フォレージ・ハーベスタの利用に関する研究

誌名	北海道農業試験場研究報告 = Research bulletin of the Hokkaido National Agricultural Experiment Station
ISSN	03675955
著者名	松山,龍男 大根田,襄 唐橋,需
発行元	北海道農業試験場
巻/号	106号
掲載ページ	p. 1-18
発行年月	1973年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

フォレージ・ハーベスタの利用に関する研究†

松山　龍男*　大根田　襄*　唐橋　需*

Studies on the Throughput Capacities and Use Methods of Forage Harvesters

Tatsuo MATSUYAMA, Noboru ŌNEDA and Motomu KARAHASHI

1. 緒　　言

サイレージを作る牧草収穫方式は，直刈り法と予乾法に大別され，フォレージ・ハーベスタが両者の基幹作業機となる。直刈り法は，フォレージ・ハーベスタで刈取りと同時に細断・吹上げを行なって運搬用車両に積込む収穫方式である。この方法は，刈倒してほ場で天日乾燥を行なった後にフォレージ・ハーベスタで拾い上げ，細断して積込む予乾法に対比して作業システムが単純であり，作業計画の容易なことが最大の利点であろう。この論文は，トラクタけん引式のフォレージ・ハーベスタによる直刈り収穫の場合について述べる。

フォレージ・ハーベスタは現在広く普及しているが，トラクタとハーベスタの組合せ方，作業基準と作業の計画法などについては明らかでなく，経験的に行なわれていることが多い。この研究は，フォレージ・ハーベスタの処理能力（量）から作業限界を把握し，作業精度・作業状態の判定結果と所要動力の解析結果を照合することにより，使用トラクタおよびほ場収量段階別の限界処理量と作業速度を究明した。また，実作業における定常的作業条件を明らかにするため，限界処理量に対する作業安全係数を導入し，現場作業の評価を行なった。

フォレージ・ハーベスタは高価な作業機であると同時に，大馬力のトラクタを必要とするため，経済性を高めるうえに効率的な作業をはかることがきわめて重要である。この報告が各方面の参考になることを期待する。

研究の遂行にあたって機械化第1研究室小寺　栄，若狭昭一両教官の多大の協力を得た。また，前農業物理部長（現草地試験場施設機械部長）佐藤清美氏並びに現農業物理部長谷喜久治氏には本論文の論述に関して懇篤な指導を賜わった。ここにこれらのかたがたに心より謝意を表する。

2. 供試機と草生条件

フォレージ・ハーベスタはシングル・カット式フレイル型，ダブル・カット式フレイル型，フライホィール型，シリンダ型およびシリンダ・ブローア型の5種類に大別される。この中，フライホィール型は現在世界的にほとんど利用されておらず，またシリンダ・ブローア型は新しい機種でわが国への導入台数は少ない。試験には Table 1 のごとき諸元を有する，最も広く普及・利用されている代表的な各1機種を供試した。また，試験時の草生条件は Table 2 のとおりであった。

なお，本論文中における試験は，特に断わらない限り，北海道農業試験場内において行なっ

† 農業機械学会北海道支部会報第12号（1972）および農業技術第27巻第10，11号（1972）に一部発表
* 農業物理部　機械化第1研究室

たものである。

Table 1. Main specifications of pull-type harvesters used in tests

Item \ Harvesters		Flail-type: Direct-throw	Flail-type: with re-cutter head	Cylinder -cutter-type
Name		FH 125	JD 15 A	NH 717
Overall weight		320 kg	790 kg	1090 kg
Cutting device	Type	Flail (Cupped knife)	(L-character -typeknife)	Shear-bar
	Number of knives	21	34	25
	Rotating or reciprocatingspeed	1300 rpm	1400 rpm	620 cpm
	Cutting width	1.25 m	1.47 m	1.83 m
Feed device		–	Auger (30 cmφ ×246 rpm)	Feed roll
Cutter -head	Type	–	Flywheel	Cylinder
	Diameter		76 cm	61 cm
	Width		–	45 cm
	Number of knives		3	9
	Number of impellers		3	0
	Rotating speed		800 rpm	975 rpm
Theoretical cutting length		–	5.0 cm	0.6 cm

Notes: Speed/540 rpm of P.T.O. shaft

Table 2. Crop conditions

Date of test*	Harvesters	Kind of crop	Stage of growth	Mean length of crop (cm)	Rate of crop (%)	Crop yield** (t/10 a)	Moisture content (%)	Reference
10/VI	Flail-type with re-cutter head	Orchard	Haed spouting period	74	70	2.1	83	First cut
		Red clover	Having buds	47	30			
28 30/VI	Flail-type Cylinder -cutter-type	Orchard	End of flowering period	125	83	2.7	78	First cut
		Red clover	Flowering period	75	17			
29/VIII	Flail-type with re-cutter head	Orchard	Having not stems	97	60	1.6	81	Second cut
		Red clover	Flowering period	75	40			
3/IX	Direct-throw flail-type	Orchard	Having not stems	97	60	1.9	81	Second cut
		Red clover	Flowering period	76	40			

Notes; *: 1970
**: measured in the cutting height of 7 cm with a rotary-type mower

3. 試 験 方 法

はじめに，仕事量の表わし方は人によって若干異なるが，ここでは次のように定義することとする。単位時間にどれだけの仕事をしたか，すなわち作業量の表わし方としては，作業能率 (rate of work) と処理量（または流量，throughput）を用いることができ，それぞれ ha/hr と t/hr の単位で表示するのが一般的である。また，単に作業能率，処理量という時は，休みなく

連続して作業した時の作業量である。これに対して，実作業においては回行や停止によって作業時間の損失が生ずるので，この効率のことをほ場作業効率，この効率を含んだ作業量をほ場作業量と称する。一般に耕耘，整地，播種などの作業では作業能率で仕事量を比較することができるが，収穫機では仕事によって得られた生産量が問題であり，処理量で表示するのが妥当と考えられる。特に牧草の場合は水稲と違って，単位面積当たりの収量がほ場によって著しく異なるので，処理量によって比較することが必要になる。

次に，試験項目の順に測定と結果の処理方法について説明する。

1) 作業状態からみた処理量の限界

トラクタとハーベスタの組合せ作業においては，トラクタの出力的な限界とハーベスタの処理能力の限界が同時または別個に現われ，これら両者の限界を区別する必要がある。

試験は 50 m の直線区間を取り，1区間ごとにトラクタの変速位置を高めて作業速度を増大させる。作業中のトラクタのエンジンの回転速度は，PTO 軸の回転速度が 540 rpm となる位置に合わせる。作業中に作業機内部に草詰りが起るか，あるいは吹き返しなどによって収穫損失が著しく発生した時をもって作業不能状態とし，そのような状態が発生し始める時を作業機の処理限界とする。また，トラクタのエンジン回転速度が作業中にアクセルの調節によっては，もはや PTO 軸 540 rpm の位置に保持し得なくなった時をトラクタの作業限界とし，エンジン停止に陥った場合を作業不能とする。過去の研究に伴なう経験的な判断では，無負荷時と作業時のエンジン回転速度の差を回転低下量とすると，供試トラクタ・エンジンの場合，この値が 300 rpm になる時がほぼトラクタの作業限界である。

