

く設定した試験番号1では深切りが50.7%と多く発生し、試験番号2(H = 6 mm、W = 28mm)では深切りが14.3%と少なかった。

試験番号2、3から搬送速度比についてみると、1.13とした試験番号3では斜め切りの割合が37.8%であり、搬送速度比1とした試験番号2の41.3%に比べやや減少した。

試験番号3(錦秋)、4(王将)、5(無双)から品種間の相違についてみると、3品種の切断精度が大きく異なり、結球質量の大きい王将(試験番号4)が深切り割合が5.2%と少なく、最も良好な結果を得た。

以上のことから、トラクタ直装用収穫機は搬送速度比を1.13とすることにより斜め切りの割合を減少させることができたが、切断刃の高さの設定や品種の差により切断精度が大きく異なることが明らかになった。品種による切断精度の差は、外葉の枚数と厚さの違いによるものと考えられる。

なお、リミットスイッチとカムによる収穫部の高さ調節は微調節が困難であった。また、挟持ベルトがハクサイの結球部を挟み始める段階で前方に押し倒したり、根茎部がスクリュオーガ溝の入口部で停滞することが観察され、これらについて再検討する

必要を認めた。

### (3) 圃場試験結果を踏まえての改良

スクリュオーガで根茎部を円滑に挟み込むためには、スクリュオーガのピッチを小さくすることが有効である。しかし、必要とする搬送速度を得るためにスクリュオーガの回転速度を速くすると、搬送中に結球底面に与える損傷が大きくなることが懸念される。そこで、ピッチ100mm及び70mmの2条溝スクリュオーガを試作することによって、螺旋溝への入口を1回転当たり2ヵ所設け、1条溝に比べ同一ピッチでもより円滑に挟み込まれるよう改良した。

写真28に試作した1条溝(ピッチ100mm)と2条溝(ピッチ100mm、70mm)のスクリュオーガの概観を示す。

## 2. 現地試験(茨城県八千代町)

### (1) 試験方法

圃場試験はハクサイの主産地である茨城県結城郡八千代町の農業者の圃場(黒ボク土)で行い、2条溝スクリュオーガを組み込んで、切断刃の高さと搬送速度比を変えた場合の切断精度を調査した。

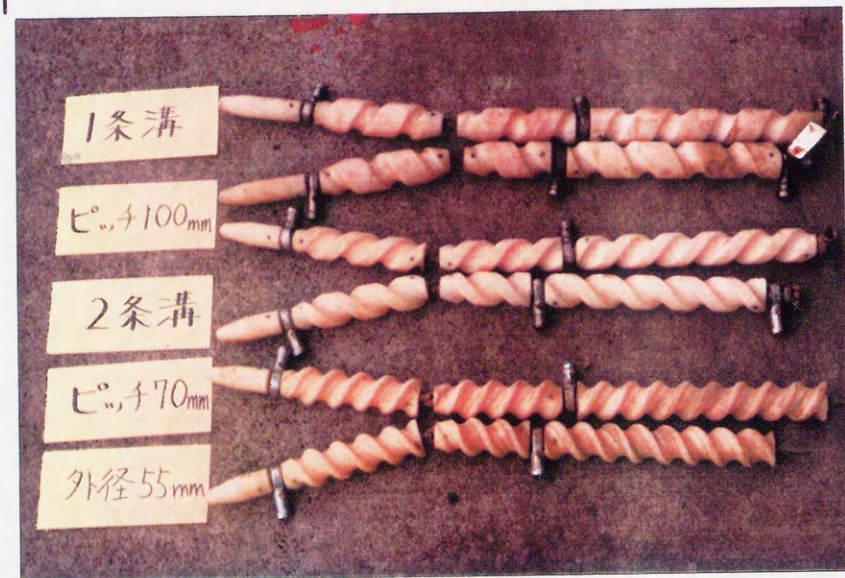


写真28 1条溝スクリュオーガ及び2条溝スクリュオーガの概観

予備試験において、2条溝スクリュオーガの搬送速度を走行速度に合わせるようにスクリュオーガの回転速度を設定して収穫を行った結果、70mmピッチのスクリュオーガは回転速度が速すぎるため、引き抜く際にハクサイの株底部に損傷を与えていることが観察された。そこで、その後の試験では100mmピッチの2条溝スクリュオーガを供試した。

試験条件を表19に示す。

なお、挟持ベルト及びスクリュオーガの搬送速度は、走行速度に一致するよう油圧流量調節弁を調節して

表19 現地試験条件(八千代町)

試験 番号	供試 個数	刃の* 高さ mm	搬送 速度比**	供試品種:サクミドリ 結球質量:2.7±0.5kg 引抜き力:104±23N
1	39	17	1.08	スクリュオーガ:2条溝、 ピッチ100mm
2	49	19	〃	
3	22	19	1.17	
4	40	22	1.08	

\*スクリュオーガの山部から切断刃までの距離

\*\*スクリュオーガ搬送速度の挟持ベルト搬送速度に対する比

行った。

作業精度は、収穫後の結球について切断状態を5段階に分類して調査した。また、熟練した農業者に判定を依頼して、調製状況(切断位置の判定)と出荷の可否を調査した。なお、深切りした結球については目標とする切断位置より切り過ぎた結球葉の枚数を結球葉損失として調査した。

## (2) 圃場試験結果及び考察

切断状態と結球葉損失の調査結果を表20及び図24に示す。

切断刃の高さ(H)が切断状態に及ぼす影響は大きく、Hを17mmとした試験番号1の深切り割合が37%

表20 現地試験結果(八千代町)

試験番号	切断状態 (%)					損失無し	結球葉損失割合 (%)				
	平行適切り	平行浅切り	斜め浅切り	平行深切り	斜め深切り		1枚	2枚	3枚	4枚	5枚以上
1	20	16	28	7	30	62	21	7	9	0	1
2	3	4	16	16	61	10	25	18	25	8	14
3	0	14	9	9	68	9	23	23	18	14	14
4	0	3	11	26	60	-	-	-	-	-	-

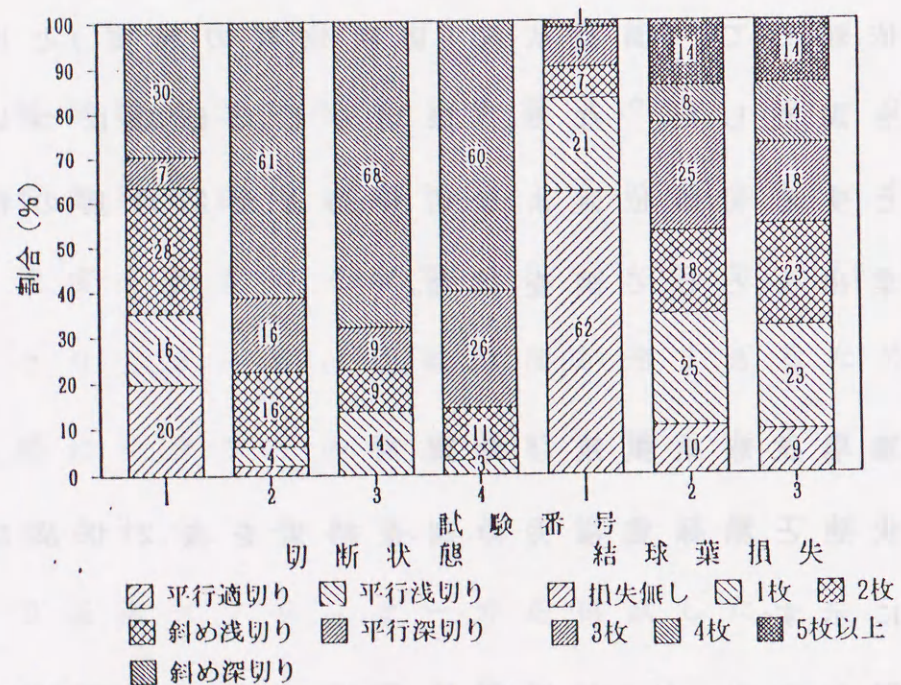


図24 現地試験結果(八千代町)

であったのに対し、Hを19mmとした試験番号2、3では77%、Hを22mmと高く設定した試験番号4では86%と多くなった。

搬送速度比が切断状態に及ぼす影響を試験番号2、3の斜め切り割合で見ると、共に77%であり、速度比1.08と1.17の差は明らかでなかった。

深切りされた結球の出荷の可否については、結球葉損失が5枚以上のものが出荷できないと判定され、切断刃の高さを17mmとした試験番号1では結球葉1枚から3枚までの損失が37%生じたものの、出荷できないものは1%と僅かであった。

### 3. スクリューオーガ及び油圧回路

#### (1) 試験方法

##### (a) スクリューオーガ

2条溝スクリューオーガのピッチの影響を見るため、3種類のピッチ(80、100、120mm)の2条溝スクリューオーガを試作した。

試験は、3品種のハクサイを供試して生研機構川里農場(灰色低地土)で作業精度を調査した。

油圧回路の比較試験も含めた、一連の試験条件を表21に示す。

表21 試験条件（スクリュオーガピッチの影響）

供試品種 (結球質量kg) (引抜き力N)	試験 番号	供試 個数	刃の 高さ mm	走行 速度 m/s	スクリュオーガ ピッチ mm
王将 (1.62±0.53) (261±69)	1	83	15	0.20	80
	2	70	17	"	100
	3	87	18	"	120
無双 (2.26±0.29) (194±33)	4	84	15	0.20	80
	5	92	17	0.18	100
	6	95	15	0.21	120
錦秋 (2.05±0.50) (169±30)	7	93	15	0.20	80
	8	94	"	"	"
	9	93	"	0.19	120
	10	94	"	0.20	"

試験場所：生研機構川里農場(灰色低地土)

搬送速度比は、スクリュオーガのピッチが80、100、120mmの時、それぞれ1.13、1.17、1.20とした。試験番号8、10はメータイン回路、その他はブリードオフ回路とした。

(b) 油圧回路

各作用部速度の安定化を図るため、油圧流量調節の方式について、図25に示す、油圧モータの入口側管路で流量を絞って回転速度を調節するメータイン回路と、油圧ポンプから油圧モータに流れる流量の一部をタンクへバイパスすることによって油圧モータの回転速度を調節するブリードオフ回路<sup>41)</sup>。

<sup>42)</sup>の2回路について、所要動力を比較検討した。所要動力は切断刃駆動用モータへ流入する油圧流量(Q

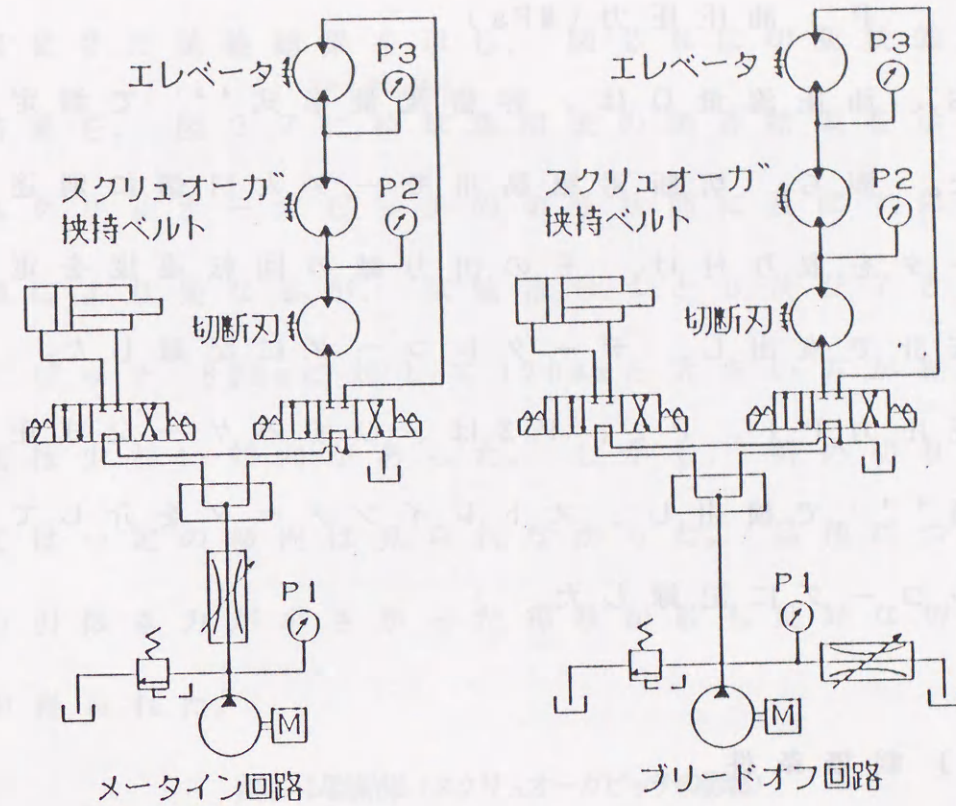


図25 油圧回路

L/min)と、ポンプ吐出圧力(P1 MPa)、挟持ベルト・スクリュオーガ駆動用モータ入口圧力(P2 MPa)、エレベータ駆動用モータ入口圧力(P3 MPa)を測定し、それぞれの差圧と油圧流量から、次式によって所要動力(W kW)を算出した<sup>41)</sup>。

$$W = 1.667 \times 10^{-4} Q P$$

ここに、W：所要動力(kW)

Q：油圧流量(L/min)

P : 油圧圧力 (MPa)

なお、油圧流量 Q は、容積流量形式<sup>43)</sup>で測定を行った。即ち、切断刃駆動用モータ入口側に別途油圧モータを取り付け、その出力軸の回転速度を電磁式回転計で検出し、データレコーダに記録した。また油圧圧力 P1、P2、P3 は、ひずみゲージ式圧力変換器<sup>41)</sup>で検出し、ストレインメータを介してデータレコーダに記録した。

(c) 栽培条件

以上の試験は移植栽培のハクサイを供試したが、このほかに、生研機構川里農場における2品種(王将、錦秋)の直播栽培条件での試験と茨城県農業試験場における平畝栽培条件への適応性試験を行った。

(d) 作業精度

作業精度は切断状態と結球葉損失を調査した。

(2) 圃場試験結果及び考察

(a) スクリューオーガ

作業速度 0.2 m/s 程度で連続作業を行うことができたが、荷台での移し替え作業者の作業強度を考える

とこれ以上の作業速度は困難と考えられた。

表 2 2 に試験結果を示し、図 2 6 に切断状態の調査結果を、図 2 7 に結球葉損失の調査結果を示す。

スクリューオーガピッチの切断状態に及ぼす影響は品種により異なるが、試験番号 4 と 6 及び 7 と 9 から、ピッチ 80 mm に対して 120 mm と大きい方が結球葉損失は少ない傾向があった。しかし、斜め切りについては一定の傾向は見られなかった。品種については、引抜き力が小さかった錦秋が最も良好な切断状態が得られた。

