスト農業」が叫ばれて久しいが、一方

でハイテク利用の高性能農機の要望の声も強い。

この狭間に企業ベースでの商品としての開発が揺れ動くわけで、その担当者としては営業部門、生産部門との調整が大きな仕事となる。別けてもこのロボットスプレーカーについてはハイテク指向する技術陣との調整というより難しい問題が生じた。

日本の農業機械は稲作関連機種を除くと少量多機種生産の宿命を背負っている。マスプロメリットの追及する他産業と一番異にする要点でもあるわけで、この条件の下で許容されるコストの中でどこまでハイテク技術が採用されるのか！ 一段と厳しい原価計算が繰り返され、最終生産見本機の試作機は無残にも「ロボット」と呼称されるにはしのびない形で若い技術陣の怒りの『まなざし』にさらされた。

5. 最終製品の仕様と特長

- (a) 本体関連の特長
 - (1) 独自開発のステアリング機構無しのオートパイロット機構採用で、5 cm以上の畝溝があれば曲がった畝溝でも追従走行します。
 - (2) バンパーにオートリターンスイッチが内蔵されており、圃場先端に設置したクイに接触すると後進に変わり、自動往復散布が出来ます。
 - (3) 確実に信頼性の高いホース巻取機構はトルクリミッターとワンウェイクラッチの組み合わせで緩みや絡み付きがなく、トラバースとホース押えクッションローラーの働きで自動並列巻取とし、走行スピードに合わせた適切なホース巻取が出来ます。
 - (4) フルカバーのコンパクト設計で繁殖した作物間にも作物を傷めずスムーズに走行し、低重心設計で安定した走行性能を発揮します。
 - (5) 24 Vの大形バッテリーを搭載し、騒音や排

気ガスなどが無いDCモーター駆動です。バッテリーは1回の充電で5時間の連続作業ができます。

(6) オートバランス方式で常に均等な散布が出来ます。地面の凸凹に左右されず常に垂直にノズルを保持し、安定した散布を可能にしました。

(b) システム関連の特長

(1) 手動式

畝間の防除は完全自動往復走行、枕地の狭いハウスなど自動搬送の出来ない圃場や自動システムへのワンステップとしてご利用ください。

次年度の作付時、枕地を広くとっていただくとおブションの全自動システム用センサーを本体に装着して、グレードアップ出来ます。

(2) 半自動システム

ゴムタイヤ付き搬送装置を組み合わせたシステムで次の畝に移動もラクラクで、手動搬送装置ですので圃場状況に合わせて自由に対応出来ます。

(3) 全自動システム

枕地に簡単なレールを設置するだけで作業

システムは完全自動化、搬送装置はロボットスプレーカーの動力をそのまま利用する無動力方式で農薬被曝の全く心配のない安全な無人防除を実現しました。

6. まとめ

ともあれ、コンピュータ付の人間の手を離れ無人走行する農機具として初めて量販されたもので、ハイテク機能の削除により、より一層の諸々の機能、部材に相当の実験を重ね『ロボット』と冠するにはうしろめたい気もするわけですが、幾多の実験と試作の結晶として無人走行防除車の量産にたどりついたことには、『ロボット』と呼称することを許していただけるのでは、と多少なりとも自負するところであります。

以上のように「農業機械のハイテク利用」と題する本会のシンポジウムの話題としては心苦しい現場からの報告となりましたが、今後とも、より現実に立脚した農業機械の商品開発を念ずる者として、「コスト」と「ハイテク化」のジレンマに苦しみながらも、新技術へ果敢に取り組んで行くことを約束しまして報告のまとめと致します。

表1 仕様(本体)

型 式		ASC-61M	ASC-101M
寸法:長さ×幅×高さ(mm)		1240×430×750	1290×430×835
重 量(kg)		79(バッテリーを除く)	98(バッテリーを除く)
走 行 部	形 式	常時フロントドライブ走行	
	タ イ ヤ 走行速度(m/sec)	3.50-4	3.50-4
バ ッ テ リ ー		12V×28AH×2	
ホ ー ス	内径×長さ(φ×m)	8.5×60	8.5×100
	巻 取 方 式	トラバースカム自動並列巻	
散 布	散布圧力(kgf/cm ²)	15~30	
	散 布 量(ℓ/10a)	150~500	
ノ ズ ル	型 式	両側噴霧8頭口(新広角ノズル)	
	吐 出 量	1コ当り0.8ℓ/ 20kgf・min	1コ当り0.8ℓ/ 15kgf・min

