中型トラクタ用フォレンジハーベスタによる飼料作物の収穫作業に関する研究

第 1 報 青刈リトウモロコシ*

柿沼計**・高木清継**・杉本清治**

Shin KAKINUMA, Kiyotsugu TAKAGI and Seiji SUGIMOTO: Studies on the Feed Crop Harvesting with Medium Type Tractor and Forage Harvester. I. Corn for Silage.

1. は じ め に

飼料作物の収穫機であるフォレンジハーベスタは、従来、牧場や種畜場に導入され、形式も大型トラクタ用の機種が多く利用されている。最近ではフォレンジハーベスタの利用も一般化されるようになり、酪農協、牧草生産組合、酪農家など所有範囲も拡大されつつある。形式も酪農協、牧草生産組合などは大型トラクタ用フォレンジハーベスタを所有する例が多く、一方、個別経営の酪農家では、中型トラクタ用フォレンジハーベスタを共有もしくは個人有とする利用が多い。

筆者らは、中型トラクタ用フォレンジハーベスタを対象に、導入機種をはじめ、開発された国産機による飼料作物の収穫作業における作業性能を検討してきた。とくに昭和 43 年から 45 年度にわたり、飼料作物収穫作業の機械化に関する特別研究として、中型トラクタを基幹とした飼料作物の収穫作業にお

ける所要馬力、作業精度、作業能率など性能全般について検討したので、それらの結果から得られた知見をここに報告し、批判をいただきたいと思う。

なお、本研究を遂行するに当たって種々御指導、御協力をいただいた野菜試験場長（元畑作部長）長谷川新一氏、農事試験場畑作部長松実成忠氏、草地試験場施設機械部長佐藤清美氏に対し深く感謝の意を表したい。

2. 試 験 方 法

1) 試験期間、場所

- (1) 試験期間：昭和 44 年～ 45 年
- (2) 試験場所：農事試験場畑作部圃場
- (3) 土性：沖積性火山灰土（荒川沖積土客土）

2) 供試作物および耕種概要

- (1) 供試作物：品種、交 7 号（青刈リトウモロコシ）
- (2) 耕種概要（第 1 表参照）

第 1 表 供 種 作 物 の 耕 種 概 要

作物名	品 種	栽 植 様 式		播 種 量	播 種 期	施 肥		施 肥 期	除 草 剤 散 布	中 耕 除 草
		畦 間	株 間			種 類	施 肥 料			
青 刈 トウモロコシ	交 7 号	cm 70	23 ~ cm 25	kg/10a 3.0	月 日 5.12	8-8-8	kg/10a 100	月 日 5.12	月 日 5.22	月 日 6.10

注) 1) コーンプランタにより播種 2) 無培土栽培 3) 除 草 剤
4) 中耕除草：カルチベータ

※ 昭和 47 年 12 月 29 日受理
※※ 農事試験場畑作部

3) 収穫時期の設定および収穫時における供試作物の性状

(1) 収穫時の設定

収穫時期を播種後の経過日数 60 日から 110 日まで
の期間において 10 日間隔で収穫するため第 2 表
のように設定した。

(2) 収穫時における供試作物の性状 (第 3 表参
照)

4) 供試機械

第 2 表 収 穫 時 期 の 設 定

項 目	試験区 No.					
	1	2	3	4	5	6
播種後の経過日数 (日)	60	70	80	90	100	110
収穫時期 (月-日)	7-12	7-22	8- 1	8-11	8-21	9- 1

第 3 表 供 試 作 物 の 性 状

試験区 No.	経過 日数	項目 栽 種 本 数	1 m 区間の			茎 の 太 さ			土 壌 水 分 (乾土比)
			草 丈	収 量	含 水 率	長 径	短 径	硬 さ	
	日	本	cm	kg/10a	%	mm	mm	kg/cm ²	%
1	60	5.4	227	4.30	83.0	24.0	23.5	29.1	25.7
2	70	5.3	228	4.70	82.8	24.2	22.6	31.2	28.4
3	80	5.4	230	4.40	79.5	23.2	22.1	33.5	20.6
4	90	5.6	225	4.27	78.0	25.0	23.2	34.0	27.1
5	100	5.3	220	4.13	75.0	24.0	21.5	32.0	19.6
6	110	5.3	216	3.40	72.5	23.6	22.2	32.0	24.6

- 注) 1) 栽植本数の測定: 10 m 区間 3 点についての平均値
2) 茎の硬さ測定: 山中式硬度計による。
3) 土壌水分測定: 地表より 3.0 cm 部位を採取