他方，作業後の刈高さを測定して，平均刈高さ 10 cm を作業精度上からみた作業速度の許容限界とした。ただし，ハーベスタの刈高さはシューの地上高を一定に設定する。

なお，処理量は刈高さ 7 cm のロータリ・モーアで刈取った部分刈り収量と，試験時の作業速度・巾から算出したものである。したがって，ハーベスタの刈高さが増大すれば実質処理量は計算値を下回るものになる。試験当初は，作業区間全体の収穫量を伴走するトレーラに受け，これを計量する方法をとったが，この方法では多大の労力を必要とし，試験の円滑な遂行が困難であること，及び，この方法と部分刈り法による収量との違いが小さく誤差の範囲であることから，部分刈りによる換算法をとることにした。また，処理量の表示はすべて1時間当たりの，含水率 80%換算量をもってすることとした。これは，収穫適期における道内の牧草平均水分がほぼこの値に近いと同時に，乾物量当たりに対して5倍の量に相当し，相互換算が容易なためである。

2) 所要動力からみた処理量の限界

フォレージ・ハーベスタの作業をするトラクタの全所要動力は，ハーベスタの回転駆動に要する PTO 軸動力のほかに，ハーベスタをけん引して走行するに要する動力から構成される。厳密には作業時に全体を測定すべきであるが，トラクタ PTO 軸動力が全所要動力の約 80%を占め，概略的には個別に測定したものの和で考えて大差ない。試験では，前記の作業状態からみた処理量限界の試験と同時に PTO 軸動力を測定・解析し，これに文献より得られるハーベスタけん引およびトラクタの走行所要動力を加えて考察した。

動力の測定にはストレンゲージ，スリップリングおよび電磁誘導式の回転計を取付けた PTO 軸延長装置と，キャプタイヤ・コード，ストレンメータ，ラピコーダを使用して計測・記録した。解析は 1.0 秒間の最大，平均，最小トルクと平均回転速度を求めて，これらより最大，平

均，最小動力を算出し，草量の不均一によって起る特異な測定値を消去するために，5～10 回の平均によって結果を表示した。

3) 安全係数と現場作業の評価

動力測定値の解析結果および実作業の調査結果の比較，その他文献より得られる数値をもとにして作業安全係数を推定した。この係数から安全処理量を推定し，これを基準にして多くの現場作業測定値と比較することにより作業実態の評価を行なう方法を提案した。

4. 結果および考察

1) 作業状態からみた処理量の限界

(1) シングル・カット式フレイル型

62 ps トラクタで 2 番草を処理した時の結果が Fig. 1 である。刈落し作業には短いシュートを使用するが，所要動力の測定結果にもほとんど差異がないことから，刈落しの結果も併記して考察する。

Fig. 1 によると，このハーベスタの限界処理量はほぼ 14～16 t/hr と推定され，平均刈高さ

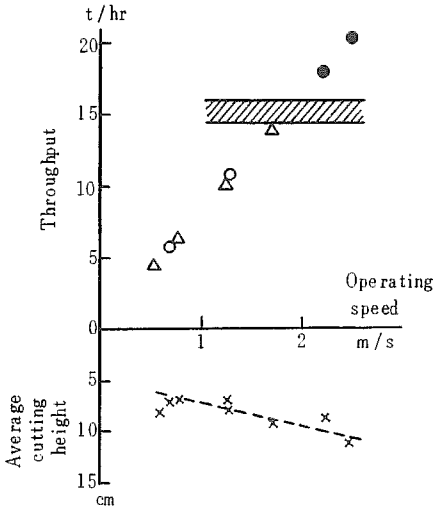

Fig. 1. Limit of work of the direct-throw flail-type harvester

○ was able to blow up the matters, △ was able to do by using the attachment of a short chute and ● was unable to do

Oblique lines show the assumed range of limit

Notes: A 62 ps-tractor was used

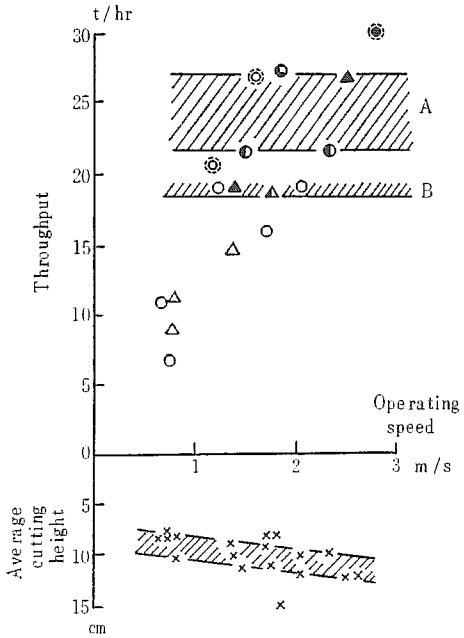

Fig. 2. Limit of work of the flail-type harvester with re-cutter head

○ and △ were able to blow up the matters

◐ and ◭ were judged as closing upon the limit

◕ was judged as exceeding slightly the limit

● and ▲ were unable to blow up the matters

Marks of circles show operating with a 62 ps-tractor and marks of triangles show a 45.5 ps-tractor

Marks of dotted circles show the harvesting of the herbage of 75% of moisture contents

A is the assumed range of limit for a 62 ps-tractor and B is the some one for a 45.5 ps-tractor

Notes: The limit of throghput is assumed for the harvesting of the herbage of about 80% moisture contents

10 cm を許容精度とすれば，供試条件ではほぼ 2.25 m/sec が作業速度の限界とみられる。この結果は谷等の結果[7]にほぼ一致する。

(2) ダブル・カット式フレイル型

結果は Fig. 2 の通りで，参考までに水分 75%の刈遅れ 1 番草（7 月 4 日）の場合を付記した。これによると，牧草の水分が低下すれば処理能力が向上する可能性があるが，この点については所要動力の項で考察することにし，ここでは Table 2 に示した 1 番草 2 回，2 番草 1 回の試験条件，すなわち水分約 80%程度のほぼ適期刈りの場合を考える。

限界処理量は，45.5 ps トラクタで約 18 t/hr，62 ps トラクタでは 22～27 t/hr 程度であるが，22 t/hr 以上では横送り用オーガのカバーから細断草があふれ出しており，作業機の能力は 22t/hr が限界と考えられる。また作業速度の限界は，平均刈高さ 10 cm の許容精度に対しては，約 1.75 m/sec 程度であろう。

(3) シリンダ型

この機種は著しく微細断するために，処理量の限界は主として供給される材料の量によって左右されると推測される。この点については，後述の所要動力の項にもみられるように，フレイル型の場合と異なり，供給材料の含水率や材料の種類（牧草，デントコーン，稲わらなど）によって所要動力にほとんど影響が認められないことが知られている[1)4)]。

