HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	コントラクタにおける自走式フォレージハーベスタの作業能力
Author(s)	端, 俊一; 岡本, 博史; 登坂, 直範; 高井, 宗弘
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 20(1), 179-186
Issue Date	1997-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/12175
Type	bulletin (article)
File Information	20(1)_p179-186.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大農邦文紀要 20(1)：179～186，1996

コントラクタにおける自走式フォレージハーベスタの作業能力

端　俊一・岡本　博史・登坂　直範*・高井　宗宏
(北海道大学農学部作物生産システム工学講座)

(平成8年8月16日受理)

Working Capacity of Self-propelled Forage Harvester in Farm Contractor

Shun-ich HATA, Hiroshi OKAMOTO, Naonori TOSAKA*, Munehiro TAKAI
(Laboratory of Crop Production Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, 060, Japan)

I. はじめに

北海道の畑作・酪農地帯では，1980年代からの農産物価格低下に対して，野菜の導入や乳牛増頭などの経営拡大をよりいっそう推し進めることにより対処してきた。定常的な農業労働力減少・高齢化の傾向のもとで，この経営拡大を支えてきたのは，農業機械の大型高性能化であった。しかし，個人所有あるいは共同所有であっても購入できる大型機械にはおのずと限度があり，家族従事者の労働負担は増加した。経産牛飼養頭数65頭の酪農経営で，年間総労働時間が7,000時間という調査例も報告されており[1]，一人当り労働時間は3,000時間にもおよぶと推定される。1990年代に入って相次いで形成された農作業受託組織（ファーム・コントラクタ）は，このような過重な労働を軽減したいという農家の要求に端を発したものであるが，農家にとっては省力多頭化，機械投資抑制などの利点があり，今後の北海道農業の重要な担い手として期待されている。

以上のような背景を考えると，従来の大型機械の個人所有あるいは共同利用におけるよりも更に高い作業能率・効率により作業コスト低減が実現できなければ，ファーム・コントラクタの成立は難しい。本研究では，JA鹿追町の農作業受託事業における大型自走式フォレージハーベスタの作業実態を調査した結果に基づき，ファーム・コントラクタによるサイレージ収穫作業の作業能率・効率について考察した。

調査に当って，JA鹿追町の伊東正男課長はじめオペレータの各位には忙しい作業の中ご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

II. サイレージ収穫の作業体系

調査は1994年10月と1995年7月に行い，それぞれコーンと一番草のサイレージ収穫作業について調査した。グラスサイレージ収穫作業には，前作業としてモアコンディショナによる刈り取り作業があり，場合によってはレーキによる集草も行われるが，本調査ではこれらは除外している。

表1に調査した作業に使用されている作業機を示す。自走式フォレージハーベスタは265 kW（360 PS）の超大型のもので，グラスサイレージの場合はピックアップ幅3 mのピックアップユニットを装着し，コーンサイレージの場合は刈幅4.5 mのロータリドラム式ロークロップユニットを装備する。このロークロップユニットはコーン列条にとらわれない刈り取りが可能であり，ステアリングを切りながら刈り取ってもコーンを押し倒すことが少なく，枕地処理，角刈り，口開けなどが迅速にできる。また，本事業ではコーンを条間50 cm，株間15 cmで播種しており，このような狭い条間でも容易に作業ができる。

サイレージ収穫の作業体系には，フォレージハーベスタがハイダンプトレーラを牽引して，その中に細断した材料を吹き込み，トレーラが満杯になると運搬車に積み替える「ハイダンプトレーラ方式」と，フォレージハーベスタの横を伴走する運搬車に直接