(1) 作業機: フォレージハーベスタ (サイドマ
ウント式シングルフレール型)

(2) トラクタ: シバウラ S-1400 (24.0ps)

(3) トレーラ: 2 輪式 (三方ダンブ型 1.25 トン積)

第 4 表 供 試 機 の 諸 元

項 目	規 格
全 長	1 6 7 0 m/m (作業時)
全 幅	2 5 0 0 m/m
全 高	2 7 5 0 m/m (シュート付) 1 3 7 0 m/m (フード付)
全 重	3 6 0 k g
刈 幅	1 0 0 0 m/m
刈高さの範囲	3 0 ~ 2 0 0 m/m
刈 刃 の 形 状	カ ッ プ 形
刈 刃 の 回 転 径	5 8 0 m/m φ

(4) 供試フォレージハーベスタの諸元 (第 4 表
および第 1 図参照)

5) 供試測定器

(1) ストレンメータ: トランジスタ式, 共電製
D P M - 6 C T 型

(2) 記録計: 電磁オシログラム, 共電製 RM
V - 3 3 型 (ガルバノメータ固有振動数 2,000

c/s)

(3) トルクメータ: P

T O 着脱式 (120kg/m

共電製 T D 4 A S 435

型)

6) 試験区の構成 (第 5
表参照)

3. 試験結果および考察

1) 負荷特性

中型トラクタを基幹動
力としたフォレージハー
ベスタによる青刈りトウ
モロコシの収穫作業につ
いて, 収穫時期 (経過日
数) と作業速度 (処理量)
との組合せにおける P T
O 軸トルクの変化および
所要馬力, 毎秒処理量当

第 1 図 供 試 機 の 概 要

たりの所有馬力など, 負荷特性について整理すると
次のようである。

第5表 試験区 の 構 成

項 目	試 験 区 別
作 業 速 度	0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5 m/s
P T O 軸回転数	常用回転数 540 r.p.m (エンジン回転数 2300 r.p.m)
ロータ回転数	1460 r.p.m
刈 刃 ビ ッ チ	1.2, 2.0, (2.3), (4.9)

注) ただし、0.7および1.5m/sは副変速位置をH系列とした。

(1) P T O 軸トルク

収穫時期と作業速度を変化させた場合のP T O 軸トルクを平均値で示したのが第2図である。

なお、参考までに最大トルクを示すと第3図のようである。

P T O 軸トルクの変化を全体的にみると、各区とも変速位置L系列では、作業速度を増速するにしたがいトルクはほぼ直線的に増大し、その範囲は9～16kg-mで、速度を増加することによって処理量の増加がトルクに影響していることを示している。

しかし、変速位置H系列では作業速度0.7m/s/Lにおいて、トルクは15～16kg-mを示しているのに

第2図 収穫時期と作業速度との組合せによるP T O 軸トルク

対して、1.5m/sの条件下では速度の減少が著しく、1.0m/s程度にまで減少し、同時にトルクも15～12kg-mに低下している。

次に、収穫時期別におけるトルクの変化をみると

第3図 収穫時期と作業速度との組合せによるP T O 軸最大トルク

各区間に大差は認められないが、収穫時期の早いNo. 1区および晩刈り区のNo. 5, 6区が9～15kg-mの範囲で、No. 2, 3, 4区の12～16kg-mに比較してトルクは小さい値を示している。

これらの結果から、収穫時期がトルクに与える影響については明確な差異は認められないが、播種後の経過日数からみて70～90日目当たる収穫時期においてトルクは増大する傾向にある。

このことは、収量の増加や茎稈の硬化などがトルクに影響しているものと推察される。

したがって、この結果から作業速度(処理量)とトルクとの関係において、速度の減少あるいはトルクの低下などの変動により、刈取りが不可能な状態となる変速位置H系列の場合に、速度が1.0m/s程度に減少していることからみて、中型トラクタを基幹とするフォレンジハーベスタにより青刈リトウモロコシを収穫する場合の作業限界速度は、変速位置L系列で1.0m/s H系列では0.7m/s程度で、P T O 軸トルクは15～16kg-mとみられる。

(2) P T O 軸所要馬力

収穫時期と作業速度を変化させた場合の所要馬力の変化を、P T O 軸平均トルクより求めたものが第4図である。

平均所要馬力の変化を全体的にみると、各区とも変速位置L系列では速度を増加するにしたがい所要馬力は増大し、7～11psの範囲となり、H系列の場合には0.7m/sにおいて13～15psを要している。