表22 試験結果(スクリューオーガピッチの影響)

試験番号	切断状態 (%)					結球葉損失割合 (%)					
	平行 適切	平行 浅切	斜め 浅切	平行 深切	斜め 深切	損失 無し	1枚	2枚	3枚	4枚	5枚 以上
1	7	69	8	7	8	84	6	0	2	4	4
2	7	30	9	9	46	41	21	6	13	3	16
3	8	65	7	7	13	80	6	1	4	4	5
4	8	26	1	39	25	36	4	10	11	14	26
5	35	17	11	23	14	39	27	9	11	3	11
6	0	22	24	30	24	46	20	14	4	5	11
7	10	33	1	20	36	44	3	5	5	3	39
8	5	77	7	9	2	89	3	1	2	0	5
9	15	68	1	8	8	85	5	1	3	1	4
10	16	70	4	4	5	90	3	1	1	3	2

注) 試験番号 1~3 : 王将、4~6 : 無双、7~10 : 錦秋

試験番号 1・4・7・8 : ピッチ 80mm、2・5 : ピッチ 100mm、3・6・9・10 : ピッチ 120mm

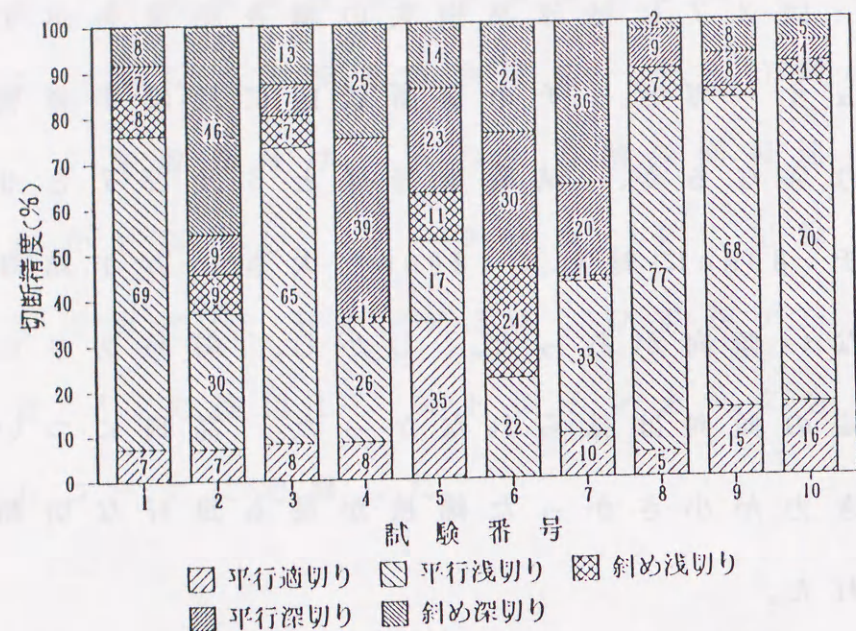


図26 切断状態 (スクリュオーガピッチの影響)

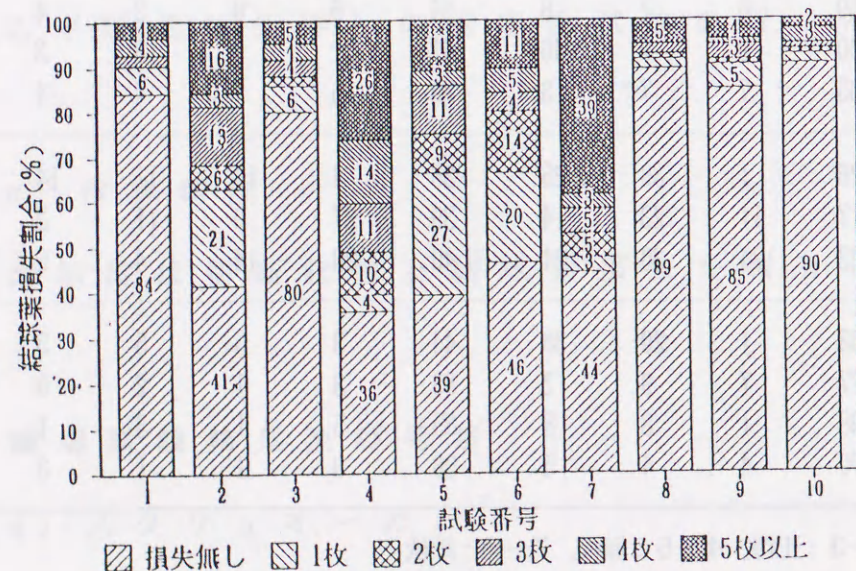


図27 結球葉損失 (スクリュオーガピッチの影響)

(b) 油圧回路

各油圧回路の流量と圧力測定結果の一例を図28、図29に示す。ブリードオフ回路とメータイン回路の流量の変動係数はそれぞれ8~57%、7~13%であり、平均所要動力は0.4~1.5kW、1.5~1.8kWであった。図で流量と圧力のピークは切断刃でハクサイを切断する際に見られ、切断時の負荷増大のため両者の変動も大きく、また、挟持ベルトとスクリュオーガの回転速度にも周期的な変動が見られる。切断状態と結球葉損失については、メータイン回路の方がブリードオフ回路に比べてやや良好な結果であった。

(c) 栽培条件

直播栽培は移植栽培に比べハクサイの引抜き力が大きい点で異なり、スクリュオーガで引き抜く際にハクサイの底部に与える損傷が大きく、深切りになる割合が多かった。

平畝条件では、先開きをしているスクリュオーガ先端部全体を土中に潜らせて作業する必要があった。この設定が浅いとハクサイへの損傷が多くなった。逆に、収穫部の高さ調節が深いと挟持ベルト先端部

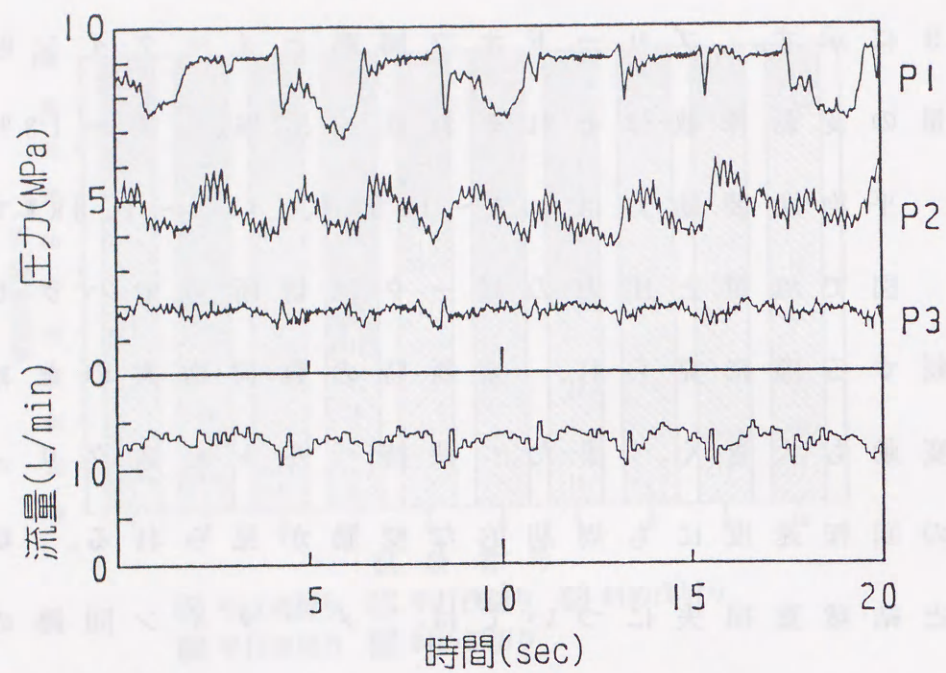


図28 メータイン回路の流量と圧力の変動

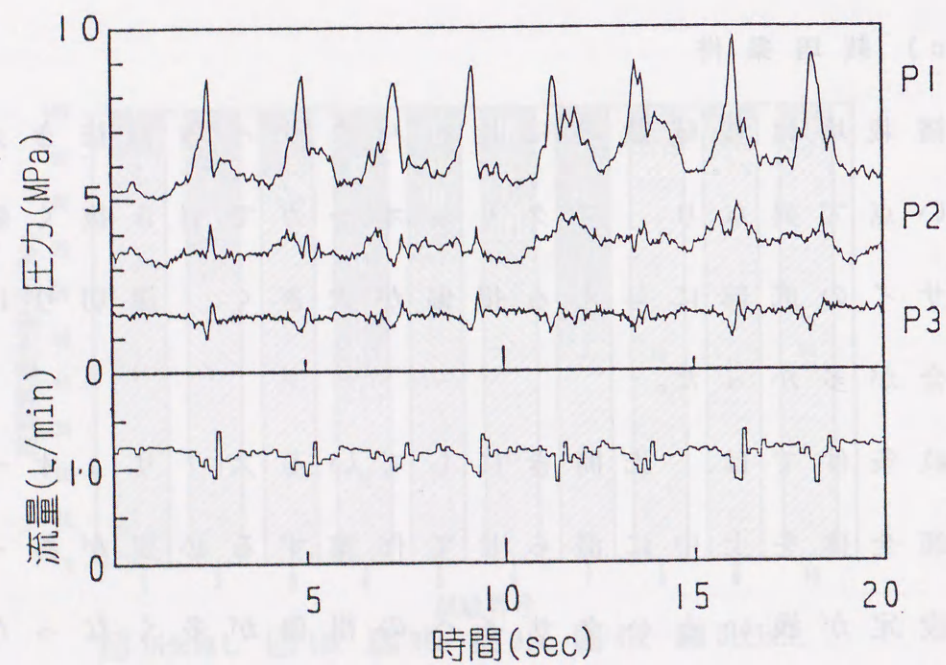


図29 ブリードオフ回路の流量と圧力の変動

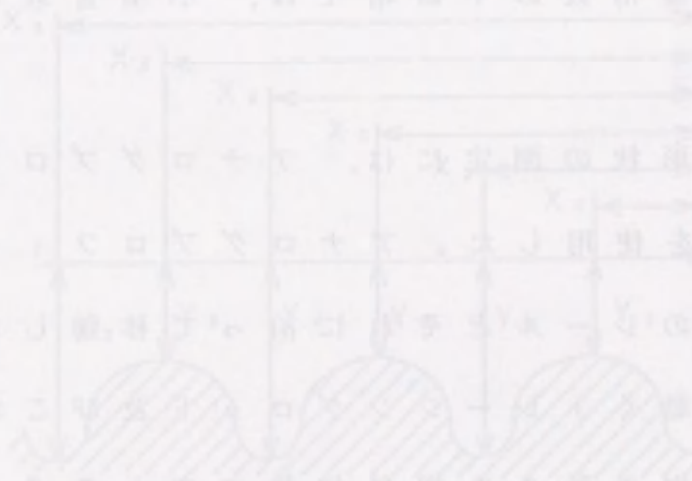
が土中に潜り、挟持ベルトで土を削り取りながら土をかき寄せるようになり、円滑な作業ができなかった。連続作業ができるようにスクリュオーガ先端部の高さを設定して試験した結果、深切りや斜め切りのため出荷できないものが11~37%と多く、良好な結果は得られなかった。

#### 第4節 摘要

1. 2軸スクリュオーガ、挟持ベルト、回転円板刃、エレベータ、荷台からなるトラクタ直装用収穫機を試作した。
2. 作業速度0.2m/sでハクサイを引き抜き、搬送中に外葉と根茎部を切断し、結球部を荷台まで搬送する作業が連続してできた。また、荷台には約100個のハクサイを収納し、それらを圃場外へ搬出することができた。なお、作業中は、荷台に補助作業者が乗ってエレベータから荷台への移し替え作業を行った。
3. 挟持ベルトに対するスクリュオーガの搬送速度比を1.13とした場合、搬送速度比1に比べ結球部の斜め切り割合が減少した。
4. 結球部質量の異なる3品種を供試し、ピッチ80、100、120mmの3種類の2条溝スクリュオーガについて切断精度を調査した。スクリュオーガピッチの切断精度に及ぼす影響は、品種により異なり、一定の傾向は見られなかったが、引抜き力が小さく中庸な質量であった錦秋の収穫損失割合が10%

以下で、最も良好な結果が得られた。

5. ブリードオフ回路とメータイン回路で油圧流量調節を行った場合の収穫作業時の所要動力は、それぞれ0.4~1.5kW、1.5~1.8kWであった。メータイン回路の方が作業中の油圧回路の流量と圧力の変動は少く、収穫作業精度がやや良好であった。





## 第VI章 高さ制御装置の開発と収穫機の現地適応性

### 第1節 畝形状の調査

トラクタ直装用収穫機の高精度化を図るためには、収穫部と地表面との相対位置（以下収穫部高さという）を適切に設定する必要がある。そこで、収穫部高さを検出する合理的な方法を創出するため、ハクサイを収穫した後の畝形状を測定した。

#### 1. 試験方法

生研機構大宮圃場（黒ボク土）で試験を行った。畝立ては、トラクタ用ロータリに培土器を装着して行い、追肥施用後の中耕培土は、小型管理機用培土器で行った。

畝の断面形状の測定には、アナログプロフィールメータ<sup>44)</sup>を使用した。アナログプロフィールメータは、水平のレールとそれに沿って移動しながら、上下方向に動くトレーシングロッド及びこれらの水平・垂直方向の動きを電気信号に変えるポテンシオメータからなる。これにより、ハクサイを収穫した

の3畝の断面形状を測定し、その出力をXYレコーダに記録した。測定点は、畝方向に50cm間隔で80点（40m）とした。畝高さと溝深さの畝方向の変動を知るため、XYレコーダに記録した3畝の断面形状から、各測定点について図30に示す基準点からの水平距離 $X_1 \sim X_6$ 及び基準点を通る水平線からの垂直距離 $Y_1 \sim Y_6$ を読み取った。 $(X_2 - X_1)$ は畝頂部から溝の最も深い部分までの水平距離を示す。 $Y_1$ 、 $Y_3$ 、 $Y_5$ は、基準点を通る水平線から畝頂部までの垂直距離を示し、 $Y_2$ 、 $Y_4$ 、 $Y_6$ は、基準点を通る水平線から溝の最も深い部分までの垂直距離を示す。