試験の結果は Fig. 3 のとおりで，デントコーンの場合も併記した。62 ps トラクタで 23 t/hr まで行なったところ，トラクタの出力側からほぼ限界に近いと判断され，さらに 82 ps の大型トラクタを供試した場合にも，27 t/hr まで作業してトラクタの出力上からはやや限界に近かったが，作業機はまだ限界に達していないものと観察された。

直刈り法とは別に，ピックアップ・アタッチメント装着によるシリンダ型ハーベスタの予乾牧草拾い上げ作業試験の結果（白金共同育成牧場，Table 3）では，草量と作業速度および緩傾斜に対する作業方向によって可能処理量が変化しているが，65 ps トラクタで平坦地の場合を考えると，およそ 20～25 t/hr 程度が処理量の限界と推察された。ただし，理論切断長 0.5 cm の設定条件で作業した結果であるので，本論文の使用条件である 0.6 cm の理論切断長に換算すると，限界値はいくぶん向上する可能性があろう。

以上の結果を総合すると，シリンダ型の場合は約 30 t/hr 程度の処理量が能力的な限界であり，トラクタ側からみると約 80 ps 程度が必要と思われる。トラクタが 62～65 ps の場合には，20～26 t/hr 程度が処理量の限界になると推定される。

作業速度の限界については，1.6 m/sec まで刈取り精度が良好であったが，1.8 m/sec 以上にな

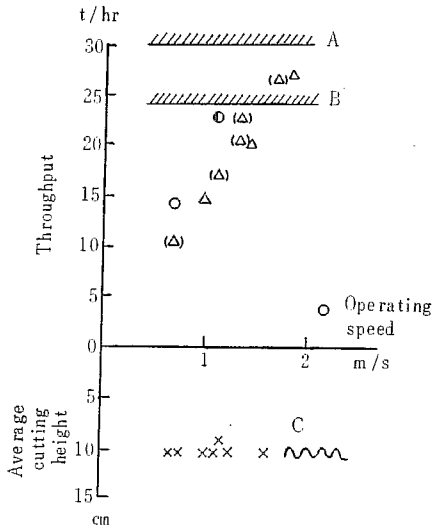

Fig. 3 Limit of work of the cylinder-cutter-type harvester

Marks of circles are operating with a 62 ps-tractor and the ones of triangles are operating with a 82 ps-tractor

( ) shows the harvesting of corn

A is the assumed range of limit for a 82 ps-tractor and B is the same one for 62-65 ps-tractor

C means the cutting accuracy like lateral stripes

ると刈高さの乱れが大きかった。

Table 3. Tests for the limit of throughput of the cylinder-cutter-type harvesters with windrow-pickup unit

Windrow (kg/m)	Moisture content (%)	Trans-mission of tractor	Operating speed (m/s)	Throughput in 80% moisture content (t/hr)	Possibility of work	Rrferences
10.80	77	Second	0.88 (Down)	25.2	Able	Drop of 250 rpm in the engine
10.80	77	Third	- (Down)	35.6	Unable	Engine stop
1.33	34	Third	1.25 (Down)	10.1	Able	
2.69	26	Scond	0.80 (Up)	13.3	Able	
2.69	26	Third	- (Up)	20.9	Unabel	Just before engine stop

Notes: 1) 65 ps-tractor
2) Slope under 4 degree
3) 18-19/VII/1967

2) 所要動力からみた処理量の限界

(1) PTO 軸所要動力

シングル・カット式フレイル型の結果は Fig. 4 で，吹上げと刈落しの両作業で所要動力にほとんど差がなかった。

ダブル・カット式フレイル型の Fig. 5 の場合には，刈取り時の牧草水分によって所要動力に顕著な差が現われた。水分の影響は，刈落し作業およびウィンドローにされた予乾草の拾い上げ作業の場合にも確認された。この理由としては，フレイル刃とブローアで草をたたき上げる時に草の重量が消費動力に影響を及ぼすためと考えられ，同一水分に換算した処理量における所要動力の比較では，低水分草に対する仕事の方が有利ということになる（作業時の草重量そのものでは高水分の方が処理重量が大きい）。牧草の適期刈りでは水分が80%前後またはそれ以上であり，以下の検討では高水分草に対する測定結果を使用する。

シリンダ型については Fig. 6 に示した通り，牧草とデントコーンの間で差異が明らかでないので，これらを含めた平均的な傾向値によって以下の検討を行なうことにする。

以上の PTO 軸動力の測定結果は，いずれの機種の場合も処理量（短時間の作業測定によって得たものであることを示すために1秒間の処理 kg 数で表わした）に対してほぼ直線線な関係にある。しかし実際には処理量の大きな場合は作業速度の大きい時であり，Fig. 1～3 に見たごとく，刈高さが若干増大するため実質処理量は計算値を下回るものと考えられる。したがって，実処理量を横軸にとっ

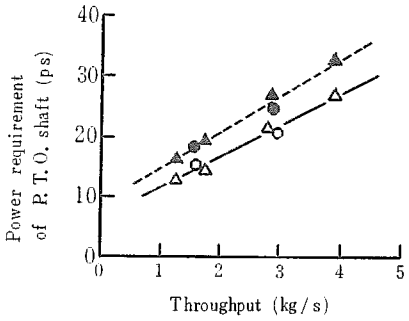

Fig. 4. Relation of power requirements of the direct-throw flail-type harvester to throughputs
○, △: Average power requirement
●, ▲: Maximum power requirement
Marks of triangles show operating with the attachment of a short chute
Notes: Maximum power requirements are calculated by the average speed of revolution and the peak torque which means the average of maximum values for 1.0 second in 5.0-10.0 second

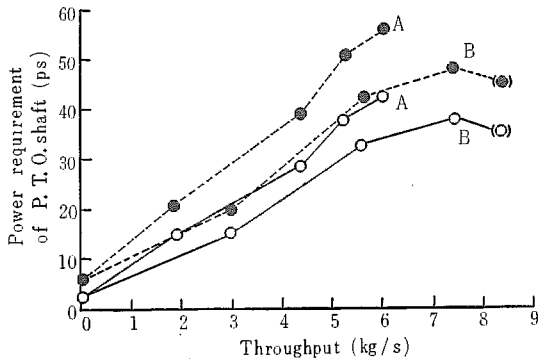

Fig. 5. Relation of power requirements of the flail-type harvester with re-cutter head to throughputs
A: 29/VIII in table 2 (81% moisture contents)
B: 4/VII (75% moisture contents)
( ): The throghput exceeded the limit. That means it was impossible to keep 540 rpm in the P.T.O. shaft