*現在の所属：スター農機株式会社，066千歳市上長都1061－2

表1　サイレージ収穫作業の使用作業機
Table 1　Machinery used in silage harvesting

Self-propelled Forage Harvester	
Base Unit:	John Deere JD 6810 (engine power: 265 kW)
Pickup Unit:	John Deere JD 630 (pickup width: 3 m)
Row-crop Unit:	Kemper Champion M 4500 (cutting width: 4.5 m)
High-dump trailer:	Star THW 6050 (wagon capacity: 14 m^3)
Shovel loader:	Komatsu WA 200 (bucket capacity: 1.8 m^3)
Transport vehicles:	Isuzu TW 6 ton Dump truck (capacity: 12.9 m^3) Fuso Fighter 4 ton dump truck (capacity: 11.5 m^3)

吹き込む「運搬車伴走方式」がある。理論的には積み替えがないので運搬車伴走方式の方が能率はよいが，高価な運搬車が1台多く必要（したがって運転者も一人多い）なこと，伴走している時間だけ運搬車のサイクルタイムが延びること，コーン収穫での口開け作業時に運搬車の交替に時間を要することなどから，本事業体では通常はハイダンプトレーラ方式で行われている。運搬車台数に余裕がある場合や，急傾斜地を登りながらの作業の場合に，運搬車伴走方式が採られる。本調査でも，一部に伴走方式で行われた部分もあったが，解析は通常の作業法であるハイダンプトレーラ方式のみについて行った。運搬車は荷台容積13 m^3，積載量6 tonの農業用ダンプトラックで，ハイダンプトレーラは容量14 m^3 のものである。通常，ハーベスタ1台に運搬車2〜3台がセットになっており，このほか農家の4 tonダンプトラックが加わることがある。

サイロは詰め込み作業能率のよいスタックサイロを基本としており，積み上げ鎮圧にショベルローダを使用している。

III. サイレージ収穫作業の能率

表2にサイレージ収穫作業の能率調査結果を示す。グラスサイレージ収穫はいずれも前作業としてレーキで集草しており，集草列間隔は約6 mである。

ほ場G-aは縦横比1.6のほぼ長方形で，わずかに傾斜したほ場であり，サイロからの距離は約500 mと近いが，道路は細い農道1本しかなく，運搬車は待避場所を使ってすれ違う以外にない。また，ショベルローダの能率がハーベスタよりも低いため，運搬車のサイクルタイムが伸び，結果としてハーベスタに待ち時間が生じている。しかし，切込み能率自体は高く，比較的小面積でほ場長さも短いほ場ではあるが，作業能率(rate of work)は3.34 ha/hを記録した。

ほ場G-bは縦横比約6.9の細長い平坦なほ場であるが，出入り口のとりつけ道路などのため若干の不整形部分がある。牧草は前年秋に播種した新播1番草で収量はやや低い。サイロからの距離は2.7 kmと遠いが，全線舗装で道幅も十分である。しかし，前もって集草作業をしていたレーキが全行程の3/4ほどのところで故障修理中であり，修理完了までペースを落として収穫作業が行われた。切込みの方式はハイダンプトレーラ方式と運搬車伴走方式が混在している。結果として，ほ場作業能率は2.16 ha/hと低い値であった。

コーンサイレージ収穫作業では，ショベルローダの作業時間は計測していない。ほ場C-aは縦横比2.1の平坦なほ場であり，ほ場幅が85 mとやや広いため，収穫作業は中割りにより2分割して行われた。片方のほ場端が緩やかな凸曲線を描く台形に近いほ場である。サイロまでの距離は500 mと近いが，ほ場G-aと同様に約300 mある農道でのすれ違いはできない。しかし運搬車台数が3台であったため，ハーベスタが運搬車を待つことはほとんどなかった。反対に運搬車には4分22秒の待ち時間が発生したが，農道でのすれ違いができない以上，これはある程度仕方のないことである。コーンの収穫では，枕地部分を収穫する時間が全体の能率に大きく影響する。枕地では畦に直角に作業するため，凹凸が激しく，作業速度は通常の約1/2となる。また，収穫面積に対する回行回数も多い。このほ場は縦横比が小さいため，枕地の占める面積は全体の約15%になり，これを収穫する時間は21分31秒と全体の作業時間の35%を占める。この結果，ほ場作業能率は