東北地域における農業機械化研究の歩み 一第 10 回一

東北地域における農業機械化研究の過去・現在・未来を記すこの企画も、本号で10回を数えるに至った。そこで今回は、今までにはほとんど登場していなかった県試験場のうち、福島・山形・秋田の各試験場をお願いした。来年度は青森県・岩手県・宮城県に登場願う予定です。

福島県における農業機械化研究の歩み

福島県における農業機械の研究は大正14年から始まる。当初は種芸部の農機具係が担当し、奨励農機具の検定を主業務とした。その後、第二次大戦で農機具資材の不足をきたし、農機具製造も制約をうけ、検定も一時中止するに至った。しかし、戦後は食糧の増産と平和産業の復興が著しく、農機具の製造・開発が盛況となり、新農機具の検定のほか、その利用試験が重要視されるようになり、昭和23年に農機具部が設置された。以降、実験室(昭24)、研究室と農機具陳列館(昭26)、試作修理工場(昭28)などの施設が整備・充実された。

農機具研究は昭和33年に経営部に統合され、経営的技術研究が進められるようになってきた。

昭和40年には経営部から種芸部に移管されて今日に至っている。農業機械の研究過程と内容について述べると次のようである。

1. 大正14年～昭和20年の研究

県奨励農機具検定試験業務が主となり、供試された機種42(粃すり機、脱穀機、精米機、犁、水田中耕除草機、わら加工用機など)のうち、延388台を奨励農機具に選定した。

2. 昭和21年～昭和30年の研究

第2次大戦中から昭和24年までは研究が中断され、本格的に研究が再開されたのがそれ以降である。この期間も奨励農機具検定試験が主流となり、7年間で32機種が供試されている。最も供試頻度の高いのは脱穀機と粃すり機で、

これは前の時代からの継続であるが、特徴的なことは畜力用の機械検定が多くなってきた(カルチベータ、プラウ、犁、デスクハロー、麦踏ローラ、カッタ、粉碎機、砕土機など)。

この他、小型空冷エンジンと散粉機、噴霧機が持ち込まれるようになり、以前の定置作業の機械時代から移動を伴う機械化研究に踏み出した。

3. 昭和31年～40年の研究

奨励農機具検定試験は耕うん機、施肥播種機、乗用トラクタ、広幅薬剤散布機など合わせて73種について検定したが、機械が高性能で大型となり機構が複雑であることから、従来の設備では検定が困難になったため、昭和40年を最後に中止し、その後は国営検査の成績を参照するようになった。

一方、機械化作業技術研究については、大型バインダー、コンバイン、動力刈取機(刈倒し)の実用化試験(現地も含め)を実施し、10a当り1.9～2.1時間を要する結果を得た(動力刈取機：36年)。また、輸入コンバインの能率は13a/hの能率で排稈結束率92%の結果が報告されている。耕耘整地試験では、ポットムプラウの中高解消技術を実施し実用性の高い成果が得られた。その他、農水省と連絡試験も数多く、水田・畑地の作業体系確立試験が高い評価を得たなどが、この時代である。

4. 昭和41年～50年の研究

この時代の前期は田植機、コンバイン（自脱型）が農家に導入されるようになった時代であり試験の内容もこれらの機械の利用技術が主体となる。

田植機の普及に伴ない試験課題も田植機に適合した育苗試験を始め、移植時の圃場条件把握など中心に研究された。稚苗田植が本格的になった40年後半には、共同育苗施設の動きが活発となり、その対応技術試験が行なわれた。

収穫作業試験は自脱型コンバインによる水稻の収穫で主に能率と精度の検討、さらに作物条件と作業性能を把握している。麦類の収穫（ビール麦も含む）もこの時代に検討している。