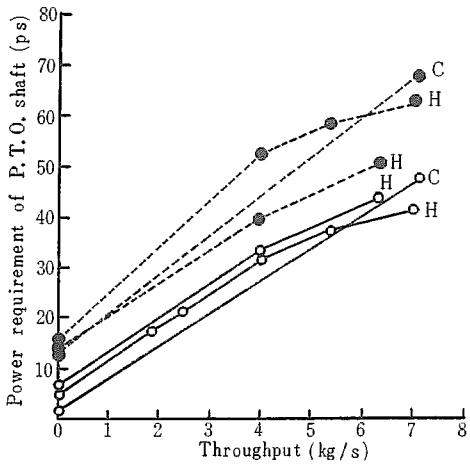

Fig. 6. Relation of power requirements of the cylinder-cutter-type harvester to throughputs
[H: Hervage, C: Corn]

た場合は，PTO 軸所要動力が若干2次曲線的に増加する[1]ものと思われるが，ここでは刈高さが 10 cm 程度までを許容範囲としたので，刈高さによる処理量の違いは測定誤差程度と考えられるので，以下の考察ではこの差異を無視した。また試験時期の問題があるが，Table 2 のとおり2番刈り牧草の場合にも開花したアカクローバを4割含んでおり，1番刈り牧草との差異は少なかったものと思われる。

(2) けん引走行所要動力

トラクタの走行抵抗は機体自重との関係が最も大で，一方，トラクタの重量は当然エンジンの大きさと高い関係にある。本論文では，ハーベスタ作業に用する動力とトラクタ出力との関係を主たる問題として扱っており，トラクタの大きさを抽象的に表現する手段としてエンジンの定格出力 (ps) を使用した。

草地面上の走行抵抗をトラクタの大きさ別に扱った資料がないため，土面（ロータリ・ハローで砕土後に鉄製ローラで鎮圧）上を走行する時の抵抗力を測定した成績[3]からトラクタの大きさ (x, ps) と走行抵抗 (y, kg) の関係を算出して，次の結果を得た。

$$y=4.31x+13.64,\ (r=0.650)\cdots\cdots(1)$$

ただしトラクタの大きさは，ハーベスタ作業用の見地から 30 ps 以上とし，総トラクタ数 23 台から求めた。また走行抵抗は，速度の増加に伴なって多少増加する傾向のものが多かったが，ハーベスタ作業に使用する 1～2 m/sec の速度範囲内では，ほぼ一定とみて支障なかった。

ハーベスタ作業中のトラクタは収穫直後の草地面上を走行するので，この時の抵抗力が (1) 式とどの程度の差異があるかを検討しておかねばならない。この点について，約 1° 程度の登り方向で行なった測定例をあげると，62 ps トラクタは平均約200 kg, 63 ps トラクタは約 230 kg であり，それぞれ (1) 式よりも約 81 kg および 55 kg 少ない。したがって，平均すると (1) 式より 68kg 少ない値と推定される。一方，走行抵抗力は地表面の多少の凹凸によっても著しく変動するもので，上述の測定時は両トラクタともほぼ平均に対して ±95 kg の変動を示していた。結局，ハーベスタ作業中のトラクタの走行抵抗は，次式によって平均値 (y_{mean}) と最大

値 (y_{max}) を推定できると考えられる。

$y_{mean}=4.3x-54,\ y_{max}=4.3x+41$……(2)

次に，フォレージ・ハーベスタのけん引抵抗については，シリンダ型の測定値が約 150 kg，また既往の成績書[6]を参考にすると，供試したダブルカット式フレイル型は 120 kg 程度と考えられ，これからシングル・カット式フレイル型については 90 kg 程度と推察できるであろう。なお，この場合の抵抗力もトラクタと同様，地表面の小凹凸によって相当の変動を起こすと考えられるが，トラクタにハーベスタを連結した状態における総走行抵抗の実測結果によると，変動巾はトラクタとハーベスタ各単独の変動巾が加算されるものではなく，ほぼトラクタ抵抗成分の変動巾に等しいとみられた。

以上によってトラクタとハーベスタの総走行抵抗は，(2) 式に各ハーベスタのけん引抵抗値を加算して概略の平均値と最大値を推定することができる。よって 1 ps=75 kg·m/sec の関係から，各作業速度におけるハーベスタ作業中のトラクタの総走行所要動力を算出できる。走行所要動力には，この他トラクタ駆動輪のスリップによる消費動力があるが，ハーベスタ作業ではスリップ率は微小であるので無視した。

(3) 作業限界算定線図の作製と使用方法

トラクタがハーベスタ作業に発揮し得る出力は，PTO 軸が 540 rpm になるエンジン回転速度におけるエンジン出力から，後輪と PTO 軸までの動力伝達損失を差引いたものになると考えられる。作業可能値に対する概略的な検討においては，後輪と PTO 軸への伝達効率はほぼ同じと考えても妥当であろう。したがって，PTO 軸定格 (540 rpm) 出力がハーベスタ作業時に使用できる総動力と考えて，エンジン定格出力に対する比率を成績書[3]より算出すると，30～60 ps の 23 例において，90～94%と 85～89%が各 3 例，80～84% 6 例，75～79% 3 例，70～74% 8 例，全平均 80%となった。以下の考察では，エンジン出力の 80%が使用できるものと想定する。

草量をパラメータにとって，作業速度と処理量の関係を第 1 次元の位置に（ただしハーベスタの実作業巾は刈巾の 90%として処理量を算出），また処理量と PTO 軸動力の関係を第 2 次元に配置し，これに第 4 次元に配置した総走行動力を加えて総所要動力を求め，これから出力効率を介して第 3 次元の縦軸上に所要のトラクタ（エンジン出力）が得られるように作製したのが Fig. 7～9 の作業限界算定線図である。この使用方法を Fig. 8 を例にとって説明すると次のとおりである。

最初にほ場の収量と作業速度，および使用するトラクタの大きさ (ps) を仮定する。草量と速度から第 1 次元の直線関係によって縦軸に処理量 (t/hr) が求められ，これを水平に第 2 次元側へ移して平均および最大 PTO 軸動力関係直線と交わる点を求め，これらの点から垂直に下す（横軸との交点を仮に平均値に対して A，最大値に対して B とする）。一方，第 1 次元の横軸の速度から垂直に下して第 4 次元にあるトラクタの大きさ別の総走行動力直線（平均と最大）との交点を得，これを水平に第 3 次元側へ移動して，先に第 2 次元側から下した垂線と平均，最大値別に交点を求める。A と B を中心にして，これらの交点から円弧を描いて再び第 2 次元側の横軸と交わる点を得ると，これが仮定した作業条件における平均および最大総所要動力になる。したがって，これらの点を垂直に下して第 4 次元の出力効率直線と交わる点から水平に移して縦軸との交点を求めれば，平均および最大所要動力に対して必要なトラクタの大きさ（エンジン定格出力，ps）が得られる。こうして求めた出力の大きさ（特に平均出力値）が

最初に仮定したトラクタの大きさより小さければ想定した作業条件が可能ということであり，もし上回った場合には作業不能ということであるから，再度トラクタの大きさを仮定し直して上述の試算過程を繰返す。逆にエンジン定格出力（第4次元の縦軸）側から出発して線図をたどると，そのトラクタで可能な作業条件が得られることになる。ただし，Fig. 7～9 の斜線帯は第1項で得た各ハーベスタの作業限界領域を示している。