表2　サイレージ収穫作業の能率
Table 2　Working rate of silage haevesting

		Grass silage		Corn silage	
Fields		**G-a**	**g-b**	**C-a**	**C-b**
Area	(ha)	1.69	4.20	1.49	1.80
Average length	(m)	166	540	176	337
Average width	(m)	102	78	85	53
Distance from silo	(km)	0.5	2.7	0.5	2.7
Forage harvester					
Total times:					
cutting		18'34″	46'16″	40'49″	29'11″
turning		2'33″	15'17″	7'26″	4'37″
dumping in transporter		5'13″	4'56″	11'21″	7'52″
waiting for transporter		4'02″	34'21″	20″	24'06″
stop		0″	15'32″	34″	15″
Overall		30'22″	116'22″	60'30″	66'01″
Overall number of transporter		10	25	17	15
Times per transpoter:					
cutting		1'51″	1'51″	2'24″	1'57″
dumping in transporter		31″	37″	40″	31″
waiting for transporter		24″	1'22″	1″	1'36″
Rate of work (ha/h)		3.34	2.16	1.46	1.64
Transporter					
Capacity×Number		6 t×2	6 t×3 +4 t×1	6 t×2 +4 t×1	6 t×2 +4 t×1
Average times:					
transport		1'55″	4'28″	2'00″	5'13″
return		1'27″	5'09″	2'00″	6'14″
waiting at field		38″	0″	4'22″	0″
waiting at silo		1'03″	1'40″	—	—
loading from hi-dump trailer		21″	25″	38″	32″
direct loading from harvester		—	2'04″	—	—
unloading		30″	40″	1'30″	1'54″
stop		12″	4″	0″	0″
cycle time (/w hi-dump sys.)		6'06″	11'49″	10'02″	13'52″
(/w direct loading)		—	13'28″	—	—
Shovel loader					
Times per transporter:					
piling-up & compacting		2'53″	3'00″	—	—
waiting for transporter		56″	1'41″	—	—
Notes			Rake was in trouble.		headlands had been reaped previously

1.46 ha/h となった。

ほ場 C-b は縦横比 6.4 の平行四辺形の細長いほ場である。調査時点では枕地部分の収穫はすでに終わっていた。1.8 ha という面積はこの枕地部分を除いた実収穫面積である。サイロまでの 2.7 km は全線舗装道路であるが，一部に道幅の狭い区間があり，この区間内でのすれ違いができないため，往路と復路で異なる道を使っている。運搬車台数は 3 台で，この距離では台数が足りず，ハーベスタに平均 1 分 36 秒の待ち時間が発生している。しかし，枕地収穫がなく，縦横比が大きいこともあってほ場作業能率は 1.64 ha/h と，C-a ほ場よりも高い値となった。

全体としてみると，フォレージハーベスタは約2分で運搬車1台分の牧草あるいはコーンを切込み，ハイダンプトレーラから運搬車への積み替えに30〜40秒要している。一方，サイロでのフロントローダは，積上げ鎮圧作業に約3分，運搬車が荷下ろしするときに待避している時間が約1分であるから，フロントローダの作業が，運搬車1台につき1分20〜30秒ハーベスタより余計にかかっていることになる。ハーベスタを待たせないためには，この部分の能率を上げる必要がある。

以下に作業能率に影響する要因について理論式と調査結果により考察する。

A. フォレージハーベスタの正味作業能率

サイレージ収穫作業は，材料の切り込み，運搬およびサイロへの詰め込みの三作業が並行する組作業であり，個々の作業の能率がバランスしていなければ，いずれかの作業に無駄を生じることになる。したがって一般には最も高価であるフォレージハーベスタにむだ時間が生じないように，運搬とサイロ詰め込みの機械構成を考えねばならない。