乾燥関係については、水稻、麦類、大豆（茎葉付）牧草の火力乾燥と品質について検討した。自然乾燥では水稻、大豆、そばの乾燥法と品質について試験を実施している。

40年前半には、大区画田の作業技術組立て試験を実施している。大型トラクタを主体とした作業組立てが主で、総作業時間75.4時/hで作業を完了している。

その他、加工トマトの収穫機の開発及び自脱型コンバイン排わら収集機の開発もこの時代で全国的に注目をあびている。

5. 昭和51年～近年

50年前期の主要研究は採種（水稻、麦類）の機械化が主で、東北でいち早く機械採種を普及に移したのが本県である。コンバインの扱回回転数と種子の損傷発生の解明、作物の熟度と作業機の対応技術などを明らかにした。乾燥については、乾減水（送風湿）と発芽苗立ちの関係を明らかにし、適正な湿度（送風）条件を把握した。また、麦類の発芽力を検定するための休眠打破法についても薬品処理により可能であることを確立した。

50年中期は転換畑作物（大豆が主）の機械化体系を検討した。大豆の機械移植（ペーパーポット使用）については移植後の降雨がないと枯死株発生が多くなる。刈取はビーンハーベスタの利用法について検討し畦条件で性能が変わることを把握した。大豆の選粒については時間当たり、300 kg/h前後の能率であることを確認した。

50年後期になると、農機具研究室の試験内容は、栽培の比重を重く、作業技術的面をやや軽くする内容の課題設定とした。施肥田植機の出現と同時に、この田植機を使った稲作りの試験を実施する一方、直播栽培技術の確立も担当し現在も継続している。

国の助成試験であった地域低コスト稲作技術の確立試験（59～62）は、農機具研究室が福島県の主査となり、水稻、小麦の一年2作体系を確立するため、無代かき水稻移植法、稲収穫麦同時播種機の開発などの成果をあげ、作業時間の大幅な低減技術を確立した。

その他近年に至っては、麦後大豆作の省力的栽培技術の確立試験として、麦を収穫（コンバイン）と同時に大豆播種（不耕起）機を開発し、現在メーカーで製造段階にある。

ハトムギについても移植から乾燥（火力）まで一貫した技術体系を検討し、平成元年度で確立の見通しがついた。

以上、主たる研究内容の歩みについて述べたが、福島県の農業機械研究体制は、42年まで5人体制であったが、現在は4人体制である。研究内容は今後も栽培を重視した作業技術の対応で頑張りたい。

（福島県農業試験場 富 樫 伸 夫）

山形県立農業試験場機械土木部

1. 山形農試の沿革

県立農業試験場は、明治29年（1896年）9月山形県立農事試験場として（旧東村山郡出羽村漆山）山形市漆山に創設された。その後明治42年山形市三日町に移転、昭和25年山形県立農業試験場と改称、昭和57年農業試験場の整備拡充により、山形市みのりが丘に移転し現在に至っている。

現在の組織は、企画調整室、総務課、生物情報工学部、稲作部、畑作営農部、病理昆虫部、化学部、経営部、機械土木部、1室、1課、7部で構成されている。

2. 昭和20年代（戦後混乱期～復興期）

本県の機械研究の出発は、昭和26年農林省農事試験場において、農林省主催で農業機械研究者研修を受けた者が、農業機械研究の先駆者となり、これらの人々が農業機械の源流となった。機械研究は、このほかに、山形大学農学部附属した県立農機具研究所（昭和25～37年）の果たした役割が大きい。同研究所は県立でありながら、山大農学部長が所長を兼ね、専門教授及び県職員3～4名の陣容で機械の開発、検査、基礎研究を行った。昭和37年に農業試験場に移管され、庄内支場にあつて、その業務を引き続き現在に至っている。

昭和20年代後半は、水田の耕起、代かき、および裏作の耕起、砕土などの作業が畜力から動力耕うん機へ切替る時期であった。また畑作では、カルチベータの利用方法確立に留意された。しかしながら、終戦直後でもあり、農業機械研究に必要な計測機器が殆んどなく、古色蒼然たる機器を修理しながら間に合わせた時代でもあった。当時は、農機具の利用が作物に如何なる影響を与えるかに絞られ、又肥料資源不足のた