(4) 作業限界の比較検討

作業限界算定線図から得られる結果と，第1項で得た作業状態からみた処理量の限界を対比すると次のとおりである。

シングル・カット式フレイル型 (Fig. 7)　試験時の約 2 t/10 a の収量についてみると，16 t/hr

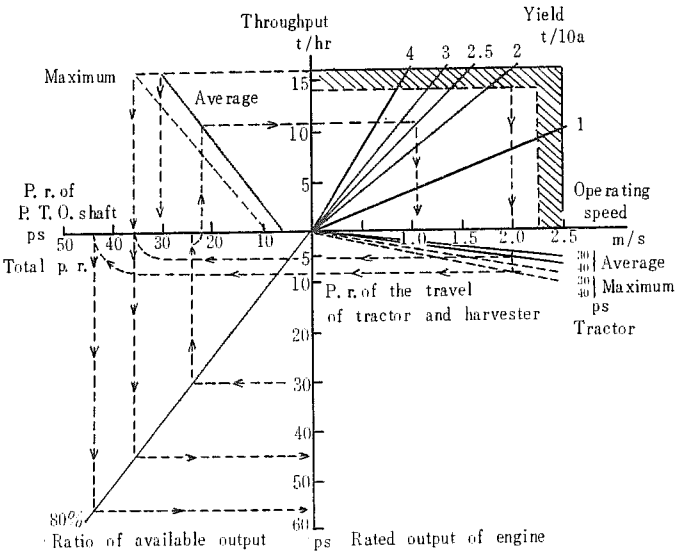

Fig. 7. Diagram for calculating the limit of work with the direct-throw flail-type harvester

Notes: 1) p. r.: power requirement
2) Yields are the values cut by the machine in 80% moisture contents
3) Oblique lines show the assumed limit range of work, and it is recommended not to work within the range

の処理量になる作業速度は約 2.0 m/sec であり，この時の PTO 軸所要動力は平均 29.5 ps，最大 35.5 ps，40 ps トラクタを仮定した時の総走行所要動力は平均5.5 ps，最大 8.1 ps，したがって出力の利用効率 80%では所要のエンジン出力は平均で約 44 ps，最大では約 55 ps になる。すなわち，平均所要動力の点で供試した 45.5 ps トラクタとほぼ一致し，1-1) 項で求めたトラクタの大きさと限界処理量の関係が所要動力の面でも確認されたことになる。また線図を利用して，限界処理量の下限値であった 14 t/hr に対して，2.5 t/10 a の収量条件で所要のトラックを推定すると約 39 ps であり，30 ps トラクタによる可能量を逆算すると約 11 t/hr と求められる。

ダブル・カット式フレイル型 (Fig. 8)　横送り用オーガから草があふれ始める状態に達し，作業機にとってほぼ限界に近いと判断された 21.5 t/hr の処理量に対して，試験時の収量 2.5 t/

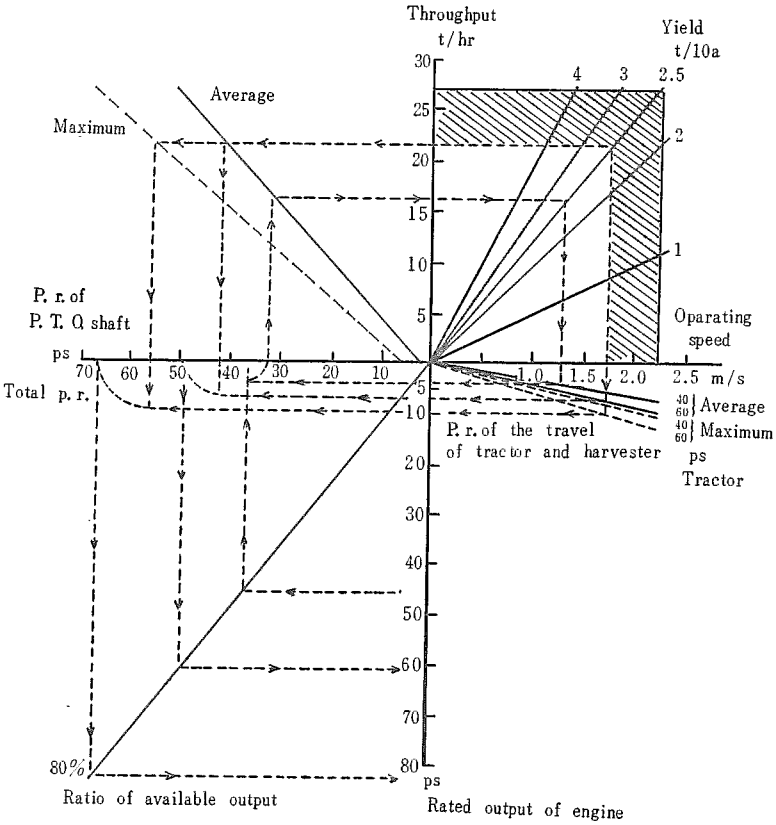

Fig. 8. Diagram for calculating the limit of work with flail-type harvester with re-cutter head

10 a の場合について所要のトラクタを求めると，平均および最大所要動力から各 61 ps，82 ps となり，この場合も前項と同様に平均所要動力の点で供試したトラクタ (62 ps) にほぼ一致する。一方，45.5 ps トラクタを使用する時の限界処理量を平均所要動力を使って逆算すると約 16 t/hr となり，これは作業状態からみた時の限界値より若干小さい。また，30，40 および 50 ps の各トラクタによる限界量を同様にして推定すると，およそ 11，14 および 18 t/hr となる。

シリンダ型 (Fig. 9)　試験中最大の処理量 27 t/hr について 2.5 t/10 a の収量の場合を考えると，平均所要エンジン出力が 76 ps で，供試した 82 ps トラクタで処理量的にも若干余力を観察されたことがうなずける。限界と推定される 30 t/hr の処理量に対して必要な出力を求めると，平均 80 ps である。他方，60 ps トラクタで作業し得る処理量を算定すると，平均所要動力から約 22 t/hr となり，1-3) 項の結果にほぼ一致した。また，30，50 および 70 ps のトラクタで可能な処理量を線図より求めると，10，14 および 26 t/hr である。

3) 機種間の比較

1 および 2 項の結果を総合すると，Table 4 のように限界処理量と所要トラクタ，および作業速度の限界値が得られた。Fig. 7～9 にはハーベスタそのものの作業限界領域を斜線帯で示したが，この領域内では作業せず，領域の下限を限度とするのが望ましいと思われる。この時