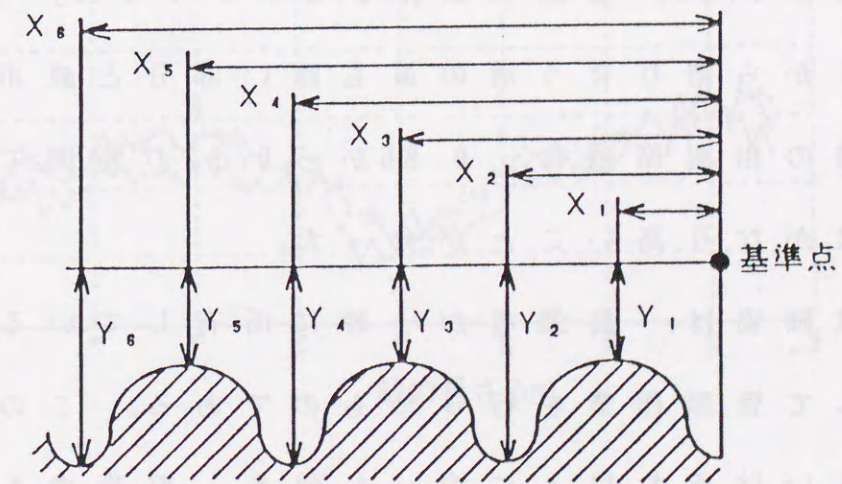


図30 畝の形状測定

## 2. 試験結果及び考察

基準点から畝頂部及び溝の最も深い部分までの水平距離 ( $X_1 \sim X_6$ ) の変動を図31に示す。畝頂部とその隣の溝の最も深い部分までの距離 ( $X_2 - X_1$ )、( $X_4 - X_3$ )、( $X_6 - X_5$ ) の全平均値は308mm、標準偏差は37mm、変動係数12%であり、畝幅は約60cmで均一に造成されていることがわかる。

基準点を通る水平線から畝頂部及び溝の最も深い部分までの垂直距離 ( $Y_1 \sim Y_6$ ) の変動を図32に示す。また、表23に  $Y_1 \sim Y_6$  及び畝高さを表わす ( $Y_2 - Y_1$ )、( $Y_4 - Y_3$ )、( $Y_6 - Y_5$ ) の測定結果を示し、 $Y_1 \sim Y_6$  のそれぞれの相関係数<sup>45)</sup>を表24に示す。なお、畝高さの全平均値は197mm、標準偏差が17mm、変動係数が8.5%であった。図32、表24から隣り合う溝の最も深い部分と畝頂部の垂直距離の相関係数は、0.86から0.92の範囲であり、相関はかなり高いことが分った。

供試圃場は、農業者が一般に所有している機械を使用して管理作業を行ったものである。この圃場の畝あるいはそれ以上に均一な畝を、収穫機を利用する場合の畝の前提条件と考えるならば、トラクタ直装用収穫機の主フレームを支持するゲージホイールが

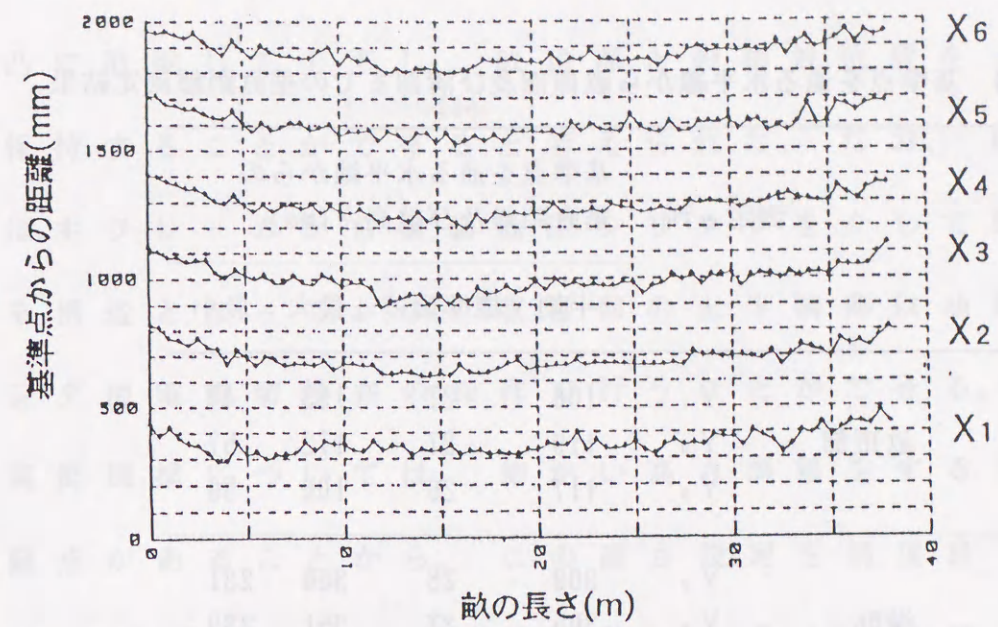


図31 基準点から畝頂部及び溝部までの水平距離の変動

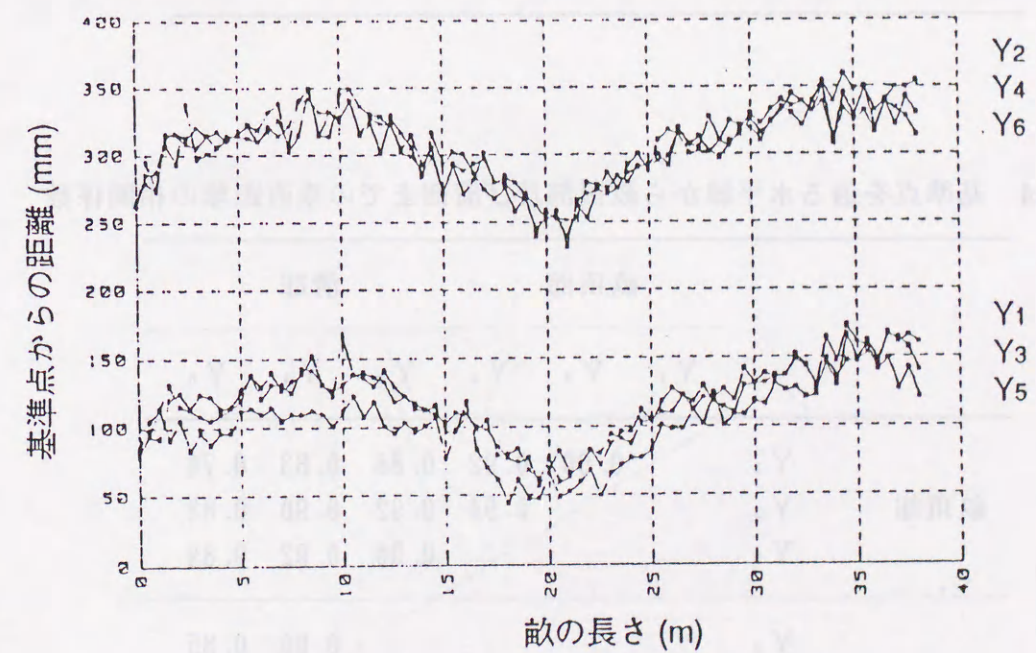


図32 基準点を通る水平線から畝頂部及び溝部までの垂直距離測定結果

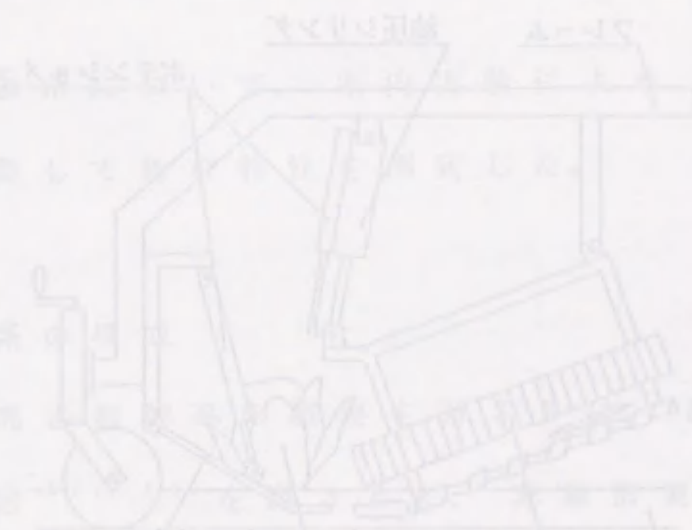
表23 基準点を通る水平線から畝頂部及び溝部までの垂直距離測定結果

測定カ所		基準点を通る水平線からの 垂直距離及び畝高さ(mm)			
		平均	標準偏差	最大	最小
畝頂部	Y <sub>1</sub>	100	27	153	44
	Y <sub>3</sub>	119	27	172	57
	Y <sub>5</sub>	117	26	166	59
溝部	Y <sub>2</sub>	309	28	360	231
	Y <sub>4</sub>	305	27	351	239
	Y <sub>6</sub>	306	26	349	239
畝高さ	Y <sub>2</sub> -Y <sub>1</sub>	213	15	248	173
	Y <sub>4</sub> -Y <sub>3</sub>	189	12	212	164
	Y <sub>6</sub> -Y <sub>5</sub>	190	15	211	121

表24 基準点を通る水平線から畝頂部及び溝部までの垂直距離の相関係数

	畝頂部			溝部		
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>6</sub>
畝頂部	Y <sub>1</sub>	0.90	0.92	0.86	0.83	0.76
	Y <sub>3</sub>		0.94	0.92	0.90	0.88
	Y <sub>5</sub>			0.90	0.92	0.89
溝部	Y <sub>2</sub>			0.90	0.85	
	Y <sub>4</sub>				0.91	
	Y <sub>6</sub>					

溝部を走行することにより、収穫機の収穫部は畝の凹凸に追従して上下し、畝頂部との相対位置を一定に保持することができると考えられた。なお、収穫部は主フレームから複動油圧シリンダを介して懸架する構造となっており、収穫部の上下調節は油圧シリンダ用電磁切換弁の操作で行うことができる。この調節機構については、細かい高さ調整をする場合に難点があることから、この高さ設定を精度良く容易に行い得るように、電子回路によるオンオフ制御を組み込むことにした。



## 第2節 収穫部高さ制御装置

収穫部は、主フレームからリンク機構により前方に懸架され、油圧シリンダの伸縮により上下調節ができ、更に、収穫部は上部中央位置のリンクの節を支点として先端部が上下方向に回動し得る構造とし、その動きは2本の引張コイルバネで規制していた。しかし、圃場が固いとスクリュオーガ先端が土中に喰い込まないことなどの問題があった。そこで、図33に示すように、リンクとバネを取り外して、

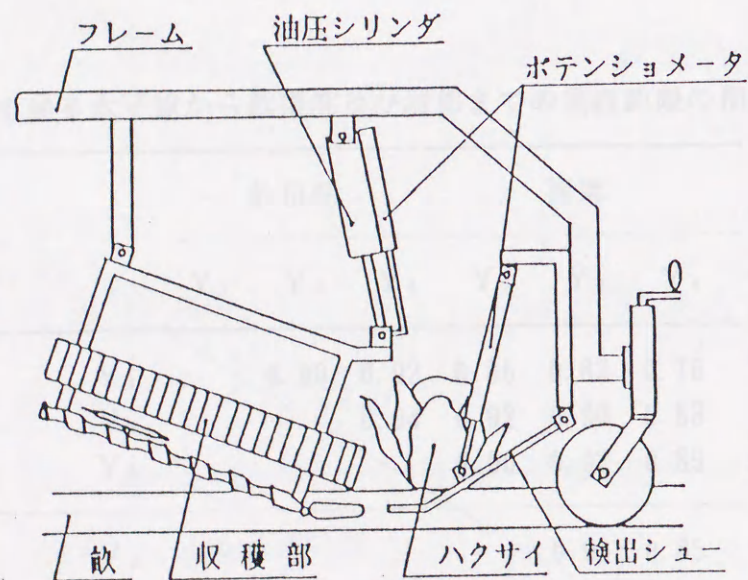


図33 収穫部高さ制御系の概要

作業部を直接油圧シリンダで懸架する構造に改造した。そして、収穫機の主フレーム前部に検出シューを設け、ハクサイの株元で畝の肩部の凹凸に検出シューが追従することによって、検出シューに取付けたポテンシオメータで畝高さを検出し、主フレームから懸架した収穫部を検出シューの動きに追従させることができる収穫部高さ制御装置を開発した。

収穫部の高さ制御装置は、電気・油圧を利用したオンオフ制御装置<sup>46)・47)</sup>とした。その理由として、オンオフ制御は、比例制御やPID制御と比較して、出力要素の設計、構造、動作原理が単純で、信頼性、経済性に優れる点をあげることができる<sup>48)・49)・50)</sup>。

この制御系について、室内実験により、制御系の各部を調整して動作特性を測定した。

### 1. 制御系の構成

収穫部高さ制御系の概要を図33に、制御系のブロック線図<sup>51)・52)</sup>を図34に、非線形要素(NL)の特性を図35に、電子回路図を図36に示す。