これに対して、1.5m/s に作業速度を変速した場合
には、作業速度は減少し、同時に所要馬力も8～10
ps に低下している。

第4図 収穫時期と作業速度との組合せによるPTO軸平均所要馬力

次に、収穫時期別による所要馬力の変化をみると、各区分には大差は認められないが、傾向としてはNo. 1, 5, 6区は7～10ps, No. 2, 3, 4区は9～11psとなり、収穫時期の早いNo. 1区と晩刈りの5, 6区の中間に当たるNo. 2, 3, 4の各区は所要馬力が高いことを示しているが、これらの要因についてはトルクで述べたと同じである。

したがって、各組合せと所要馬力との関係からは明確な差異は認められなかったが、作業速度(処理量)に対する所要馬力の変化、作業速度の減速変動などからみて、供試トラクタとフォレンジハーベスタとの組合せにより、青刈りトウモロコシを収穫する場合の作業限界馬力は、平均所要馬力として10～12ps程度とみられる。

(3) 毎秒処理量当たりの所要馬力

青刈りトウモロコシの生育の推移にともない、収量や茎稈の硬度は異なってくる。このような変化が収穫時にトルクや所要馬力に与える影響についてはすでに述べた通りであるが、それらの要因が毎秒処理量当たりの所要馬力に影響を及ぼしているのを明らかにするため、各組合せについてみたものが第5図である。毎秒処理量当たりの所要馬力を各組合せについてみると、収穫時期が遅くなるにしたがい毎秒処理量当たりの所要馬力は全体的に増大する傾向を示している。各区分における所要馬力の差は0.3～2.5 ps-s/kgの範囲で、No. 3区が他区に比べて最も馬力を要していることを示している。

第5図 処理量当たりの所要馬力

また、作業速度との関係から所要馬力の変化をみると、変速位置L系列の場合には作業速度が低速の場合において毎秒処理量当たりの所要馬力は最も大きく、7.3～9.8 ps-s/kgの範囲を示している。しかし、速度を増加するにしたがつて所要馬力は低下し、作業速度1.0m/s程度では3.0～4.0ps-s/kgと所要馬力は小さくなる。

さらに、変速位置H系列での所要馬力をみると、作業速度0.7～0.8m/sで5.5～8.8 ps-s/kgと変速位置L系列に比較して所要馬力は大きな値を示し、作業速度1.5 m/sに設定した条件では速度が1.0～1.1 m/sに減速し、所要馬力の低下も著しく2.5～3.0 ps-s/kgとなり、実質的には刈取り作業が不可能となった。

以上のように、毎秒処理量当たりの所要馬力は収穫時期別にみて、早刈りから晩刈りになるにつれて所要馬力は増加することを示している。また、作業速度の違いによっては低速時に所要馬力が大きく、増速することにより所要馬力は小さくなることを示しているが、このことは、刈刃ピッチの大小が影響しているものと推察される。

つまり、周速度が一定条件でも作業速度の変化によって、刈刃ピッチが変わるため、低速時には刈刃ピッチが小さくなり、刈取時において再切断することが所要馬力を大きくする原因と思われる。

一方、速度を増加することにより刈刃ピッチが大

きくなるため、所要馬力は小さくなることを示すものと考えられる。

このような結果から、毎秒処理量当たりの所要馬力としては、作業速度 $1.0 \sim 1.2 \text{ m/s}$ ロータ回転数： (1460 r.p.m) 刈りピッチ $4 \sim 5 \text{ cm}$ の条件下では $3 \sim 4 \text{ ps-s/kg}$ の小馬力で処理できることが明らかになった。

2) 作業精度

(1) 切断長

供試フォレージハーベスタの刈刃構造からみて、刈取ったものの切断長さに直接影響する要因としては、切断ピッチ（刈刃の周速度と作業速度）が関係するものと思われる。現在、フォレージハーベスタで収穫したものに対しての取扱いや、嗜好性など給

与面からみた切断長の大きさについての基準は明らかでない。

したがって、ここでは収穫時期と切断ピッチとの組合せにおける切断長の変化を累積重量割合で示したのが第6図である。

各組合せについて切断長の変化を全体的にみると、各時期とも切断ピッチが小さい場合には細断される割合が大きく、切断ピッチが大きくなるにしたがって切断長の大きい割合が増加する傾向を示している。

次に、収穫時期と切断長さとの関係について切断長の変化をみると、収穫時期が早刈りから晩刈りになるにつれて各切断ピッチとも、切断長さの大きい割合が増加する傾向にある。これらは茎稈の硬化や繊維質の強度変化などが原因し、切断長に影響しているものと推察される。