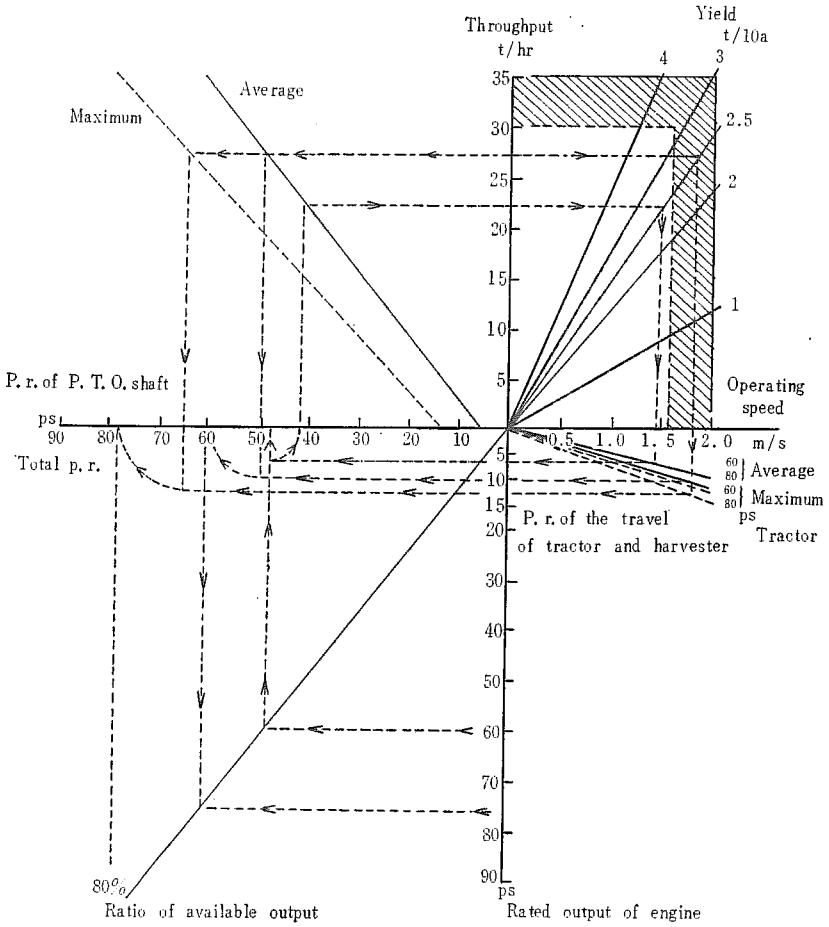

Fig. 9. Diagram for calculating the limit of work with the cylinder-cutter-type harvester

Fig. 7～9 において処理量と作業速度の下限界線の交点を通る収量値を読み取ると，これが各機種にとって望ましい作業ほ場の収量下限値になる。すなわち，作業速度の増加には収穫精度上から限度があるので，定められたハーベスタの作業能力を最大限に発揮させるために必要なほ場収量というものが考えられ，これを Fig. 7～9 から読み取ると，シングル・カット式フレイル型の場合は 1.5 t/10 a，ダブル・カット式フレイル型は 2.5 t/10 a，シリンダ型に対しては 3.0 t/10 a となって，高能力の機種ほど収量の大きなほ場で作業するように配慮することが大切になる。この場合，収量のとり方として，ここではモーアによる実刈り収量を使用しているが，従来慣行的に行なわれてきた坪刈りによる草量を用いる時には収穫率を考慮することが必要である。特に北海道では数種の混播草地となっているためにハーベスタによる実収穫率[4]が低くなり，我々が2年間に測定した結果をあげると Table 5 の通りで，坪刈りに対するハーベスタの収穫率は約 60～80% (平均 71%) となっていた。したがって坪刈り草量を用いる場合には，本論文で使用する収量の約 1.4 倍程度をとることが必要である。

次に，Table 4 によってトラクタ別の限界処理量を比較すると，一定のトラクタ使用条件下

Table 4. Limit of throughput, operating speed and yield

Harvesters \ Throughput		Item	Tractor (ps) 30	40	50	60	70	80	Operating speed (m/s)	Yield (t/10 a)
Flail-type	Direct-throw	t/hr	11	14	-	-	-	-	2.25	1.5
	with re-cutter head	t/hr	11	14	18	21	-	-	1.75	2.5
Cylinder-cutter-type		t/hr	10	14	18	22	26	30	1.60	3.0

Notes: Yields are the minimum values which are necessary for the maximum limit of throughput under the limit of operating speed. Operating width, however, is estimated as 90% of the cutting width of machines.

Table 5. Rates harvested by harvesters to yields measured by cutting with sickles

Kind of crop	Mean length of crop (cm)	Rate of crop (%)	Yield measured with sickles (t/10 a)	Cutting type of harvesters	Measuring method	Rate harvested (%)	Area (ha)
Orchard	105	89	2.88	Shear-bar	A	79	3.68
Red clover	60	11			B	79	
Orchard	105	8	3.56	Shear-bar	B	78	-
Meadow fescue	90	46					
Timothy	70	10					
Red clover	69	6					
The others	-	30					
Orchard	-	95	2.28	Shear-bar	B	75	2.71
Red clover	-	5					
Orchard	80	65	2.07	Flail	A	71	-
Red clover	50	35					
Orchard	115	38	3.67	Shear-bar	A	69	-
Rye grass	80	59					
Red clover	-	3					
Rye grass	115	87	2.98	Flail	B	63	1.81
Timothy	108						
Orchard	82						
Red clover	73	13					
Ladino clover	-						
Orchard	73	-	2.21	Shear-bar	B	59	5.75
Alfalfa	53	-					
Red clover	43	-					
Ladino clover	23	-					

Notes: A is measured by cutting the quantity left by harvester with sickles
B is measured by the total weight harvested, which containes loading loss

ではハーベスタ機種間にほとんど差のないことが知られる。したがって，高能力機ほど高額の作業機であるから，大型トラクタを組合わせて大処理量で作業することによって経済性を改善するように努めることが大切になろう。ここでは切断長など作業の質の面が考慮されていない

が切断長については Table 1 に各機種の理論値を示したように（我々の試験例では，実際の牧草切断長さは理論値の約2倍の長さのものの分布率が最大になることが知られた），シングル・カット式フレイル型，ダブル・カット式フレイル型，シリンダ型と高能力の機種ほど切断長さも短かく揃えられるので，高能力と同時に作業の質の点でも向上することになる。

4) 作業安全係数の推定

これまでは直進作業における短区間測定によって得た作業限界を論じてきた。しかし，実際にはある面積を連続的に長時間作業するために種々の変動要因が存在し，これを克服して余裕を残した作業を行なうことが必要になる。したがって，前項までの限界値にある完全係数を乗じたところで作業計画を立てることになる。

(1) 所要動力からの推定

ハーベスタ作業用トラクタの所要動力は，平均値と最大値に相当の開きがある。このため平均所要動力からみれば作業可能な条件であっても，瞬間的には過負荷になる（機械系の持つ慣性エネルギーでのりきる）可能性があるという条件で限界処理量を算出した。したがって，ほ場内の種々な変動要因（収量，多少のほ場傾斜など）を考慮すると，作業不能に陥る部分がほ場内に生ずる可能性が大きい。このための対策として，平均的な作業条件に対する総所要動力の最大値が，エンジン定格出力で対処し得るようにとっておく方法が考えられる。すなわち，2-4）項で得た総所要動力の最大値に対する平均値の割合を算出すると，おおむね75～80%の範囲である。