主フレームに取付けた検出シューは、畝肩部にある土塊や雑草の影響を受けないようにするために、

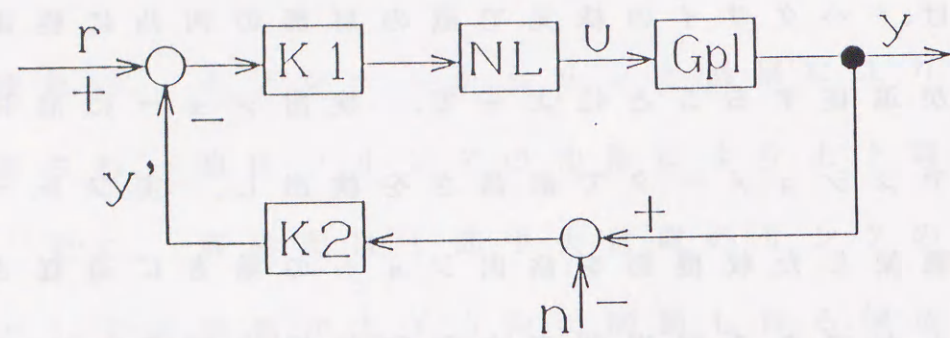


図34 収穫部高さ制御系のブロック線図

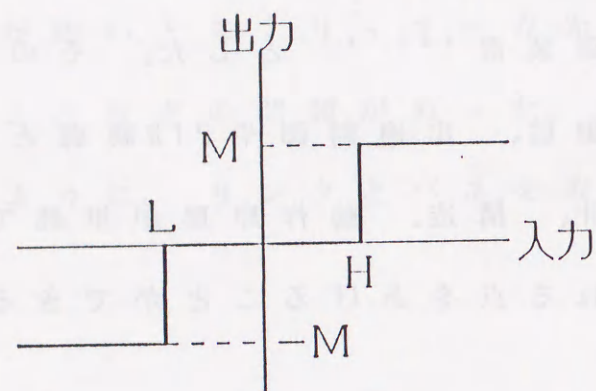


図35 非線形要素の特性

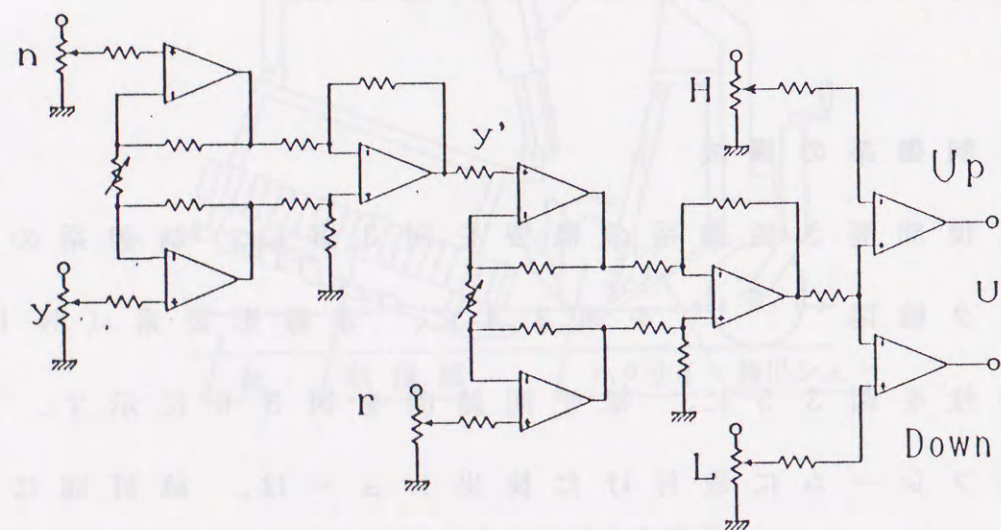


図36 収穫部高さ制御系の電子回路

圧縮コイルバネとダッシュポットで畝表面を沈下しない程度に押しつけ、畝肩部の凹凸に対しては上下して追従するようにした。

制御系は、制御対象（電磁弁、油圧シリンダ、収穫部）（ $G_{pl}(s)$ ）、検出シュー、検出シュー用ポテンシオメータ（ $r$ ）、油圧シリンダ位置検出用ポテンシオメータ（ $y$ ）、油圧シリンダ位置設定用ポテンシオメータ（ $n$ ）、非線形要素設定用ポテンシオメータ（ $H$ 、 $L$ ）、比例ゲイン（ $K_1$ 、 $K_2$ ）等からなる。

制御は次のように行われる（図34～36参照）。即ち、畝の凹凸に追従して上下動する検出シューの動きを検出シューに取り付けたポテンシオメータ  $r$  で検出する。次に、油圧シリンダ位置検出用ポテンシオメータ  $y$  と油圧シリンダ位置設定用ポテンシオメータ  $n$  との差を  $K_2$  倍増幅した値  $y' = K_2(y - n)$  を求め、 $y'$  と  $r$  の差を  $K_1$  倍増幅する。この差動増幅出力値  $u = K_1(r - y')$  をウインドコンパレータ回路<sup>53)</sup>で  $H$ 、 $L$  と比較し、 $H$  より大きければ  $U_p$  出力<sup>54)</sup> が  $ON$  となり、油圧シリンダ用電磁切換弁が油圧シリンダを縮める方向に作動し、収穫部を上げる。逆に  $u$  が  $L$  より小さければ  $Down$  出力が

ONとなり、電磁切換弁が油圧シリンダを伸ばす方向に作動し、収穫部を下げる。このようにして収穫部を検出シューの動作に追従制御させる。なお、油圧シリンダ位置設定用ポテンシオメータ $n$ 、非線形要素設定用ポテンシオメータ $H$ 、 $L$ はダイヤル付き10回転型ポテンシオメータとして微調整が容易にできるようにした。また、比例ゲイン $K_1$ 、 $K_2$ は高入力インピーダンス差動増幅器回路<sup>55)</sup>で構成し、それぞれ1個の可変抵抗の調整でゲインを変更できるようにした。

制御装置には上記のほか、取扱性、安全性の面から、①自動制御と手動の切換え回路、②自動制御が作動中も手動が優先して機能する回路、③電磁切換弁の作動状態等の表示回路を組込んだ。

## 2. 試験方法

試作した制御系の特性を知るため、関数発生器と移動土槽による2種類の方法でステップ応答試験を行った。

まず、関数発生器によるステップ応答試験は、検出シュー用ポテンシオメータに代えて関数発生器により矩形電圧を入力し、そのステップ応答を収穫部

先端に取付けた変位変換器を介して電磁オシログラフに記録した。試験条件は、入力した矩形電圧を、畝高さが100mm変化した時に相当する値とし、油圧シリンダ流量を2.1~5.4L/minの範囲とした。

次に、移動土槽による試験は、土槽の移動速度を0.2~0.4m/sの範囲で変え、土槽に設けた60mmの段差を通過した時の検出シューの動作と収穫部の応答を測定した。移動土槽試験風景を写真29に示す。

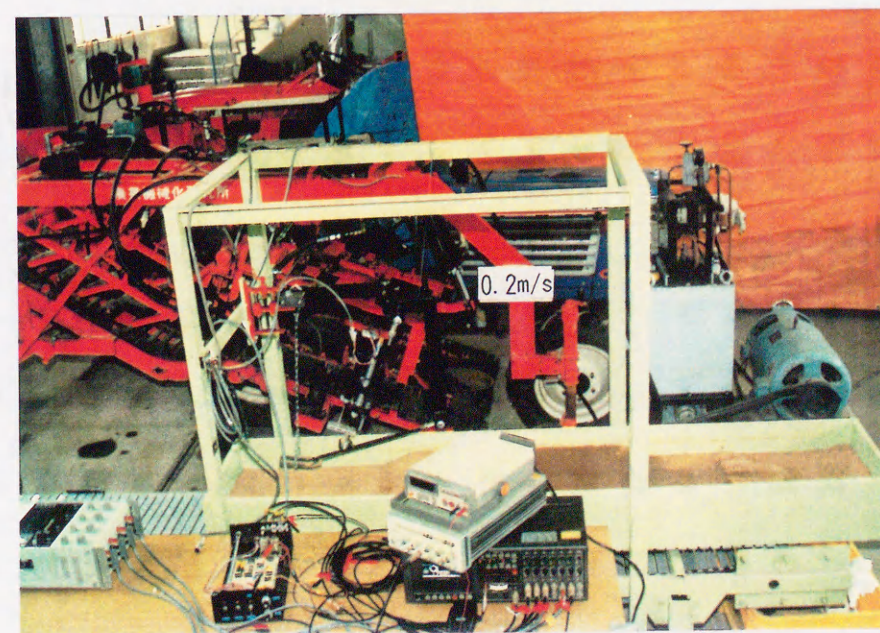


写真29 移動土槽試験風景

### 3. 試験結果及び考察

試作した制御回路の予備試験では、比例ゲインを  $K_1 = 1.5$ 、 $K_2 = 1.8$  に設定した時、高さ設定用ポテンシオメータによる収穫部先端位置の調節範囲は 100mm 程度であった。また、安定して作動させるためには、検出シユ-の移動量 10mm に相当する不感帯 (図 35 の H-L の電圧) を設ける必要があった。収穫作業時には、スクリュオーガ先端部上面を畝頂面より高い位置にすると、ハクサイの株底面への損傷が大きくなる。畝高さの測定結果から、平均値が 197mm で、標準偏差は 17mm であったことから、10mm の不感帯は大きい。スクリュオーガ先端部を、畝頂面より 10mm 以上地中に潜らせて収穫することにより損傷を抑えることができると考えられた。

関数発生器によるステップ応答試験の結果から、不感帯幅を狭くした時、あるいは油圧流量が多い場合は、リミットサイクルが発生することが分った。油圧流量を変えたときの測定結果の一例を図 37 に示す。制御系を安定させるためには、不感帯幅を検出シユ-の移動量 10mm に相当する値とした時、シリンダへの流量は 5L/min 以下にする必要があった。また、シリンダ流量を 2.1~5.3L/min とした時の平均

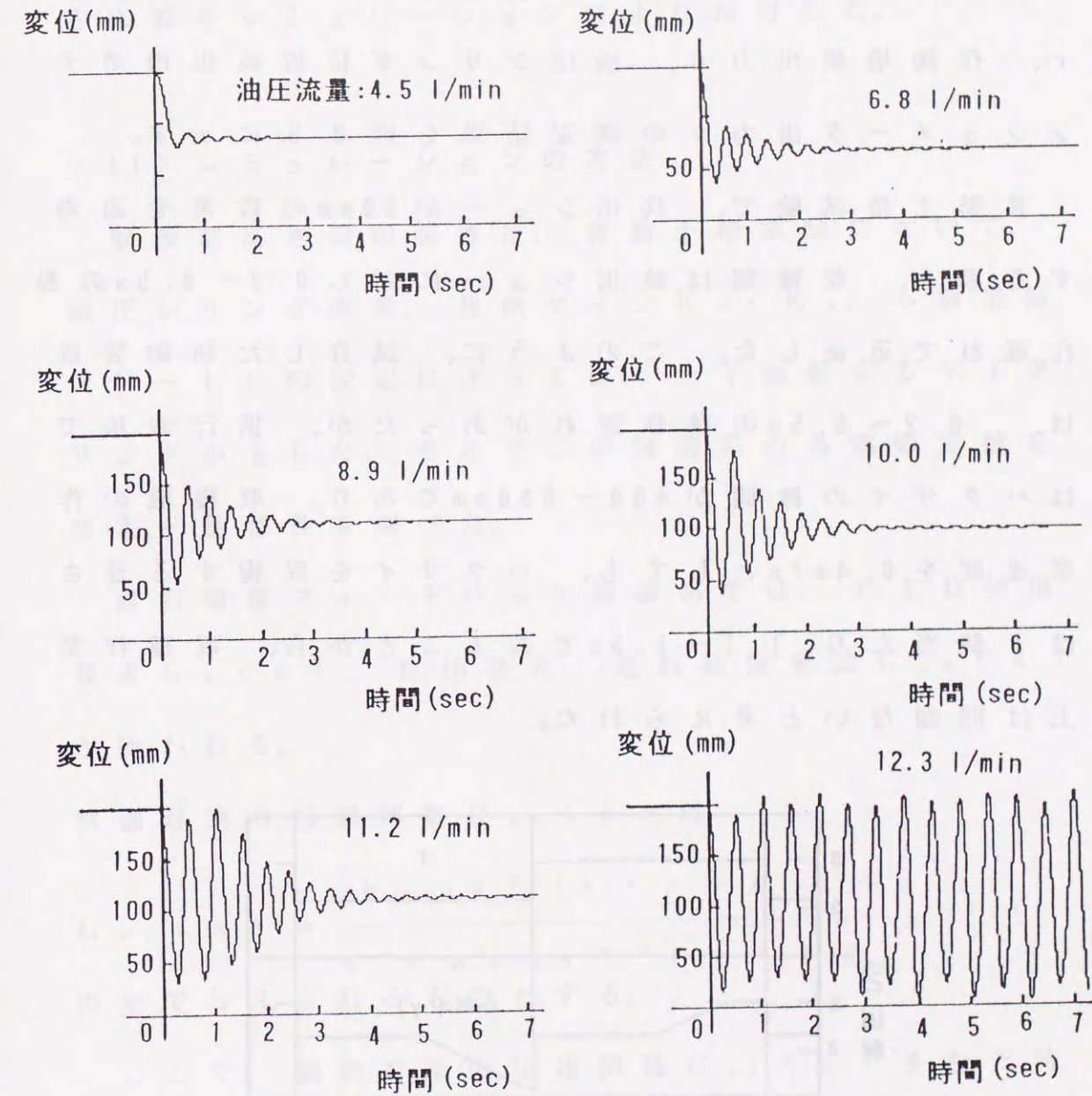


図37 制御系の特性 (油圧流量を変えた場合のステップ応答の一例)

シリンダ速度は 30~100mm/s であり、リレーや電磁切換弁の作動遅れによる 110~150ms のむだ時間が発生した。ステップ応答の一例として、ステップ入力  $r$ 、作動増幅出力  $u$ 、油圧シリンダ位置検出用ポテンシオメータ出力  $y$  の測定結果を図 38 に示す。

移動土槽試験で、検出シューが 60mm の段差を通過する場合、収穫部は検出シューに対し 0.2~0.5s の動作遅れで追従した。このように、試作した制御装置は、0.2~0.5s の動作遅れがあったが、慣行栽培ではハクサイの株間が 450~600mm であり、収穫機の作業速度を 0.4m/s としても、ハクサイを収穫する速さは 1 個当たり 1.1~1.5s であることから、収穫作業上は問題ないと考えられた。

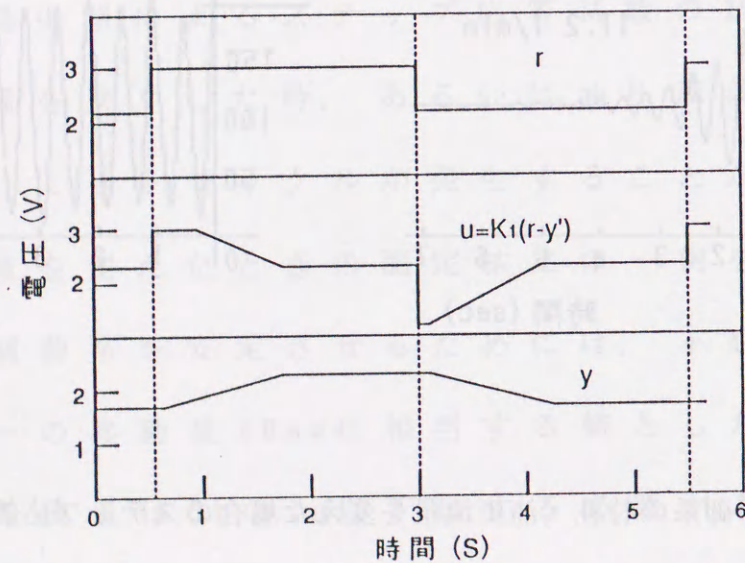


図38 制御回路のステップ応答の一例

#### 4. 制御系の安定性

収穫部高さ制御装置の動特性について、パソコン用市販プログラム<sup>5,6)</sup>を用いて、ステップ入力に対する応答をシミュレーションにより検討した。

##### (1) シミュレーションの方法

収穫部高さ制御装置は、移動土槽試験において、油圧シリンダ流量、比例ゲイン  $K_1 \cdot K_2$ 、不感帯幅 ( $H-L$ ) の設定によっては、上下振動するサイクリングが生じた。そこでこの制御系の各部の定数を変え、動特性を調べた。