フォレージハーベスタの作業能率を決定する最も主要な要素は細断能力である。図1は北海道立農業試験場が1977年から1992年までに行った性能試験結果[2]を基に作成したフォレージハーベスタ22機種の機関出力と乾物換算の正味毎時細断量(net rate of cutting)の関係である。単位は毎時乾物質量(DMton/h)で表した。細断長やエンジンの負荷率が一定ではないので，ばらつきはあるが，両者はほぼ比例関係にある。

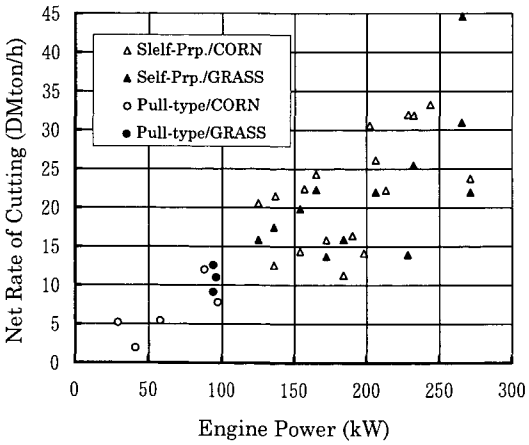

図1　フォレージハーベスタの細断性能
Fig. 1　Cutting capacity of forage harvester

表3に示した今回の調査で得られた正味毎時細断量をこれと比較すると，グラスサイレージの場合は35〜45 DMton/hと図1にほぼ一致するが，コーンの場合は65〜70 DMton/hと1.5倍以上の値を示した。作業速度が約2.5 m/sと性能試験の速度より速いこともあるが，刈幅が4.5 mと今までの機種の1.5〜2倍あることが高能率を実現した主要因である。ロークロップユニットの選定に当たっては，ハーベスタ本体の細断能力に見合った刈幅とすることが重要であることを示している。また，コーンの細断性能から考えると，レーキの集草幅を拡大することにより，グラスサイレージ収穫時の細断量も更に向上させることが可能と思われる。ただし，細断材料としての牧草はコーンよりもかさ密度が低いため，コーンほどの細断能率は得られないと思われるが，50 DMton/n程度は可能であろう。

フォレージハーベスタの正味作業能率 C_n(net rate of work)は，定常状態切り込み時の面積基準の作業能率であり，フォレージハーベスタの固有性能値である正味毎時細断量 Q_n，収量 Y および材料水分 w_m とは次式の関係にある。

$$C_n=\frac{100\,Q_n}{Y\,(100-w_m)} \tag{1}$$

また，この時の作業速度 v は，作業幅 d と C_n より，

$$v=C_n/d \tag{2}$$

表3に示したように，調査機では，グラスサイレージ収穫で約6 ha/h，コーンサイレージ収穫で約4 ha/hと極めて高能率であった。この時の作業速度 v は，グラスサイレージ収穫では2.7 m/s (9.7 km/h)，コーンサイレージ収穫では約2.5 m/s(9.0 km/h)である。牧草の正味毎時細断量を50 DMton/hまで可能と仮定すると，表2のG-aほ場と同じ条件の場合，正味作業能率は7.0 ha/h，作業速度は11.9 km/h (3.3 m/s) となるが，自走式フォレージハーベスタの実用限界作業速度はほ場条件が良い場合でも11.0 km/h (3.1 m/s) 程度と考えられるので，この能率を実現するためには，レーキの集草幅を拡げて集草列の草量を多くする必要がある。