(2) 作業実態からの推定

上士幌大規模共同育成牧場における実態調査の結果（1969年，58 ps トラクタによる 3.1 ha ほ場の作業，Table 7 の No. 4 の場合）では，ダブル・カット式フレイル型ハーベスタの処理量は約 16 t/hr であった。この時の作業状態をみると，平坦部で刈高さが 12 cm の時は正常作業が行なわれていたが，凹凸のため刈高さが 5 cm に低下した部分ではトラクタの作業音が重くなり，また刈高さが 12 cm 程度でもやや登り方向の作業ではトラクタのエンジン回転が 300 rpm ほど低下し，緩傾斜の登り方向作業と同時に刈高さも 5 cm 程度に低下した部分では作業負荷が過大になって一担作業を停止する事態が生じていた。したがって，処理量 16 t/hr 程度が 58 ps トラクタによる連続作業の限界であったものと考えられ，短区間試験による限界処理量の約 21 t/hr に対して，この場合の作業安全係数は 76%と求められる。

次に，ピックアップ・アタッチメント装着のシリンダ型ハーベスタによる予乾牧草拾い上げ作業時の調査結果（1967年，白金共同育成牧場，65 ps トラクタによる 3.4～3.7 ha ほ場の作業，Table 8 の No. 5 と 6 の場合）を参考にとると，モーア刈り時の収量から算出した処理量は約 21 t/hr であり，作業状態の観察からほぼ限界に近い状況と判断された。この時の，短区間試験より推定された限界処理量約 25 t/hr（ただし理論切断長 0.5 cm）に対する作業安全係数は 84%と求まる。ただし，ほ場における予乾調整損失を見込まねばならないので，実際にはこの値を多少下回る値が安全係数となるであろう。

(3) 文献からの推定

新田氏[5]によれば，北海道における 2～3 番刈り牧草は単位面積当たりの収量調査に比較的変動が少なく，10～20%であるが，1 番刈り牧草の場合には少なくとも 30%の変動誤差を見込まねばならない。つまり，できむらが大きいとしている。収量の変動はそのまま処理量の変化となって現われるので，収量変動値から連続作業の安全係数を推定する方法が考えられる。この

Table 6. Limit of throughput for safety work

Harvester \ Throughput		Item	Tractor (ps)						Minimum yield (t/10 a)	
			30	40	50	60	70	80	Cutting with sickles	Cutting with a mower
Flail-type	Direct-throw	t/hr	8.3	10.5	–	–	–	–	1.5	1.1
	with re-cutter head	t/rh	8.3	10.5	13.5	15.8	–	–	2.7	1.9
Cylinder-cutter-type		t/hr	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	3.2	2.3

方法によると，サイレージ調製の主力となる1番刈り牧草においては，限界処理量に対して100/130，すなわち77%のところで作業する必要があるということになる。

以上の推定結果を総合すると，短区間作業の限界処理量に対するほ場連続作業の安全係数は一般に75～80%の範囲に入っている。安全側を選んでここでは75%を採用し，この安全係数を見込んだ時の処理量の限界を算定したのが Table 6 である。

5) 作業実態の評価

実際のほ場作業では種々の要因に影響されて，安全限界値より更に低い範囲で作業していることが多い。そこで作業結果を評価する方法として，Table 6 の安全限界処理量を基準とし，それに対する割合で表示することが考えられる。作業実態の調査結果をあげると，Table 7, 8 のとおりである。これらによると，一般には連続作業の安全限界値に対して50%前後の処理量で作業することが多いのが実状である。この原因について考察すると，オペレータが可能な処

Table 7. Actual circumstances and valuation of practical field works with flail-typeharvesters with re-cutter head

Item \ No.		1	2	3	4
Tractor	(ps)	82	58	58	58
Area	(ha)	4.50	2.21	1.81	3.13
Yield	(t/10 a)	2.07	2.07	2.98	2.98
Moisture content	(%)	81	85	79	79
Operating speed	(m/s)	1.36～1.69	1.32	1.35	1.35
Operating width	(m)	1.34	1.68	1.65	1.65
Width ratio	(%)	91	88	87	87
Rate of field work	(ha/hr)	0.48	0.40	0.66	0.71
Field throughput	(t/hr)	6.06	4.40	11.34	14.07
Working efficiency	(%)	82	57	81	87
Throughput	(t/hr)	7.39	7.72	14.00	16.17
Valuation	(mark)	47	49	89	102

Notes: 1) Yield is measured by cutting with sickles.
2) Throughput is calculated in the water content of 80%.
3) Width ratio is the ratio of operating width to the cutting width of machines.
4) working efficiency is time efficiency.
5) Mark is the ratio of throughput to 15.8 t/hr (See Table 6).
6) The harvester of No. 2-4 is the machine of 1.8 m cutting width, but it can be thought that the possible limit of throughput is not changed because the sizes of the auger and the tractor are approximately same.
7) 1968-1970.

Table 8. Actual circumstances and valuation of practical field works with cylinder-cutter-type harvesters

Item \ No.	1	2	3	4	5	6	7
Harvesting method	Direct cut of herbage				Pick-up of wilted herbage		Direct cut of corn
Tractor (ps)	60	82	82	82	65	65	82
Area (ha)	5.75	3.68	1.62	1.08	3.65	3.40	1.85
Yield (t/10 a)	2.21	2.88	2.28	3.01	(1.48)*	(1.20)*	6.25
Moisture content (%)	83	81	81	84	73	73	87
Operating speed (m/s)	1.59	1.44	1.21	1.08	0.81	0.81	1.43
Operating width (m)	1.71	1.57	1.55	1.62	(3.5)**	(4.4)**	(0.84)**
Width ratio (%)	94	86	85	88	–	–	–
Rate of field work (ha/hr)	0.78	0.64	0.58	0.49	0.79	1.23	0.27
Field throughput (t/hr)	8.34	13.87	6.30	8.15	15.80	19.98	9.62
Working efficiency (%)	85	90	89	75	77	96	75
Throughput (t/hr)	9.81	16.22	7.08	10.87	20.52	20.81	12.83
Valuation (mark)	59	72	31	48	109	111	57

Notes: 1) See Table 7.
2) * means the yield gotten by cutting with a mower.
3) ** means the internal of rows.
4) 1967–1969.