直列補償フィードバック制御系では、PID補償要素  $G_c(s)$ 、位相進み・遅れ補償要素  $G_{ph}(s)$  が使われる。

制御対象の伝達関数  $G_{pi}(s)$  は

$$G_{pi}(s) = \frac{b_{n-1}s^{n-1} + \dots + b_0}{s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_0} e^{-\tau_{pi}s}$$

の形で与えられるものとする。

ここで、制御対象の伝達関数  $G_{pi}(s)$  をむだ時間  $\tau_{pi}$  と一次遅れ要素、積分要素で近似すると、

$$G_{pi}(s) = \frac{b_0}{s^2 + a_1s} e^{-\tau_{pi}s}$$



系の一巡伝達関数  $G(s)$  は、

$$G(s) = G_c(s) G_{pn}(s) G_{pi}(s)$$

で定義される。

ここで、 $G_c(s) = K$ 、 $G_{pn}(s) = 1$  とした。

また、室内実験の結果から、 $T_{pi} = 0.15s$ 、 $a_1 = 1.98$ 、 $b_0 = 1.98$ 、 $K_2 = 1.4$ 、不感帯幅  $(H-L) = 0.04V$  として、比例ゲイン  $K_1$  及び非線形要素の出力  $M$  を変え、異なるステップ入力  $r$  に対する応答を調べた (図 34、35 参照)。表 25 にシミュレーションのパラメータを示す。

表 25 シミュレーション条件

試験番号	入力 $r$	比例ゲイン $K_1$	出力 $M$
1	0.2	1.4	0.6
2	0.4	1.4	0.6
3	0.6	1.4	0.6
4	0.2	1.6	0.6
5	0.4	1.6	0.6
6	0.6	1.6	0.6
7	0.2	1.4	0.6
8	0.2	1.4	0.8
9	0.2	1.4	1.0

## (2) シミュレーション結果

シミュレーション結果について、ステップ入力  $r$  の大きさを変えたときの出力  $u$ 、制御対象の応答  $y$ 、比例ゲイン  $K_2$  の出力  $y'$  を図 39 及び図 40 に、非線形要素の出力  $M$  の大きさを変えた場合の応答を図 41 に示す。

なお、検出シュールに取り付けたポテンシオメータは、 $0.02V/mm$  である。

図 39 から、ステップ入力の大きさ  $r$  が  $0.2V$ 、即ち検出シュールの変位が  $10mm$  の場合、出力は行き過ぎを生ずることはなく約 1 秒で安定した。これに対し  $r$  が  $0.6V$  と大きく、検出シュールの変位  $30mm$  に相当する入力があった場合、行き過ぎが生じ約 2.5 秒後に安定した。

図 39 と図 40 から、比例ゲイン  $K_1$  を大きくすると安定するまでの時間が長くなり、振動する回数も多くなった。

図 41 から、非線形出力  $M$  を大きくした場合、即ち油圧シリンダへの油圧流量を増した場合、安定しないで振動し続けることが分かった。

$G_c(s) : K = 1.40 \quad T_i(\text{sec}) = 0.00 \quad T_d(\text{sec}) = 0.00$   
 $G_{ph}(s) : T_{ld}(\text{sec}) = 0.00 \quad A_{ld} = 0.00 \quad T_{lg}(\text{sec}) = 0.00 \quad A_{lg} = 0.00$   
 $NL : NL(1) = 1 \quad NL(2) = 0 \quad NL(3) = 0 \quad NL(4) = 0 \quad HY(1) = 0 \quad HY(2) = 0$   
 $G_{pl}(s) : NPL = 2 \quad T_{pl} = 0.15 \quad G_n(s) : NZN = 0 \quad \sigma = 0.00 \quad \mu = 0.00$   
 $H(s) : NH = 0 \quad G_o(s) : NZO = 0 \quad \sigma = 0.00 \quad \mu = 0.00$

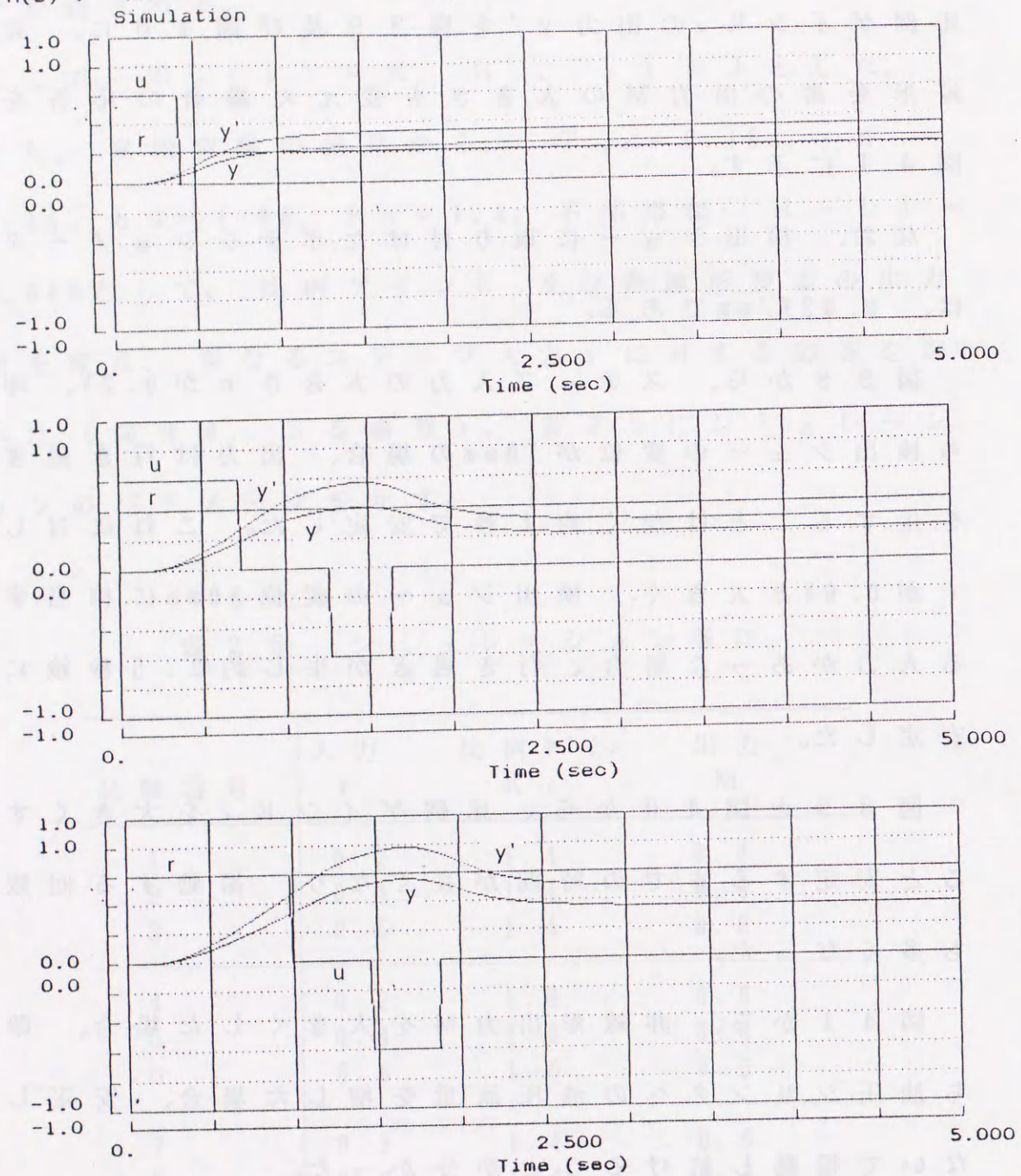


図39 ステップ応答( $K_1=1.4, r=0.2, 0.4, 0.6$ )

$G_c(s) : K = 1.60 \quad T_i(\text{sec}) = 0.00 \quad T_d(\text{sec}) = 0.00$   
 $G_{ph}(s) : T_{ld}(\text{sec}) = 0.00 \quad A_{ld} = 0.00 \quad T_{lg}(\text{sec}) = 0.00 \quad A_{lg} = 0.00$   
 $NL : NL(1) = 1 \quad NL(2) = 0 \quad NL(3) = 0 \quad NL(4) = 0 \quad HY(1) = 0 \quad HY(2) = 0$   
 $G_{pl}(s) : NPL = 2 \quad T_{pl} = 0.15 \quad G_n(s) : NZN = 0 \quad \sigma = 0.00 \quad \mu = 0.00$   
 $H(s) : NH = 0 \quad G_o(s) : NZO = 0 \quad \sigma = 0.00 \quad \mu = 0.00$

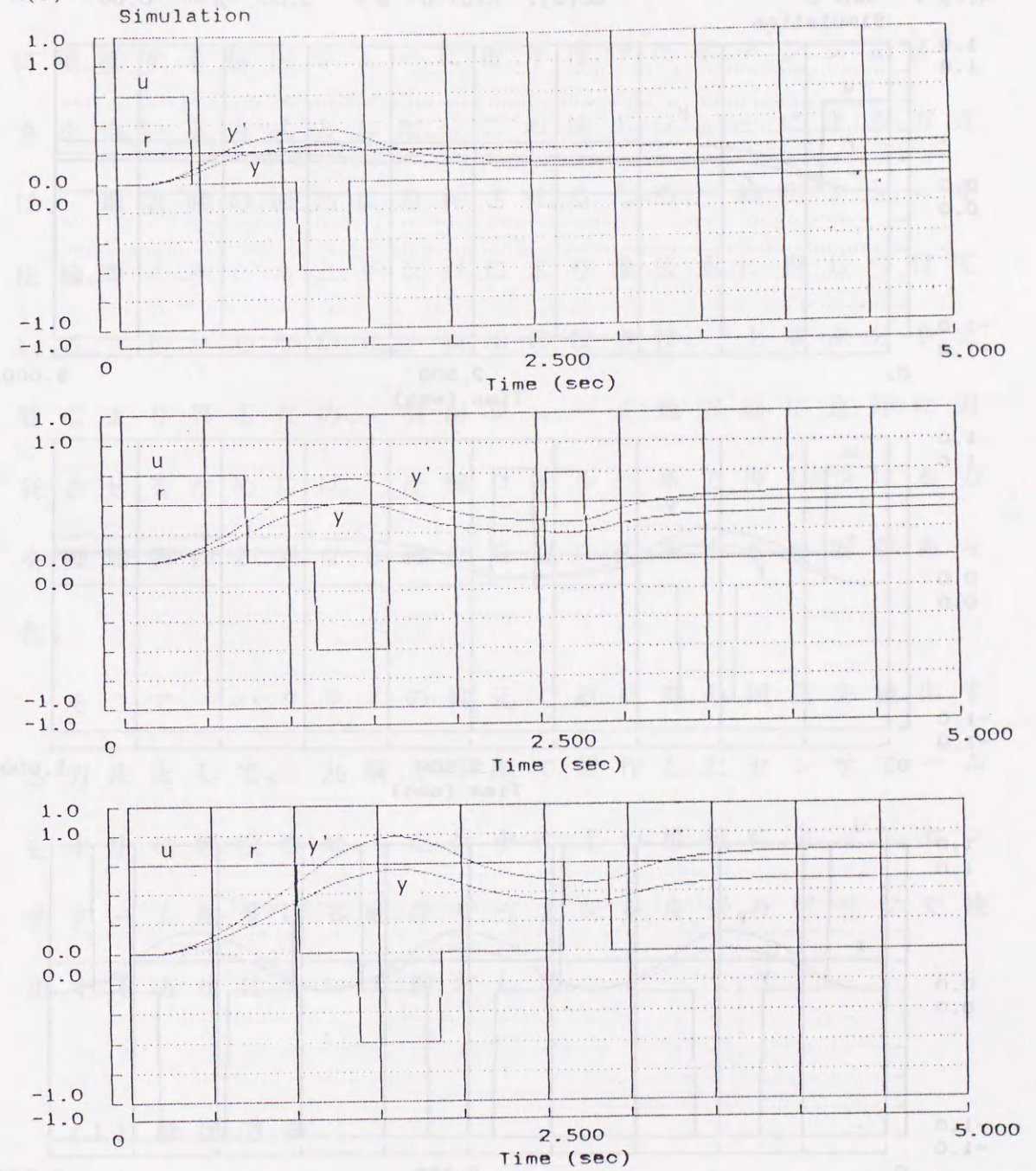


図40 ステップ応答( $K_1=1.6, r=0.2, 0.4, 0.6$ )

$G_0(s) : K = 1.40$   $T_i(sec) = 0.00$   $T_d(sec) = 0.00$   
 $G_{ph}(s) : T_{ld}(sec) = 0.00$   $A_{ld} = 0.00$   $T_{lg}(sec) = 0.00$   $A_{lg} = 0.00$   
 $NL : NL(1) = 1$   $NL(2) = 0$   $NL(3) = 0$   $NL(4) = 0$   $HY(1) = 0$   $HY(2) = 0$   
 $G_{pl}(s) : NPL = 2$   $T_{pl} = 0.15$   $G_n(s) : NZN = 0$   $\sigma = 0.00$   $\mu = 0.00$   
 $H(s) : NH = 0$   $G_0(s) : NZO = 0$   $\sigma = 0.00$   $\mu = 0.00$