B. フォレージハーベスタの作業効率とほ場作業能率

フォレージハーベスタのほ場作業能率 C_aは，正味作業能率と作業効率 E の積として次式で表される。

表3　フォレージハーベスタの正味作業能率
Table 3　Net rate of work of forage harvester

	Symbol	Unit	Grass silage		Corn silage	
Field ID			G-a	G-b	C-a	C-b
Hectare Yield	Y	ton/ha	30	15	48	50
Water content of Materials	w	%w.b.	76.2	58.8	66.1	64.6
Working width	d	m	6.5	6.1	4.5	4.3
Working speed	v	m/s	2.72	2.60	2.53	2.50
Net rate of cutting	Q_n	DMton/h	44.6	35.5	66.6	69.0
Net rate of work	C_n	ha/h	6.28	5.74	4.10	3.90

$$C_a = EC_n \tag{3}$$

グラスサイレージ収穫作業では，作業効率を決定する要因は，ほ場端や不整形箇所における作業速度・幅の低下，旋回・回行時間，およびハイダンプトレーラから運搬車への細断材料の積替えや運搬車の到着待ちなどの停止時間である。コーンサイレージ作業では，これに枕地部分収穫の際の能率低下を加味しなければならない。これらを式で表すると次のようになる。

グラスサイレージ収穫の場合：

$$E = \frac{1}{E_c^{-1} + e_t + e_d + e_w + e_s} \tag{4}$$

コーンサイレージ収穫の場合：

$$E = \frac{1}{E_c^{-1} + 2E_h a_h a^{-1} + e_t + e_d + e_w + e_s} \tag{4'}$$

ただし，

E_c：切込み効率

E_h：コーンサイレージ収穫での枕地収穫時間増加率

a_h：枕地の長さ

a：ほ場長さ

e_t：旋回・回行時間率

e_d：積み替え時間率

e_w：待ち時間率

e_s：故障などによる停止時間率

a. 切込み効率

フォレージハーベスタは，ほ場全体を通じて常に一定の速度・幅で収穫できるとは限らない。不整形な場所，凹凸のある箇所など，様々な要因により，作業速度・幅が変化する。実際の切込み能率を C_c とすると，切込み効率 E_c は，

$$E_c = C_c / C_n \tag{5}$$

である。調査結果から E_c を算出すると，ほ場 G-a で 0.86，G-b で 0.95，C-a で 0.82，C-b で 0.86 となり，通常は 0.8～0.9 と考えてよいと思われる。

b. 枕地収穫時間増加率

前述のように，コーンサイレージ収穫では枕地部分の収穫時には，作業速度が低下し，旋回・回行回数も増加する。また，その刈取りパターンも一様ではない。枕地部分を通常の作業速度で刈り取ると仮定した場合の切込みだけに要する時間を t_h とし，旋回・回行なども含めた実際の刈取り時間を t_{ah} とすると，枕地収穫時間増加率 E_h は次式で定義できる。

$$E_h = \frac{t_{ah} - t_h}{t_h} = \frac{t_{ah} dv}{2ba_h} - 1 \tag{6}$$

ただし，d：作業幅

v：作業速度

b：ほ場幅

C-a ほ場での能率調査結果から計算すると，$E_h = 1.70$ であった。

c. 旋回・回行時間率

旋回・回行に要する時間の切込み時間に対する比率を旋回・回行時間率と定義する。

1) グラスサイレージの場合

グラスサイレージ収穫作業では，通常フォレージハーベスタは，ほ場最外周から 2，3 周は回行法によって集草列を拾い上げ，その内側は外側往復法によって作業する。

回行法で n 周収穫するとき，旋回に要する時間を T_{t1}，切り込みに要する時間を T_{n1}，90° 旋回に要する時間を t_{90} とすると旋回時間率 e_{t1} と，回行法による収穫面積率 ε_1 は次式で表すことができる。

$$e_{t1} = \frac{T_{t1}}{T_{n1}} = \frac{2vt_{90}}{a + b - 2nd}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{2n(a + b - 2nd)d}{ab}$$

$$\therefore e_{t1}\varepsilon_1 = \frac{4ndvt_{90}}{ab} \tag{7}$$

残りを外側往復法で収穫するとして，回行に要する時間を T_{t2}，回行速度を v_t，切込みに要する時間を T_{n2} とすると，回行時間率 e_{t2} と往復法による収穫面積率 ε_2 は次式のようになる。

$$e_{t2}=\frac{T_{t2}}{T_{n2}}=\frac{\{b-(2n+1)d\}v}{2(a-2nd)v_t}$$

$$\varepsilon_2=\frac{(a-2nd)(b-2nd)}{ab}$$

$$\therefore e_{t2}\varepsilon_2=\frac{(b-2nd)\{b-(2n+1)d\}v}{2abv_t} \quad (8)$$