(2) 刈取り損失

供試フォレージハーベスタによる収穫時の刈取り損失に影響する要因としては、刈高さと切断ピッチ（刈刃の周速度と作業速度）が関係するものと思われる。したがって、各組合せにおける刈取り損失の状態を 10 a 当たりの換算損失量と収穫時の収量に対する損失割合で示したのが第7図である。

各組合せにおける損失量を全体的にみると、収穫時期が遅く、また、作業速度を増加した場合には刈取り損失量が増加する傾向を示している。損失となる内訳は収穫時期の早い $\text{No. 1} \sim 60$ 日では茎葉部が多く、 $\text{No. 3} \sim 80$ 日以降になると損失量の約 60% が雌穂で占めている。

次に、作業速度別では $\text{No. 1} \sim 60$ 日を除く各時期とも、速度の増加により損失量は増加し、変速位置 L 系列で約 2.0

第6図 収穫時期別における切断長の変化

第7図 収穫時期別における刈取損失量

～9.5%の範囲で各速度間差は1.0～2.5%, 変速位置H系列では6.7～14.2%と損失量が多いことを示している。

のように、刈取り損失は収穫時期により、作業速度(切断ピッチの大きさ)によって増減していることは、早刈りの場合には比較的茎葉も軟らかいため、切断時の抵抗も少なく刈取りが容易であり、損失量も少ないことを示しているものと思われるが、生育が進むにつれて茎稈が硬化し、切断時の衝撃により雌穂の脱落や茎葉の切片が露面に落下する一方、作業速度を増加した場合には刈刃ピッチが大きくなるため、拾い上げられずに損失となることが、全体

の損失量を大きくしているものと推察される。

(3) 土砂の混入量

供試フォレージハーベスタにより青刈リトウモロコシを収穫する際に、土砂の混入に影響する要因は、刈取部の構造からみて、刈高さ(圃場露面の状態、作物の性状)刈刃の周速度と刈刃ピッチなどが関係する。

収穫時期と作業速度との組合せにおける土砂の混入状況を測定し、整理したのが第8図である。

各組合せによる土砂の混入量をみると、早刈りのNa 1-60日が2.0%以下で最も少なく、収穫時期が進むにつれて土砂混入量の範囲は1.5～4.5%と

第6表 作業能率

供試機	項目 圃場形状 区画面積	実作業 面積	理論 作業幅	有効 作業幅	理論 速度	有効 速度	作業時間内訳（分一秒）					理論 作業量	有効 作業量	理論 作業効率	有効 作業効率	圃場作業量		備考				
							実作業 時間	旋回 時間	計 時間	運搬 時間	合計 時間					a/hr	a/hr		%	%	a/hr	hr/10a
フォレージ ハーベスタ （サイドマ ウント式ダ イレクト型）	a 40 (22.5 ×178)	40	1.0	0.7	1.0	0.76	117-00	14-30	131-30	137-30	269-00	36.0	19.1	24.7	46.6	8.9	1.12	① 収量 3.5t/10a ② 運搬台数 30台 ③ 運搬距離 300m				

増加している。土砂混入の傾向としては、各時期とも低速時に多く、増速するにしたがい減少している。

以上のように、時期別での混入状況からみて、早刈りの場合に土砂の混入が少ないことは、茎稈自体が軟らかく、収穫時に刈刃が基稈部に与える抵抗が小さいため、根際の表土が浮上しないためと考えられるが、収穫時期が遅くなると茎稈の硬化により、刈刃への抵抗が大きくなり、その衝撃によって根際周囲の表土を浮上させるために土砂混入量が増加するものと推察される。

次に、作業速度との関係では刈刃周速度が一定条件であることから、作業速度が低速では刈刃ピッチが小さく、そのため、吸引力（風圧）が大きくなり土砂混入を招きやすいことも一つの原因と考えられる。

したがって、土砂の混入量については給与との関連で1～2%が混入量の許容限度とするならば、収穫時の作業条件としては、PTO軸回転数530 r.p.mにおいて作業速度1.0m/s（刈刃ピッチ4.0～5.0 cm）が最適条件と思われる。

(4) 作業能率

中型トラクタを基幹動力としたフォレージハーベスタによる青刈りトウモロコシ収穫作業の作業能率について、負荷特性、作業精度などからみて、最適と思われる作業条件において収穫作業を実施し、作業能率を求めたのが第6表である。