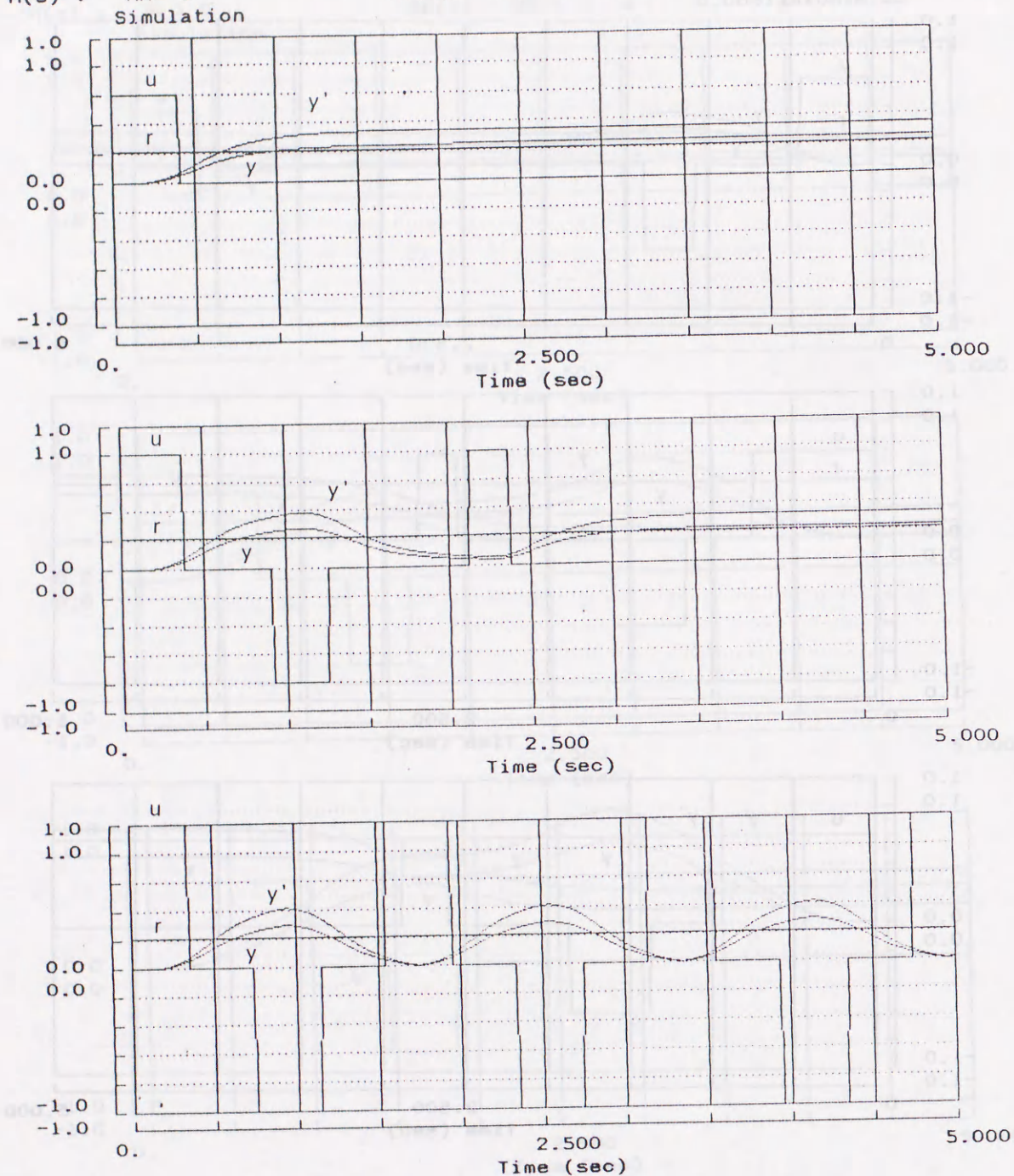


図41 ステップ応答 ( $K_1=1.4$ ,  $M=0.6, 0.8, 1.0$ ,  $r=0.2$ )

## 5. 歪みゲージによる高さ検出

収穫部と地表面との相対位置を適切に設定するための高さ検出は、ハクサイの株元で畝の肩部の凹凸に追従する検出シューに取り付けたポテンシオメータを用いる方式とした。この検出シューによる方式は、地表面の凹凸に追従させるため、検出シューを圧縮コイルバネとダンパにより地表面に押しつけている。しかしながら、圃場の硬さは、土壤水分や土質により異なるため、検出シューを地表面に良好に追従させるためには、圧縮コイルバネで押しつける力を圃場条件が異なる毎に適切に調節する必要があった。

そこで、ハクサイの株元で畝肩部の凹凸を検出する方法として、丸網と平網で製作したセンサアームを土中に埋没させ、走行中に土の抵抗によってセンサアームが受ける曲げモーメントを歪みゲージで検出する方法について検討した。

### (1) 検出方法

試作したセンサアームを表2.6及び図4.2に示す。このセンサアームは、平網部分に4枚の歪みゲージの各2枚を50mm間隔で表裏対象位置に貼付したものの

表26 センサアームの諸元

歪み検出法	4枚ゲージ法
歪みゲージ	一般用箔フェステルゲージ (共和KFC-5-C1-23、抵抗値120Ω、ゲージ率2.18)
歪みゲージ貼付位置	アーム先端から310mm(M <sub>1</sub> ゲージ)、260mm(M <sub>2</sub> ゲージ)
2枚のゲージ間隔	50mm
歪みゲージの感度	M <sub>1</sub> ゲージ:115.0μ $\epsilon$ /Nm、M <sub>2</sub> ゲージ:114.7μ $\epsilon$ /Nm
ゲージ貼付・取付部	軟鋼:SS41、6t×32、長さ170mm、 縦弾性係数E=2.1×10 <sup>9</sup> MPa、断面係数Z=bh <sup>2</sup> /6=192mm <sup>3</sup>
土中埋没部	軟鋼:SS41、φ17、長さ200mm

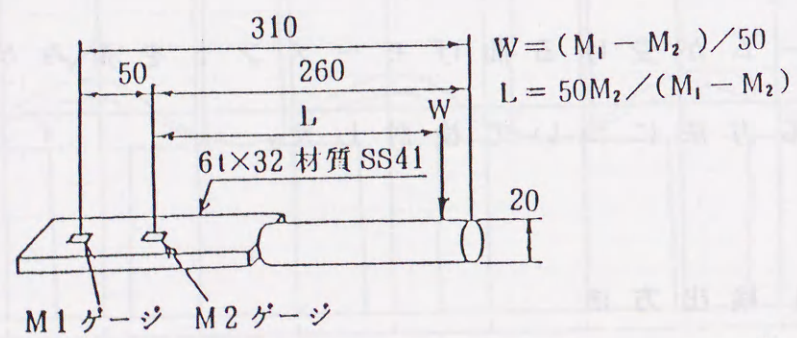


図42 センサアーム

である。

センサアームの土中埋没量と、土壌硬度、走行速度の変動によりセンサアームが受ける曲げモーメントは変化する。ここで、土からセンサアームが受ける抵抗を、1点への集中荷重Wと見なせば、センサアームの2カ所の曲げモーメントM<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>を測定し、この差(M<sub>1</sub> - M<sub>2</sub>)と歪みゲージの貼付間隔Dから、荷重Wとその作用位置Lは次式から求めることができる。

$$W = (M_1 - M_2) / D, \quad L = D M_2 / (M_1 - M_2)$$

この作用位置Lからセンサアームの土中埋没量を知ることにより、収穫部高さを検出しようとした。

## (2) 試験方法

試験は、可変速のコンベヤ上に土槽を設置した室内移動土槽を用いて、土槽移動速度を4段階に変え、各速度におけるセンサアームの土中埋没量を4段階に変え、速度と土中埋没量の2元配置実験<sup>5,7)</sup>を行った。各因子の水準は

土槽移動速度(m/s): 0.05、0.10、0.15、0.20

センサアームの土中埋没量(mm): 35、55、75、95

として、16通りの実験を2反復した。

また、センサアームの感度を高め、ハクサイ収穫機に装着した時に外葉等の夾雑物がセンサアームに絡まないことを考慮して、センサアーム先端丸網部を湾曲させたセンサアーム（以後湾曲型センサアームといい、湾曲していないものを直線型センサアームという）について、各因子の水準を

土槽移動速度 (m/s) : 0.05、0.10、0.15、0.20

センサアームの土中埋没量 (mm) : 35、45、55、65

として、16通りの実験を行った。

写真30に湾曲型センサアームを示す。

供試した移動土槽の寸法は、幅240mm、深さ150mm、長さ3264mmで、供試土は風乾状態（含水比10.8%）の黒ボク土である。センサアームを数回通過させて土を乱した状態で試験を行った。移動土槽の土壌硬度を図43に示す。センサアームの出力は、ストレインメータを介してデータレコーダに記録した。データレコーダに記録したデータはA/D変換器からパソコンに入力し統計処理した。なお、実験には次に示す装置を用いた。

ストレインメータ : DPM-305B、4ch (共和電業)

データレコーダ : MR-30、7ch (TEAC)

コンピュータ : HP-9816 (YHP)

A/D変換器 : GMACS7522 (太陽計測)

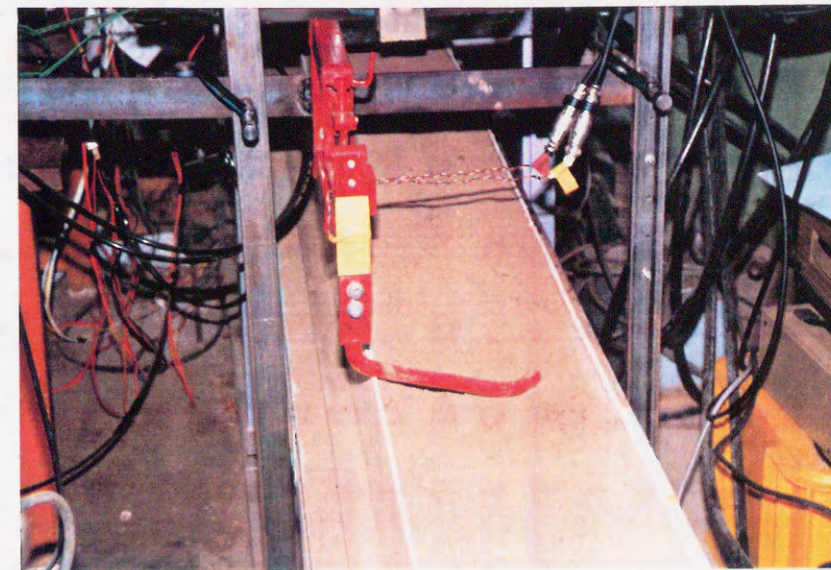


写真30 歪みゲージによる湾曲型センサアーム

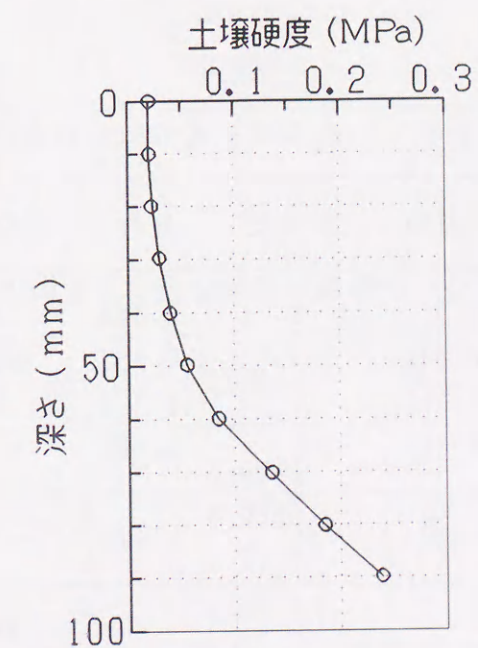


図43 移動土槽の土壌硬度

(3) 試験結果及び考察

各試験区で測定した曲げモーメント  $M_1$ 、 $M_2$  のデータ処理は、データレコーダで再生し、10msのサンプリング周期で4秒間、合計400点をAD変換し、各々のデータから、センサーアームに加わった抵抗  $W$  とその作用点  $L$  を計算し、その平均値を求めた。そして、曲げモーメント  $M_1$ 、 $M_2$ 、センサーアームに加わった抵抗  $W$ 、作用点  $L$  の平均値について分散分析を行った。直線型センサーアームについての分散分析表を表27～表30に示す。

また、曲げモーメント  $M_1$ 、 $M_2$  の測定結果を図44に、センサーアームの土から受けた抵抗  $W$  と作用点  $L$  の測定結果を図45に示す。

表27 曲げモーメント  $M_1$  に関する分散分析表 (直線型センサーアーム)

	平方和	自由度	分散	分散比	寄与率
速度	2.651	3	0.884	5.98**	1.6
作用点	130.002	3	4.333	293.10**	94.5
交互作用	2.017	9	0.224	1.52	0.5
誤差	2.366	16	0.148		3.9
計	137.035	31	4.420		

\*\* : 1%有意水準

表28 曲げモーメント  $M_2$  に関する分散分析表 (直線型センサーアーム)

	平方和	自由度	分散	分散比	寄与率
速度	1.619	3	0.540	5.39**	1.5
作用点	84.830	3	28.277	282.66**	94.5
交互作用	1.368	9	0.152	1.52	1.5
誤差	1.601	16	0.100		2.5
計	89.418	31	2.884		

\*\* : 1%有意水準

表29 抵抗  $W$  に関する分散分析表 (直線型センサーアーム)

	平方和	自由度	分散	分散比	寄与率
速度	0.532	3	0.177	8.85**	2.3
作用点	19.207	3	6.402	320.1**	94.2
交互作用	0.255	9	0.028	1.4	0.4
誤差	0.323	16	0.020		3.1
計	20.318	31	0.655		

\*\* : 1%有意水準

表30 作用点  $L$  に関する分散分析表 (直線型センサーアーム)

	平方和	自由度	分散	分散比	寄与率
速度	0.2940	3	0.0980	5.54**	24.1
作用点	0.2604	3	0.0868	4.90*	20.8
交互作用	0.1603	9	0.0178	1.01	0.1
誤差	0.2833	16	0.0177		55.0
計	0.9979	31	0.0322		