したがって，グラスサイレージ収穫の場合，ほ場全体での旋回・回行時間率 e_t は次式で定義される。

$$e_t=e_{t1}\varepsilon_1+e_{t2}\varepsilon_2 \quad (9)$$

回行法で収穫する場合，レーキが作った集草列が，なめらかに連続しているなら，$t_{90}=0$ としてよいが，すべてのコーナーで必ずしも連続しているわけではない。G-a ほ場では，3周の回行法のうち2箇所で，13秒と12秒を要した旋回があった。12カ所のコーナーがあるから，平均すると $t_{90}=2.1$ 秒である。G-b ほ場では，2周の回行法のうち，11秒と14秒の旋回が1回ずつあったので，$t_{90}=3.1$ 秒である。したがって，t_{90} は2〜4秒程度見込んでおく必要があろう。

2）コーンサイレージの場合

コーンサイレージ収穫作業の場合は，枕地刈りの後，外側往復法で作業するのが通常である。また，縦横比が小さく，ほ場幅 b が長い場合は，中割りによりほ場を分割して収穫する方が回行距離を短くできて能率的である。中割による分割数を m とすると，旋回・回行時間率 e_t は次式となる。

$$e_t=\frac{(b-md)v}{2(a-2a_h)v_t} \quad (10)$$

ただし，v/v_t は前述のように，約2である。

d. 積み替え時間率

運搬車1台当たりの切込み時間を t_c，ハイダンプトレーラから運搬車への積み替えに要する1回当たりの時間を t_d とし，運搬車の積載量を L とすると，積替え時間率 e_d は次式で表される。

$$e_d=\frac{t_d}{t_c}=\frac{dvYt_d}{L} \quad (11)$$

ただし，表2に示した能率調査結果から，t_d は30〜40秒である。

e. 待ち時間率

フォレージハーベスタの運搬車1台当たり待ち時間を t_w とすると，待ち時間率 e_w は次式で表される。

$$e_w=\frac{t_w}{t_c}=\frac{dvYt_w}{L} \quad (12)$$

待ち時間 t_w は，後述するように，運搬車台数と運搬距離によって変わる。調査結果は表2のように，1秒から1分36秒までとなっている。

f. 停止時間率

全切込み時間を T_n，全停止時間を T_s とすると，停止時間率 e_s は次式で表される。

$$e_s=\frac{T_s}{T_n}=\frac{dvT_s}{ab} \quad (13)$$

通常，機械に故障でも起きない限り，この種の停止時間は生じない。調査例でも，レーキが故障していたG-b ほ場以外では，ほとんど停止時間はなかった。また，この事業体では，すべての車両が無線で通信できるようになっており，オペレータ同士の連絡や打ち合せのために，作業を中断することはない。