作業能率をみるとトラクタおよびトラレー1台の組作業では時間当たり約9.0 aで、有効作業能率は46.6%となった。作業時間の内訳をみると、刈取りと運搬作業との時間配分は、それぞれが等分する形で、運搬作業に要する時間の大きいことを示している。

4. 摘 要

中型トラクタを基幹としたフォレージハーベスタによる青刈りトウモロコシの収穫作業について、収穫時期と負荷特性ならびに作業精度との関係におい

第8図 土砂の混入状況

て、適用作業条件を検討した。

1) 負荷特性：収穫時期の違いがトルクに与える影響については、60日あるいは100～110日目よりも70～90日目にあたるものがトルクは大きい傾向である。さらに、作業速度を増加するとトルクは増大する。これらの要因として、前者は草量の増加や茎稈の強度などが関係し、後者では単位時間当たりの処理が増加することが原因しているものと推察される。また、変速位置別では、H系列でトルクの変動が著しく収穫作業が不能となった。

2) 所要馬力：各組合せにおける所要馬力の変化はトルク変化とほぼ同ような傾向を示し、変速位置L系列の各速度段は各時期とも平均所要馬力7～11 ps、H系列では15～8 psの範囲である。

3) 毎秒処理量当たりの所要馬力：所要馬力の経済性からみると、毎秒処理量当たりの所要馬力が小さいことが望ましく、変速位置別ではH系列が6～8.9 psに対して、L系列では3～9.8 psの範囲である。

4) 切断長：生育日数が短く、切断ピッチが小さいと細断される割合が多い。また、日数の経過に

もなつて、切断ピッチを小さくしても切断長の大きい割合が増加する。これらは茎稈の強度が関係するものと考えられる。

5) 刈取り損失：早刈りほど損失は少ない。日数の経過にともない損失は増加し、とくに雌穂の脱落が多い。損失量を1割以下に押えるためには変速位置L系列において(P T O軸回転数540 r.p.m, 刈刃ピッチ4.0～5.0 cm)作業速度1.0m/s程度にす

ることが望ましい。

6) 土砂の混入量：土砂混入はいずれも4.5%以下であるが、許容限度を1～2%とすれば、5)の作業条件となる。

以上のことから、中型トラクタ用フォレージハーベスタによる青刈りトウモロコシ収穫作業における適用作業条件としては第7表のようである。

第7表 中型トラクタ用フォレージハーベスタによる青刈りトウモロコシ収穫時の適用作業条件

項 目		適 用 条 件	トウモロコシの生育期間
作 業 条 件	P T O 軸 回 転 速 度	540 r.p.m (規定回転数)	60 ～ 110 日
	周 速 度	43 m/s	
	刈 刃 ピ ッ チ	4.0 ～ 5.0 cm	
	作 業 速 度	0.8～1.0 m/s (変速位置L系列)	
所 要 馬 力		9 ～ 11 ps	
毎秒処理当たりの所要馬力		3 ～ 4 ps (変速位置L系列)	
切断長15cm以下の占める割合		68 ～ 40 %	

C I G R - C I O S T A - I N D E X (1 9 7 0) その17

21. Labour management research of the technical economical organization on grassland farms with a high labour productivity.
22. Research on the labour productivity on grassland with the aid of models.
23. The organization of forage-harvesting on grassland farms.
24. Organization of potato grading.
25. Development of process-controll techniques.
26. I.G.M. BRÜCK: and E.V. ELDEREN: Field drying of hay and wheat. Research report Nr. 1.
27. Z.J. HALMAN: Labour organizational research on mixed farms with a large pig breeding enterprise. Publication Nr. 126.
28. V.D. HEIJDE. P.B.A. a.o.: A method for the control of grassland exploitation for dairy farming. Publication Nr. 146.
29. H.J. HARKINK: The technical organization in relation the number of field drying days during roughage harvesting on a two-man grassland farm. Report No. 133.
30. T. TANIS: Labour organization in sugar beet harvesting. Report Nr. 136.
31. J.A.M. VOERMANS: Comparison of milking methods and walk-through milking parlours. Report Nr. 137.
32. D. BOSCH: Report of work studies on the experimental farm "De Beemster" in 1968/69 with laying batteries of the flat-deck and the step-deck type. Report Nr. 155.
33. N. HOOGENDOORN. a.o.: Report of an investigation into the growing and harvesting of vegetable crops at the Oostwaardhoeve in 1969. Report Nr. 158.
34. R.K. Oving and T. TANIS: Work organization and task magnitude when performing field jobs. Report Nr. 167.

(76頁へつづく)