\*\* : 1%有意水準、\* : 5%有意水準

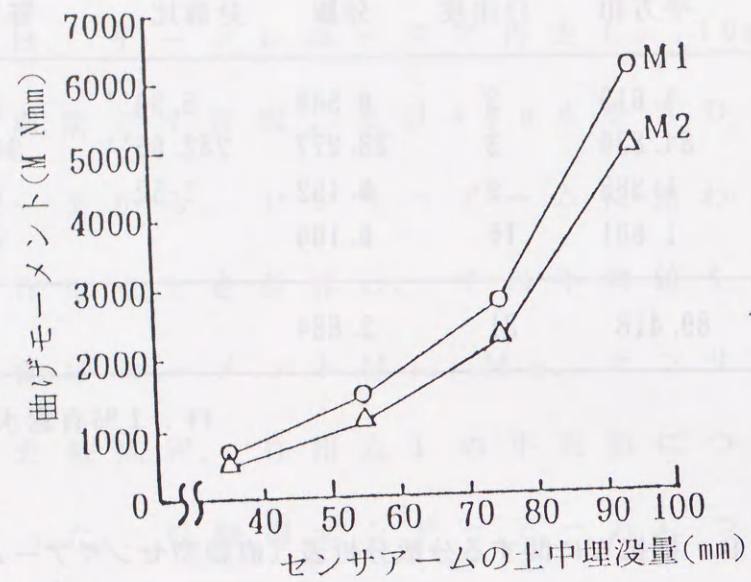


図44 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>ゲージの曲げモーメント

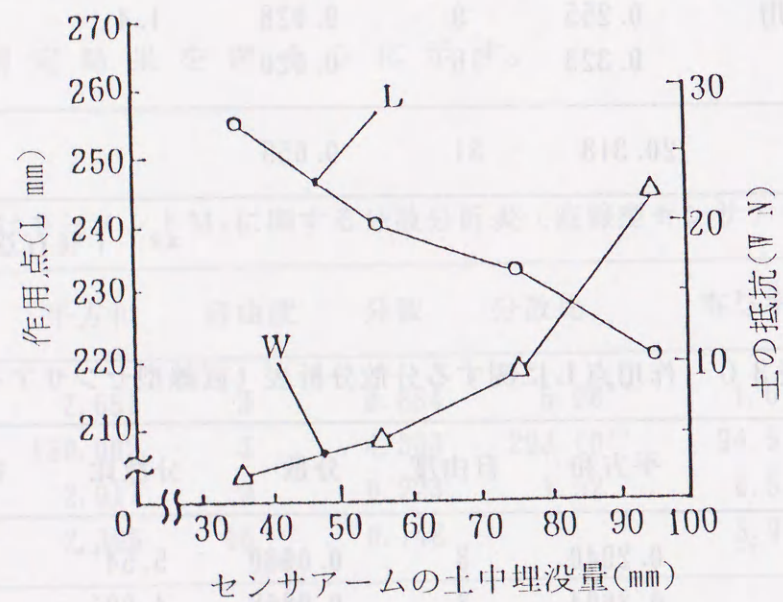


図45 センサーアームの土から受ける抵抗Wと作用点L

土槽移動速度  $V$  とセンサアームの土中埋没量  $l$  を変えた時、曲げモーメント  $M_1$ 、 $M_2$  は変化し、 $M_1$ 、 $M_2$  から求めたセンサアームの抵抗  $W$  と作用位置  $L$  も変化した。測定条件の範囲では、寄与率についてみると、曲げモーメント  $M_1$ 、 $M_2$  と抵抗  $W$  は、土中埋没量  $l$  の影響が大きく、速度  $V$  の差の影響は小さかった。曲げモーメントの差 ( $M_1 - M_2$ ) から求めた作用位置  $L$  は、土中埋没量  $l$  と速度  $V$  とは共に有意差はあったが、誤差の影響が大きかった。特に土中埋没量  $l$  が 35mm と少ない場合、曲げモーメント  $M$  が小さく、2カ所の曲げモーメントの差 ( $M_1 - M_2$ ) も小さいため誤差が大きくなる傾向があった。

次に、湾曲型センサアームについて、曲げモーメント  $M_1$ 、 $M_2$ 、土の抵抗  $W$ 、抵抗の作用点  $L$  の平均値について分散分析を行った結果を表 3.1 ~ 表 3.4 に示す。

湾曲させたセンサアームについては、土槽移動速度  $V$  を変えた場合、曲げモーメント  $M_1$ 、 $M_2$  及び土の抵抗  $W$  について有意差はなく、作用位置  $L$  について 5% 水準で有意差はあったが、その差の影響は少なかった。また、土中埋没量を変えた場合は、曲げモーメント  $M_1$ 、 $M_2$ 、抵抗  $W$ 、作用位置  $L$  共に有意

表 3 1 曲げモーメントM<sub>1</sub>に関する分散分析表 (湾曲型センサアーム)

	平方和	自由度	分散	分散比
速度	0.549	3	0.183	1.09
作用点	26.259	3	8.753	51.92**
誤差	1.517	9	0.169	
計	28.325	15		

\*\* : 1%有意水準

表 3 2 曲げモーメントM<sub>2</sub>に関する分散分析表 (湾曲型センサアーム)

	平方和	自由度	分散	分散比
速度	0.335	3	0.112	1.04
作用点	16.533	3	5.511	51.42**
誤差	0.965	9	0.107	
計	17.832	15		

\*\* : 1%有意水準

表 3 3 抵抗Wに関する分散分析表 (湾曲型センサアーム)

	平方和	自由度	分散	分散比
速度	0.11	3	0.04	1.33
作用点	4.53	3	1.51	50.33**
誤差	0.25	9	0.03	
計	4.88	15		

\*\* : 1%有意水準

表 3 4 作用点Lに関する分散分析表 (湾曲型センサアーム)

	平方和	自由度	分散	分散比
速度	0.0184	3	0.0061	4.08*
作用点	0.3552	3	0.1184	78.87**
誤差	0.0135	9	0.0015	
計	0.3870	15		

\*\* : 1%有意水準、\* : 5%有意水準

差があり、直線型センサアームに比べ、特に作用位置について誤差の影響が小さくなった。

なお、サンプリング間隔10msでデータ処理した結果、曲げモーメントから計算した抵抗の作用点の値にばらつきがあり、ノイズと思われる値もあり、この測定値に基づいて制御を行うには、測定値を移動平均するなどの対策が必要と考えられた。

以上の室内実験の結果から、歪みゲージを用いたセンサアームにより、ハクサイの株元で畝の肩部の凹凸を検出できる見通しが得られた。



### 第3節 現地適応性

試作したトラクタ直装用収穫機の品種、栽培様式、圃場条件等への適応性を産地において検討した。

#### 1. 試験方法

ハクサイ産地である群馬県館林市及び邑楽郡の農業者の圃場で作業精度試験と作業能率試験を行った。

##### (1) 作業精度試験

収穫部の高さ制御について行った予備試験では、作業開始時に一度適切な位置に収穫部を設定すれば、その後は、各畝を収穫した後に回行のため作業部を上昇させても、次の畝を収穫する際は収穫部を容易に同一位置に設定することができた。しかし、ハクサイの外葉が畝上に広がっている条件では、作業中に外葉が検出シューに絡み付き、適切な制御が行えない場合があった。このような条件では、各畝の作業開始時に高さ制御装置を作動させて適切な位置に収穫部を設定し、その後は制御を停止して一定位置に固定した方が安定した作業が行えた。

ここでまず、予め収穫部を適切な位置に設定し、その後は制御を停止する方法で作業精度試験を行った。供試品種は「北洋」で、スクリュオーガの山部先端から切断刃までの距離（以下切断刃の高さという）を6及び12mmに、作業速度を0.2及び0.25m/sとした。作業は一方向作業とし、運転者及び荷台部への積込み作業者の2名組作業で行った。

次に、「隆徳」を供試して、高さ制御を行った場合の作業精度試験を行った。「隆徳」は晩生の品種であるが、試験時はやや未熟ぎみで外葉枚数が平均9枚で、結球部質量は平均2.5kgと晩生の品種としては小さく、引抜き抵抗は260Nと大きな値であった。なお、晩生品種では慣行で行われる方法にしたがって、収穫時には外葉を結束した状態で収穫し、条間、株間とも広くそれぞれの平均値は760mm、520mmであった。

作物条件は表35に示すとおりで、表36に示す条件で2反復の試験を行った。

作業精度の調査は、収穫した結球部について、外葉、根茎部の切断状態を観察し、切断位置については、「適切り」、「深切り」、「浅切り」に、また切断状態については、結球部の底面に対し「平行」

表35 作物条件

品種	外葉部mm		結球部mm		結球質 量kg	外葉 枚数	引抜き 抵抗 N	畝高さ mm	条間 mm	株間 mm
	高さ	幅	高さ	幅						
北洋	431	718	301	197	2.49	8.6	162	98	583	481
隆徳	437	294	278	205	2.50	9.2	259	154	759	515

表36 作業精度試験条件

試験 番号	供試 品種	刃の* 高さ mm	作業 速度 m/s	自動 制御
1	北洋	6	0.20	無
2	"	12	"	"
3	"	12	0.25	"
4	隆徳	6	0.20	有
5	"	"	"	無

\*スクリュオーガの山部先端から切断刃までの距離

か「斜め」かを判定し、「平行適切り」、「平行浅切り」、「斜め浅切り」、「平行深切り」、「斜め深切り」の5段階に分類して各々の個数割合を調査した。これとは別に、根が完全に切断されていない結球と損傷を受けた結球の個数割合も調査した。

## (2) 作業能率試験

作業精度試験と同一品種の「隆徳」を供試し、2

名の組作業で、一方向作業で作業能率試験を行った。収穫時は収穫部の高さを自動制御し、一畝収穫する毎に後退して、荷台に収納したものを圃場端まで搬出し、積載量が350kgの軽トラックに積替えた。なお、積替えの際に、浅切り状態で一部根と土壌が付着している結球は、他の結球が土で汚れないよう包丁で切除した。その後、軽トラックで圃場から約300m離れた作業場まで運搬し、再調製した。作業能率の調査は、以上の一連の作業について作業毎の所要時間を測定した。

## 2. 試験結果及び考察

### (1) 作業精度試験

作業精度試験結果を表37に示す。いずれの試験区でも深切りはなく円滑な作業が行え、機械収穫後に人力で再調製した結球は全て市場出荷が可能であった。

切断刃の高さの影響について、「北洋」を供試した試験で刃の高さを6mmと低く設定すると浅切りの割合が増加し、根の一部が未切断のものもあった。また、外葉枚数の多い「隆徳」の方が「北洋」より浅切り割合は高かった。

表37 作業精度試験結果

試験 番号	切断精度 %					根付 損傷	
	平行 適切	平行 浅切り	斜め 浅切り	平行 深切り	斜め 深切り	割合 %	割合 %
1	58	32	10	0	0	5	5
2	70	28	2	0	0	0	0
3	60	40	0	0	0	3	13
4	0	75	25	0	0	30	0
5	0	60	40	0	0	25	5

作業速度の影響は、「北洋」の試験についてみると、0.25m/sと速いと浅切り割合が増加し、大径の結球は収穫部フレームで損傷を受ける場合があった。なお、0.25m/sの作業速度では、荷台での積み込み作業者の負担が大きく長時間作業は困難と思われた。

結球部を結束した「隆徳」について、収穫部の高さの自動制御を行った場合には、斜め切りがやや減少し良好な結果が得られた。

(2) 作業能率試験

作業能率試験の結果を表38に示す。2名組作業における結球の切り取りから圃場外への搬出とトラックへの積み替えまでの作業時間は4.9h/10aであり、圃

場作業効率は41%と低かった。これは、一部根の付着した結球を調製しながら収穫機からトラックへ積み替える時間が47%と多くを占めたためである。また、人力による再調製の時間は作業員2名で10.2h/10aであった。合計では30.2人時/10aとなり、慣行の秋冬どりハクサイの収穫・調製労働時間29h/10aと同程度であった。今後、トラックへの積み替え作業などの改善により圃場作業効率を高めることにより、作業能率の向上を図ることは可能と考えられる。

表38 作業能率試験結果

作業 速度 (m/s)	人員	収穫作業時間(h/10a)				トラック 移動 (h/10a)	再調製 時間 (h/10a)	燃料 消費量 (L/h)
		収穫	移動	積込	合計			
0.20	2	2.0	0.6	2.3	4.9	0.9	10.2	1.25

#### 第4節 摘要

1. ハクサイ収穫後の畝形状を調査した結果、畝方向でみた畝頂部と溝部の凹凸には高い相関がみられた。このことから、トラクタ装着用収穫機の主フレームをゲージホイールで支持し溝の凹凸に追従させることによって、収穫部が畝頂部の凹凸に追従し得ると考えられた。
2. 収穫部の畝面からの相対位置を適切に設定するためにオンオフ制御による高さ制御装置を試作した。移動土槽により60mmの段差を検出シューが通過する場合の応答を調査した結果、高さ制御装置は、収穫部先端の移動量で10mmに相当する不感帯を設けると、0.2~0.5sの動作遅れがあるが安定して作動した。
3. 現地適応性を検討するため、群馬県館林市と邑楽郡の農業者圃場で作業精度試験と作業能率試験を行った。  
自動制御装置により高さの設定が容易に行え、  
結束した「隆徳」を供試した場合、制御装置は良

好に作動した。「北洋」を供試した場合は、検出シューにハクサイの外葉などが絡むことがあり、高さ設定時に自動制御を作用させ、作業中は自動制御を停止させて収穫を行った。いずれの場合も深切り球はなく、再調製により全ての結球を市場に出荷できた。

作業速度は2.5秒/個程度で連続作業が可能であった。しかし、圃場外への搬出とトラックへの積替え、再調製に多くの時間を要したため、圃場作業効率は41%と低かった。2名組作業における結球の切り取りから圃場外への搬出とトラックへの積替えまでの作業時間は4.9h/10a、また、人力による再調製は20.4人時/10aで、収穫総作業時間は30人時/10a程度であり、慣行作業と同程度の能率であった。

わが国の農業の中で、近年は生産農家の高齢化、労働力不足等により、野菜の供給力の低下が懸念されており、地域における労働力の確保、生産の省力化等により野菜生産の担い手となる経営体を育成し、安定的な供給体制を確立することが急務となっている。

このようなことから、本研究では、作付け面積が減少傾向であるが、なお、野菜の中では4番目に多く栽培されているハクサイを対象とし、運搬以外は全て人力で作業が行われている収穫作業の省力化を図るために、能率的な収穫機を開発することを目的とした。一連の開発研究では、ハクサイの引抜き・搬送機構、外葉と根茎部の切断機構の開発改良を進め、これらを組み込んだ歩行用収穫機とトラクタ装着用収穫機を試作し、作業性能を確認した。以下にこれらの研究内容を総括して述べる。

1. 第1章では、ハクサイ生産の概要と代表的な産地の収穫作業を調査し、機械化作業体系を検討し、

次の結果を得た。

- (1) ハクサイは、単位面積当たり収量は増加しているものの、作付け面積は漸減している。
- (2) 収穫・調製作業は全て人力で行われており、10a当たり労働時間は36～42時間と多くの労力を要している。
- (3) 現状の市場への出荷基準にそった調製状態にするには、機械で根茎部を切断した後、人力による再調製が必要となる。
- (4) 収穫機は、結球の切り取りと圃場外への運搬作業の省力化を目的として、この作業を同一工程で行い、その後、再調製と結束又は箱詰めを圃場外で定置して行うという機械化作業体系とする。
- (5) 1畝に1条栽培された条件で、一斉収穫を前提とした収穫機とする。

2. 第II章では、収穫機構を開発する際の基礎資料となるハクサイの形状と質量及び引抜き力の調査を行い、次の結果を得た。

- (1) 8品種のハクサイについて、各部の形状と質量を調査した。株底の凹みは、収穫時期や品種

により異なり、9～27mmの範囲であるが、1品種についての標準偏差は2～5mmであり、外葉と根茎部を切断する際、株底を基準として一定位置で切断することにより適切な切断が行える見通しが得られるなど、収穫機を設計する際の基礎資料が得られた。