め、春季乾土効果を無視するような農機具利用の研究結果は受け入れられなかった。

3. 昭和30年代（農業基本法）

耕うん、代掻作業技術は、小型トラクターを用いた実験が進められ、畜力の代替として、充分可能であることが明らかにされた。特に深耕に関しては、クランク型、スクリュウ型各型式によって実験された。

昭和37年国産普通型コンバインの現地適応性試験として、庄内において「水田作機械化一貫作業実験集落」の中でとり上げられた。翌38年同時に国産および輸入のライスコンバインを一堂に集め、刈取試験を行い、全国各地から関係者が多数集まって検討会がもたれ、普通型コンバインに対する理解を深めた。その後も普通型コンバインについては、本場、庄内とも性能および作業法の試験を続けた。しかし、試験結果はいずれも穀粒損失が約8～9%と従来の収穫法に比し高く、また穀粒損傷、稲の踏み倒し、ほ場の地耐力と機械の走行不良等の点から、一般への普及は困難であった。

4. 昭和40年代（高度経済成長、総合農政）

日本経済が高度経済成長に移行するとともに、資材も豊かになる一方、農村の労働力が減少し、労働手段の変革が要求されるようになった。この時代の中心は、田植機の実用化研究である。これまでのテイヤ、アタッチ型から専用動力を有するフロート型になり、育苗技術の開発にも力が注がれた。

40年代後半は、田植機の定着と高性能防除機、自脱型コンバイン、テンパリング方式の開発により機械化一貫体系が確立するまでに至った。特にこの時期は開発研究が進展し、田植機については、複合作業田植機（田植作業同時除

草剤、防除薬剤、肥料など散布するもの)、田植マットの開発がある。更に乾田直播用のカゴロータリシダ、細粒施肥の高能率100 mパイプ散粒機の開発など、全国的に注目される研究が実施された。

畑作物については、べにばな、ホップの花つみ機、ホップの乾燥機などの実用化研究がなされた。果樹についても、傾斜ブドウ園におけるモノレール利用微量散布機による(10 a 当たり10 l)散布技術の開発および、アウトウ園における防霜機の開発など注目されるもの多く出ている。

5. 昭和50年代(水田利用再編)

乗用田植機が実用化時代に入り、これらの作業精度を確めるなど、田植作業の省力化が一層進んだ、更に作溝機の試作改良は、地表水が排除され、地耐力が向上し、自脱コンバインの運行が容易となり、良質米の安定生産に欠くことのできない技術となった。そのほか、水稻揺動型選別刎摺機、刎がらの機械処理などの研究が実施された。畑作物については、ニンニクの収穫機、大豆脱粒機、そばの常温通風乾燥など水田転作に関連した研究が行われた。

50年代後半は、側条施肥田植機の性能や、駆動型ディスクハローによる深耕、産米の品質向上をはかるための過乾燥防止技術を確立した。一方畑作物では、大豆、小麦収穫省力機械化技術にとりくんだ。

昭和57年には、農業試験場の整備拡充により、現在地「山形市みのりが丘」に移転し、同時に組織機構を改め、機械土木部が新設(経営部から独立)され、従来の農業機械研究のほかに、農業土木の研究もとりくむことになった。

農業土木では、暗渠排水の経年変化の推移や、転作後再び水田に還元した場合、代かき用水量の把握や、土壌透水性等、水機能に関連した研

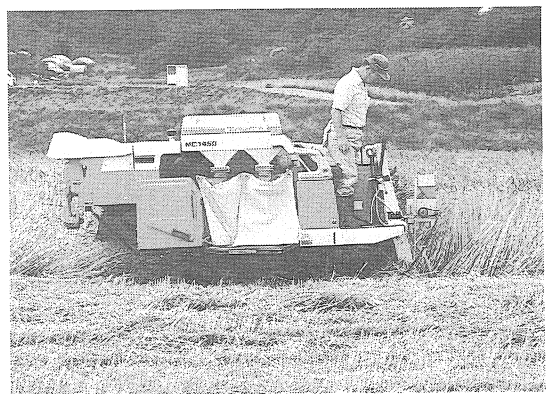
究を行なった。

6. 昭和60～現在(水田農業確立)