理量範囲を認識していないことによる以外に，次の諸点が考えられた。

① 限界試験では切断刃の研磨など作業機の整備を十分に行なっているが，実際の場面では刃の磨耗などによって作業精度や所要動力に影響を受け処理量の限界を低下させている。

② ほ場の草量が必要最低値より少ない実態が多いが，ほ場の草量に応じて適正な作業速度に調節することは実際上トラクタの変速装置の関係からむずかしいという事情が原因である場合も多い。

③ 機械を長持ちさせるために，ハーベスタに無理をかけない。

したがって，草量の向上以外に，ハーベスタにとって可能な処理量範囲の認識，作業機の使用に際しては十分な整備を作業前後に行なうことなどのオペレータに対する指導，および油圧駆動トラクタや自走式ハーベスタのように無段変速式の走行装置のものであれば速度の調節が容易であるなどの検討が必要であるが，③ の機械の耐用度と処理量との関係は今後に残された重要な課題である。

5. 摘　　要

現在最も広く普及されているけん引式のハーベスタ3機種を供試して，直接刈取り作業方式の場合における使用基準を明らかにした。供試したハーベスタのシングル・カット式フレイル型（刈巾 1.25 m）を A 機，ダブル・カット式フレイル型（1.47 m，理論切既長 5.0 cm）を B 機，シリンダ型（1.83 m，0.6 cm）を C 機とすると，以下の結果を得た。ただし，処理量は水分80%に換算した値で，特に A と B 機は水分約80%における牧草収穫とする。

1) 作業限界と所要のトラクタ（エンジン定格出力）は次のとおりであった。

A 機：14 t/hr，2.3 m/sec，40 ps。

B 機：22 t/hr，1.8 m/sec，60 ps。

C 機：30 t/hr, 1.6 m/sec, 80 ps。

2) 作業限界算定線図を作製し，使用するトラクタの大きさ別に限界処理量を明らかにした。

3) ある面積をハーベスタとトラクタにとって安全な範囲内で収穫するためには，上述の限界処理量にある係数を乗じた値以下で作業すればよい。この安全作業係数を種々な方法によって算出すると，おおむね75～80%の範囲であり，本論文では75%をとった。

4) ハーベスタの性能を最高に発揮するには，A 機は 1.1 t/10 a，B 機 1.9 t/10 a，C 機で 2.3 t/10 a 以上の収量を有するほ場で作業することが必要である。ただし，この場合の収量はモーアによる実刈り収量であり，坪刈り法による草量を用いる時は，上述の収量の約1.4倍とすることが必要である。

5) 実作業で得られた処理量を，安全係数を含めた処理量の限界値を基準とした比率で表わす方法によって，作業実態を評価することが可能になる。B, C 機について11例の調査結果によると，この比率が70%以上のもの5例で，他はほとんど50%前後の処理量で作業していた。

引 用 文 献

1) BRRENNER, W. G. and KROMEP, K. H. (1967): Studien zu "Einbau"-und "Anbau"-Feldhäckslern, 2 Teil, Landtechnische Forschung, 17 (6), 156-167.

2) GLUTH, M. and VOSS, H. (1966): Vergleichende Betrachtungen zum Leistungsbedarf von Feldhäckslern, Landtechinische Forschung, 16 (5), 172-176.

3) 北海道立中央農試農業機械部 (1966): 営農用トラクタ性能試験成績集.

4) 一戸貞光・阿部二朗・本田太陽・後閑宗夫・加藤明治 (1968): イタリアンライグラスの機械化栽培と利用に関する研究，農作業研究，6，95-100.

5) 新田一彦 (1970): 牧荒地における標本の変動，北海道農試彙報，97，46-52.

6) 農業機械化研究所 (1964): フォレージ・ハーベスター，鑑定試験成績，27.

7) 谷喜久治・石東宣明・高梨文孝 (1971): 数量化手法によるフォレージ・ハーベスタの作業条件の解析，農事試験場研究報告，15，1-10.

Summary

Studies on the Throughput Capacities and Use Methods of Forage Harvesters

Tatsuo MATSUYAMA, Nnboru ŌNEDA and Motomu KARAHASHI

Although many types of forage harvesters have been propagated and the mechanization of harvesting grass silage has been remarkably promoted, it can be said that harvesters have not been used to the best capacities in practical use. In this paper the standards for the use of the 3 pull-type harvesters, which are widely used nowadays, are suggested by means of possible throughput capacities for the direct cutting method. In the following all weights of herbage are calculated with a moisture content of 80%, and especially in flail-type harvesters the condition for harvesting is herbage of about 80% moisture contents.

At first, the approximate limits of capacities were gained from experiments as regards working conditions in the parts of 50 m (See Fig. 1–3). Secondly, the power requirements of the P.T.O. shaft, travel and traction of tractors and the ratio of avilable outputs to the rated outputs of engines were gained, and as a result of them, diagrams for getting the limits of throughput according to the size of tractors (the rated output of engine, ps) were made (See Fig. 7–9).

On the other hand, the coefficients for safety work to the limit of throughput were calculated by the ratio of the mean to the maximum of total power requirements of tractors, the ratio of the largest throughput, which had been measured in practical field work, to the limit of throughput capacity gained from the experiments in 50 m and the coefficient of variation for the yield of the first cutting of the herbage. The coefficients for safety work were 75–80%, and 75% was taken in this paper.

When each type of used harvesters (See Table 1) were named as follows;

A: direct-throw flail-type (cutting width 1.25 m)

B: flail-type with re-cutter head (1.47 m, theoretical cutting length of 5.0 cm)

C: cylinder-cutter-type (1.83 m, 0.6 cm)

the maximum of throughput for safety work and the tractor required were approximately as follows;

A: 10.5 t/hr and 40 ps, B: 16.5 t/hr and 60 ps, C: 22.5 t/hr and 80 ps.

As the limits of operating speed were gained as 2.3 m/s for A, 1.8 m/s for B and 1.6 m/s for C by cutting accuracy, the minimum yield of herbage for the above throughput was also calculated on the condition of using 90% of the cutting width as follows;

A: 1.1 t/10 a, B: 1.9 t/10 a, C: 2.3 t/10 a.

Those yields, however, are the values calculated by yields cut at a height of 7 cm with

a rotary-type mower. When yields cut by hand wth a sickle are used, the above yields must be miultiplied by about 1.4 because loss occurs for as much as about 30% in the harvesting machines (See Table 5).

Besides, the throughput capacities fo harvesters were approximately the same as follows under the condition of using one chosen tractor;

40 ps: 10.5 t/hr to A, B and C. 60 ps: 15.8 t/hr to B and 16.5 t/hr to C.

It was recognized, however, that the decrease of the moisture content of herbage increased the throughput of flail-type harvesters, which was calculated in definite moisture content, per power requirement.

If the throughput gotten in the practical use were indicated by the ratio of them to the above values, it might be possible to evaluate the actual circumstances of field work. 11 kinds of field work with B and C-type harvesters were measured (See Table 7 and 8). 5 kinds of work were more than 70% in the above ratio, and the others were around 50%. The following matters were pointed out as the reason for decreasing the throughput by analysing the actual circumstances of these field works.

a. The adjustment of machines was insufficient.

b. The yields of herbage were insufficient.

c. Operators did not want to put the harvesters under a heavy load in order to keep the machines without troubles.

d. The selection of operating speed is limited by the transmission of the tractors.

The use of hydraulic drive-type tractors and the relation between the increase of throughput and the durability of machines are the important subjects for a future s tudy.