(2) ハクサイは、株底が地面に接しているため、機械で収穫するには、まず引抜き、外葉を側方から挟持して搬送中に外葉と根茎部を切断する方法が適していると考えられた。

(3) 引抜き試験の結果、黒ぼく土の圃場は引抜き力が平均110Nと小さいが、灰色低地土の圃場では、平均250Nと大きく、機械で引き抜く際、土壌を膨軟にすることが必要と考えられた。また、30mm程度引き抜くことによって根部の根毛は土壌から切り離されていることが検証された。

3. 第Ⅲ章では、引抜き機構と切断機構について検討し、基礎実験から次の結果が得られた。

(1) ハクサイの搬送は、挟持ベルトにより損傷を発生することなく行うことができた。

(2) 挟持ベルトの下にスクリュオーガを組み合わ

せることにより、ハクサイを引き抜くことができた。なお、引抜きの際、スクリュオーガで損傷を起こさないようなスクリュオーガの構造を更に明らかにする必要がある。

(3) 外葉と根茎部の切断は、周速6m/s程度の回転円板刃による方法が適当であり、スクリュオーガと挟持ベルトの間に設けて、スクリュオーガ上面を基準面として、ハクサイの株底から一定位置で切断除去することができた。

4. 第Ⅳ章では、基礎実験で見通しの得られた引抜き・搬送機構と切断機構を組み込んだ歩行型収穫機について検討した。歩行型収穫機の試作、改良と性能試験から、次の結果が得られた。

(1) ハクサイをスクリュオーガと挟持ベルトで引抜き搬送し、回転円板刃で外葉と根茎部を切断除去し、外葉と根茎部とともに結球部を圃場に列状に放置していく方式の歩行型収穫機を試作した。試作機は0.17～0.28m/sの作業速度で連続して収穫できた。

(2) 引抜き・搬送の際に損傷が発生し、また、円板刃による切断位置が適切でなく、結球部を切

断する場合があった。

5. 第V章では、トラクタ直装用収穫機について検討し次の結果が得られた。

(1) 2軸スクリュオーガ、挟持ベルト、回転円板刃、エレベータ、荷台からなるトラクタ直装用収穫機を試作した。

(2) 作業速度0.2m/sでハクサイを引き抜き、搬送中に外葉と根茎部を切断し、結球部を荷台まで搬送する作業が連続してできた。また、荷台には約100個のハクサイを収納し圃場外へ搬出することができた。なお、作業中は、荷台に補助作業者が乗ってエレベータから荷台への移し替え作業を行った。

(3) 挟持ベルトに対するスクリュオーガの搬送速度比を1.13とした場合に斜め切りの割合が減少した。

(4) 結球部質量の異なる3品種を供試し、スクリュオーガピッチの切断精度に及ぼす影響を調査した結果、品種により異なり、一定の傾向は見られなかったが、引抜き力が小さく中庸な質量であった錦秋の結球葉損失割合が10%以下で、

最も良好な結果が得られた。

(5) ブリードオフ回路とメータイン回路で油圧流量調節を行った場合の収穫作業時の所要動力は、それぞれ0.4~1.5kW、1.5~1.8kWであった。メータイン回路の方が作業中の油圧回路の流量と圧力の変動は少く、収穫作業精度がやや良好であった。

6. 第VI章では、トラクタ直装用収穫機の高精度化を図るため、収穫部の高さ制御装置についての検討と収穫機の現地適応性の検討を行い、次の結果が得られた。

(1) ハクサイ収穫後の畝形状の調査結果から、トラクタ装着用収穫機の主フレームをゲージホイールで支持し溝の凹凸に追従させることによって、収穫部が畝頂部の凹凸に追従し得ると考えられた。

(2) 収穫部の畝面からの相対位置を適切に設定するためにオンオフ制御による高さ制御装置を試作した。移動土槽で60mmの段差を検出シューが通過する際の高さ制御装置の応答は、収穫部先端の移動量で10mmに相当する不感帯を設けると、

0.2~0.5sの動作遅れがあるが安定して作動した。

(3) 群馬県館林市と邑楽郡の農業者圃場で現地適応性を検討した。

自動制御装置により高さの設定が容易に行え、外葉を結束した「隆徳」を供試した場合、制御装置は良好に作動した。「北洋」を供試した場合は、検出シューにハクサイの外葉などが絡むことがあり、高さ設定時に自動制御を作用させ、作業中は自動制御を停止させて収穫を行った。いずれの場合も深切り球はなく、再調製により全ての結球を市場に出荷できた。

作業速度は2.5秒/個程度で連続作業が可能であった。しかし、圃場外への搬出とトラックへの積替え、再調製に多くの時間を要したため、圃場作業効率は41%と低かった。2名組作業における結球の切取りから圃場外への搬出とトラックへの積替えまでの作業時間は4.9h/10a、また、人力による再調製は20.4人時/10aで、収穫総作業時間は30人時/10a程度であり、慣行作業と同程度の能率であった。

## 謝辞

本研究の遂行ならびに取りまとめに当たり、親切なご指導を賜った岡山大学農学部芝野保徳教授に深甚の謝意を表します。また、本論文をご校閲頂き、有益なご助言とご指摘を賜った岡山大学農学部毛利建太郎教授に心より謝意を表します。

また、本論文のとりまとめの機会を与えて下さった芦沢利彰前生物系特定産業技術研究推進機構理事、管原敏夫理事、橋本寛祐前企画部長、市川友彦生産システム研究部長(元研究調整役)に心よりお礼申し上げますとともに、取りまとめに当たりご校閲を頂き、有益なご指摘を頂いた長木司企画部長、笹谷定夫企画第2課長に心よりお礼申し上げます。

本研究の遂行並びにとりまとめに当たっては、後藤美明元農業機械化研究所研究第4部主任研究員、山本健司生物系特定産業技術研究推進機構園芸工学研究部野菜生産工学研究単位主任研究員、鈴木光男元農業機械化研究所研究員、荒木献次埼玉大学工学部教授にご指導を頂いた。さらに、竹村義一元農業機械化研究所付属農場長、千葉哲朗生物系特定産業



技術研究推進機構付属農場長には供試ハクサイを栽培して頂き、また、松山株式会社には試作収穫機の製作にご協力を賜った。記して謝意を表します。

さらに、試作機の現地適応性試験では、群馬県農業総合試験場金子一也経営部長、同村田公夫機械作業課長、茨城県農業試験場、茨城県結城普及所の関係者の方々にご協力を頂いた。ここに記して関係各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 食品流通局野菜振興課：平成5年度野菜・花き・茶業対策の概要，野菜・茶業試験場，5-7，  
1993
- 2) 農林水産省経済局統計情報部：ポケット農林水産統計 1971年版，農林統計協会，206-214，  
1971
- 3) 農林水産省経済局統計情報部：ポケット農林水産統計 1976年版，農林統計協会，220-232，  
1976
- 4) 農林水産省経済局統計情報部：ポケット農林水産統計 1981年版，農林統計協会，236-248，  
1981
- 5) 農林水産省経済局統計情報部：ポケット農林水産統計 1987年版，農林統計協会，221-236，  
1987
- 6) 農林水産省経済局統計情報部：ポケット農林水産統計 1993年版，農林統計協会，230-245，  
1993
- 7) 農林水産省経済局統計情報部：平成3年産野菜

- 生産費, 農林統計協会, 29-83, 1993
- 8) 日本農業機械化協会: 露地野菜の栽培様式に関する調査, 日本農業機械化協会, 31-38, 1978
- 9) 野菜供給安定基金: 野菜標準規格のてびき, 野菜供給安定基金, 11, 75-79, 1980
- 10) 農業機械学会編: 農業機械ハンドブック, コロナ社, 931-934, 1984
- 11) B. A. Stout, F. W. Bakker-Arkema, S. K. Ries: Developing a Mechanical Cabbage Harvester, Transaction of the ASAE, 9(6), 860-861, 1966
- 12) 海外における農業機械・施設の有意製品 (No.2), 農業機械化研究所, 69, 1976
- 13) 海外における農業機械・施設の有意製品 (No.4), 農業機械化研究所, 78-80, 1977
- 14) B. L. Harriott, K. K. Barnes: Mechanical Selection of Crisphead Lettuce for Harvest: Transaction of the ASAE, 7(3), 195-196, 199, 1964
- 15) R. E. Garrett, W. K. Tallay: Use of Gamma Ray Transmission in Selecting Lettuce for Harvest, Transaction of the ASAE, 13(6),

- 820-823, 1970
- 16) P. A. Adrian, M. Zahara, D. H. Lenker, W. B. Goddard, G. W. French: A Comparative Study of Selectors for Maturity of Crisphead Lettuce, Transaction of the ASAE, 16(3), 253-257, 1973
- 17) D. H. Lenker, P. A. Adrian, G. W. French, M. Zahara: Selective Mechanical Lettuce Harvesting System, Transaction of the ASAE, 16(6), 858-861, 866, 1973
- 18) D. H. Lenker, P. A. Adrain: Field Model of a X-Ray System for Selecting Mature Heads of Crisphead Lettuce, Transaction of the ASAE, 23(1), 14-19, 1980
- 19) 農林水産技術会議事務局研究成果131: 野菜・畑作物の生産流通技術に関する総合研究, 農林水産技術会議事務局, 43-63, 1980
- 20) 山本健司: 結球葉菜類収穫機の開発研究, 昭和60年度研究報告会資料, 農業機械化研究所, 53-76, 1986
- 21) 唐橋 需, 井上喬二郎, 澤村宣志: 結球野菜収穫機の開発研究, 農事試験場報告 33, 19-56,

1981

- 22) 野菜試験場栽培部機械化栽培研究室：葉菜収穫作業技術の改良に関する試験，昭和52年度農業機械総括検討会議成績概要集，農事試験場，97，1978
- 23) 山下勝男：キャベツ収穫の機械化に関する研究（第1～3報），滋賀県農業試験場報告第18号，17-27，1976，第19号，54-58，1977
- 24) 愛知農総試基礎研究部農業機械研究室：キャベツ栽培の機械化試験 収穫調製機械化試験，昭和53年度農業機械開発改良試験研究打合せ会議資料No.4 野菜・特作関係成績概要，農業機械化研究所，45-46，1979
- 25) 中国農試作物部機械化研究室：域内市場に向けての高収益出荷技術の開発 - 適熟野菜の収穫技術開発，昭和62年度総合農業試験研究成績・計画概要集 - 作業技術，農業研究センター，112，1988
- 26) 柴田洋一，後藤美明，井尻勉，田坂幸平，雁野勝宣：レタス収穫機の試作，第46回農業機械学会年次大会講演要旨，87，1987
- 27) 行枝亮：結球野菜の選択収穫(1) - 選択収穫機

の試作 - ，第40回農業機械学会年次大会講演要旨，185，1981

- 28) 行枝亮：静電容量法によるレタスの結球度検出，第45回農業機械学会年次大会講演要旨，187，1986
- 29) 市戸万丈，入江道男：ハクサイ収穫作業機械化のための基礎的研究，中国農業試験場報告A第26号，51-66，1979
- 30) 茨城農試作業技術部畑作業技術研究室：野菜の紙筒利用機械移植及び収穫作業に関する試験 野菜の収穫作業に関する試験，昭和53年度関東東山東海地域（農業機械）試験研究打合せ会議成績概要集，農事試験場，144，1979
- 31) 三重県農業技術センター営農部農機研究室：ハイクリアランストラクタによる野菜機械化一貫体系の確立 現地実証試験，昭和56年度関東東山東海地域（農業機械）試験研究打合せ会議成績概要集，農業研究センター，192，1982
- 32) 野菜園芸大事典編集委員会：野菜園芸大事典，養賢堂，1226，1977
- 33) 河野照義：蔬菜栽培全編，養賢堂，448-474，1974

- 34) 農業技術体系 野菜編 7 キャベツ、ハクサイ、  
ホウレンソウ、ツケナ類, 農山漁村文化協会,  
1979
- 35) 日本機械学会編: 機械工学便覧, 日本機械学会,  
7-39, 1977
- 36) 大西清: 機械設計製図便覧, 理工学社, 8-240  
- 8-245, 1976
- 37) ばね技術研究会: ばねの設計, 丸善株式会社,  
119-126, 1971
- 38) 日本工業規格: JIS B 4219 メタルソー, 日本規  
格協会, 1981
- 39) 日本工業刃物株式会社: 丸ナイフ規格表
- 40) 渡辺理: 歪みゲージとその応用, 日刊工業新聞  
社, 1977
- 41) 油圧技術便覧編集委員会: 油圧技術便覧, 日刊  
工業新聞社, 199, 338-341, 1967
- 42) 塩崎義弘, 中村和夫: 機械回路 - 油圧・空圧・  
制御 -, 98-100, 1973
- 43) 日本油空圧学会編: 油空圧便覧, 日本油空圧学  
会, 117-130, 1989
- 44) 唐橋需: プラウ(駆動ディスクハロー型)の試  
験方法について, 農業機械化研究所昭和59年度

- 研究報告会資料, 9-13, 1985
- 45) 農林水産試験研究のための統計的・数学的方法  
農林水産会議事務局, 60-66, 1976
- 46) 計測自動制御学会編: 自動制御ハンドブック,  
オーム社, (基礎編) 259-306,  
(機器・応用編) 373-426, 1983
- 47) 森田矢次郎: 計測と制御, 朝倉書店, 162-171,  
1984
- 48) 堀井武夫訳: 非線形自動制御, コロナ社, 391,  
1969
- 49) 川村登: 農業機械・施設の自動化の研究動向,  
農業機械学会誌, 38(3), 424-437, 1976
- 50) 中川健治ほか: 茶葉摘採機の刈刃位置自動  
制御(第1報~4報), 農業機械学会誌, 41(2),  
257-261, 1979, 41(3), 467-480, 1979, 41(4),  
581-585, 1979, 42(1), 85-89, 1980
- 51) 石井次郎: 自動制御入門, 啓学出版, 56-60,  
1984
- 52) 大島康次郎, 荒木献次: サーボ機構, オーム社,  
7-35, 1983
- 53) 岡村勉夫: OPアンプ回路の設計, CQ出版,  
210-214, 1981

54) 岡村 勉夫 : 解析ディジタル回路, C Q 出版,

125-126, 1987

55) 山崎 弘郎 : 電子回路技術, 東京大学出版会,

112-113, 1984

56) 木村 英紀 他 : PC9801制御系設計プログラミング,

日刊工業新聞社, 44-73, 1987

57) 田口 玄一 : 実験計画法 上, 丸善株式会社,

1-33, 1976