成苗は種機の実用化研究が実施され、健苗育成技術が一段と向上した。63年高速田植機が出現し、これらの作業精度、作業能率を実施した結果、従来の田植機より1.5倍の速さで植付けが可能で実用性が高かった。一方良質米品質向上の面から、高水分もみ2段乾燥技術の確立は、燃料費の節減と、食味の向上に大きく寄与した。畑作物については、高水分大豆の乾燥法、大豆のコンバイン収穫、りんご簡易収穫作業台の開発などが行われ、その成果が高く評価されている。農業土木では、暗渠排水疎水材もみがら更新技術にとりくみ、もみがらの分解度を簡易に判別する技術を明らかにした。

なお、現在は、水田高度輪作方式の確立として、汎用コンバインによる収穫技術、複合作業機による作物切替作業技術、大豆、小麦・大豆2年3作水稻輪作方式の現地実証、大豆の不耕起栽培法、水田の高度利用をはかるため、輪換田用水管理技術の解明、暗渠排水疎水材もみがらの更新技術の確立、更に、農用地開発における小きょう木のチップ化などにとりくんでいる。

(山形農試機械土木部 板垣善之助)



大豆不耕起栽培法(小麦刈取り同時大豆は種山形農試)

秋 田 県 農 業 試 験 場

1. 秋田県農試の沿革

秋田県農業試験場は明治24年に、秋田市上中城町（現在地千秋久保田町，前県立中央病院敷地）に秋田県農事試験場として設立されたのが創設とされている。その後，明治29年には当時の河辺郡牛島町字開に移転し，大正4年には南秋田郡寺内村八橋に移転，同13年旭川村字泉に移転し，昭和28年農事試験場を農業試験場に改称して，昭和39年秋田市仁井田字小中島に移転して現在に至っている。

現在の組織は，研究：4部12科，事務：1部2課4係，1科で構成され，機械作業技術研究は機械科が担当し，経営科とともに経営部に所属している。

2. 農業機械，農作業研究の変遷

本県における農試の試験研究は，農家の先駆的役割を担って，一貫して食糧の安定供給と農家の所得の向上の観点から研究を続けてきている。農業機械，農作業研究は，機械の開発，改良よりも開発された機械，器具の性能把握と機械の利用研究を主体とした研究が多く，大正13年畜力除草機の試作改良を行なった農機具試験が農作業試験研究の始まりとみられている。以降の66年間を前，中，後期に分けて，本県の農業機械化研究の歩みについて紹介する。

1) 前期（～昭和20年まで）

大正年代の農作業研究は前記畜力除草機のほか，人力用水田中耕除草機がとりあげられ，その後昭和10年頃までは，主として脱穀機，糶摺機および搗精などの調製加工機械の性能試験が実施されている。また，昭和10～11年には農林省の委託試験で簡易火力乾燥室による穀物乾燥に関する試験が行なわれ，同時に水稻の屋外乾燥法の試験を実施し，水分の変化や胴割れ

の発生等の調査を行なっている。

その後，昭和15～16年には動力耕耘機（クランク型，ロータリ型）と犁耕との比較試験が行なわれた。さらに，第2次大戦当時の労力不足のため，作業の能率化に関する試験が行なわれ，畜力除草の試験の再開や，人力用12尺噴管付の噴霧機（水田樋付）が普通水田用樽付噴霧機に比し約3倍の能率があったなどの試験結果がみられている。

2) 中期（昭和20～40年）

戦後の労力不足と食糧難から，やや立直りのみられた昭和24～25年からは，動力耕耘機の利用を中心とした試験が行なわれた。これらは，近代的動力機械化の端緒であり，昭和30年前後から爆発的な普及をみた歩行用トラクタ利用の指針となった。

昭和33年からは，10PS級乗用トラクタによる深耕試験，同37～38年には17PS級乗用トラクタ，30～40PS級乗用トラクタによる水田区画と整地法および乗用トラクタと歩行トラクタの組合せ利用法等についての試験を行なっている。

昭和30年代の神武景気といわれた日本経済の高度成長はさらに，昭和40年代の岩戸景気と続く中で，農業労働力の他産業流出を招き，農業の兼業化が急速に進んだことと相俟って，農業機械への依存度が高まり，機械の開発を急テンポに進展させた。その結果，これまで機械化が困難とされていた田植，収穫作業も，先ず，昭和38年頃から輸入の普通型コンバインによる水稻収穫性能と収穫法についての研究が開始され，続いて同40年には，稚苗および根洗い苗用田植機の性能試験から，田植への機械化への研究が始まった。

3) 後期（昭和40年～現在）

昭和40年代に入り、稚苗帯苗、ひも苗、ばらまきマット苗用田植機と水稲収穫用バインダー、自脱型コンバインが相次いで開発された。これら新型機の性能把握、性能向上と育苗等の田植機利用技術およびコンバイン収穫にともなう生籾用の乾燥機、乾燥方式等の実用化研究が主要研究課題となった。昭和43～45年には、全国的に実施された特別研究「構造改善推進のための農業機械化技術の緊急開発に関する研究」に参加し、田植機、収穫機を中心とした稲作における機械化一貫作業が出来るようになり、機械化技術体系の実用化の見通しが得られた。

同時に、昭和44～46年には収穫、乾燥、貯蔵による米の品質、食味の維持向上、昭和45～47年水稲機械化移植における安定生産技術、昭和48～50年水稲成苗機械移植栽培法等の総合助成課題研究によって、機械化体系をより一層安定化させるための研究を続け、水稲作において機械、作業面から、土地生産性、労働生産性の向上に大きく貢献できた。

稲作の機械化一貫体系が可能となった昭和46年頃から、米の生産過剰が表面化し、一転して米の生産調整の必要に迫られた。水稲が基幹である本県農業の水田転作作目として、大豆作をとりあげて機械化研究の取り組みを開始し、昭和47～49年稲作転換に伴う作物導入、昭和53年以降も機械作業面から大豆の機械収穫、乾燥、脱穀調製に研究を進めた。当初は、漸定的に稲用機械の大豆作への汎用利用の検討を続けたが、作業精度が不十分で刈取機、脱穀機、乾燥法と大豆専用機利用の方向に研究の視点が変った。

昭和50年代に入り、これまでの稲作における機械化の急速な進展が、機械の過剰投資や生産コストが問題となり、機械の適正装備、利用

効率の向上が強く求められるようになった。その対応として、稲作の基本条件強化技術で乾田直播機械化栽培技術体系による低コスト化、高生産技術研究、稲わらの有効利用でコンバイン収穫排わらの堆肥化技術および稲わらすき込み機械化技術の体系化実証を試みた。また、昭和55～57年地域農業複合化技術開発研究では、畜試との共同研究で、コンバイン排わらの収集、乾燥法による飼料化を前提とした稲わらの有効利用を図った。

昭和55年以降、米の生産調整がさらに強化され、水田転作が恒常的に続く見通しとなったことに伴い、田畑転換を安定的に定着させるため、圃場の簡易排水のための機械化技術研究で水田機能を保持しながら転換畑作目を容易に作付け出来る機械化簡易土壌基盤管理法について検討した。昭和56～60年大豆機械播種精度と生育収量、収穫、脱穀過程の組合せ作業法、昭和57～60年大豆、麦を水稲と組合せた2年3作体系についても検討を続けた。また、水稲作では、昭和59年以降、地域低コスト稲作技術体系、不良天候下における高水分穀豆類の収穫乾燥機械化技術等の諸研究課題によって、無代かき整地移植作業法、太陽熱利用による籾乾燥法、籾穀燃焼を主とした籾乾燥法等の省エネルギー技術の開発や、高水分籾の効率的乾燥法等について、各研究課題を相互に関連させながら、東北、日本海側地域における農業経営を安定させるために、機械、作業合理化の研究を続けている。

（伊 藤 俊 一）