C. 運搬車のサイクルタイムと所要台数

前述したフォレージハーベスタの待ち時間 t_w は，ハーベスタの能率に比べて運搬能率が低い場合に発生する。ハーベスタに待ち時間を生じさせないために必要な運搬車の台数は，運搬車のサイクルタイムを，切込み時間と積み替え時間を合計したハーベスタのサイクルタイムで除すことにより得られる。積み込み時間を t_L，荷下ろし時間を t_U，片道運搬距離を S，運搬速度を v_T とすると運搬車のサイクルタイム t_Y，フォレージハーベスタのサイクルタイム t_Z，および運搬車台数 n_T は次式となる。

$$t_Y=t_L+t_U+\frac{2S}{v_T} \quad (14)$$

$$t_Z=\frac{L(1+e_d)}{dvY} \quad (15)$$

$$n_T=\frac{t_Y}{t_Z} \quad (16)$$

積込み時間 t_L は，伴走方式ではハーベスタの切込み時間 t_c，ハイダンプトレーラ方式ではハーベスタの積替え時間 t_d に相当するが，運搬車の発車はハーベスタの切り込み再開より10秒程度早いのが普通である。したがって，ハイダンプトレーラ方式での t_L は20〜30秒と見積もるのが妥当である。

サイロでの荷下ろし時間 t_U は，表2のように30〜40秒である。コーンサイレージで荷下ろし時間が1分以上長くなっているのは，待ち時間も含めて計測したためである。

運搬車の速度は運搬距離によって変わる。家に近

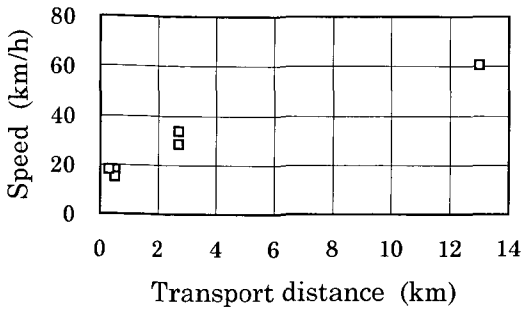

図2　運搬距離と運搬車の速度
Fig. 2　Relation between transport distance and speed

いほ場の場合は，細い農道しかないことが多く，運搬車は低速でしか走行できない。ほ場が遠くなると，舗装された道路が多くなり，高速走行が可能になる。表2の調査結果と，別に計測した2箇所での往復の平均速度を図2に示す。距離が500 m以下では15～18 km/h，2.7 kmでは28～33 km/h，13 kmでは約60 km/hであった。

D. ショベルローダの積上げ・鎮圧能率

フォレージハーベスタを待たせないためには，ショベルローダはフォレージハーベスタ以上の能率でなければならない。しかし，実際には表2のように積上げ・鎮圧に約3分，荷下ろしを待つ時間が約1分と，合計4分はどうしても必要となる。ハーベスタの切込み時間と積み替え時間の合計は約2分30秒であるから，運搬車1台につき約1分30秒ハーベスタを待たせることになる。実際には，ハーベスタの回行時間が含まれる場合も多いので，ハーベスタが毎回待つことはないが，ほ場長が長いほ場では，ハーベスタが待つ割合は多くなる。

ショベルローダ自体の能率を上げることは困難であるから，この問題を解決するには，ショベルローダを2台使用してサイロを2本同時に作成し，運搬車は2本のサイロに交互に荷下ろしするなどの方策が必要である。

E. 可能最大作業能率の試算

今回の調査結果の解析をもとにして，今回調査したほ場で実現可能な最大作業能率を試算した。前提条件として，ショベルローダは2台使用し，すべてのほ場でハイダンプトレーラを使用するものとする。運搬車は，フォレージハーベスタに待ち時間が生じない最低台数を揃えるものとする。

ほ場および作業条件は表3の値を使用するが，G-bほ場については，作業幅と作業速度をG-aほ場に等しくした。また，C-bほ場については，ほ場両端に長さ13 mの枕地部分を追加し，枕地部分の収穫も行うものとした。ハーベスタの積み替え時間はすべて31秒とし，運搬車の積込み時間は21秒，荷下ろし時間は35秒とした。グラスサイレージ収穫では，回行収穫法を2周行い，90°旋回所要時間は2秒とした。コーンサイレージ収穫では枕地長さを片側13 mとし，枕地回行速度は作業速度の1/2とした。C-aほ場は2分割して外側往復法で収穫するものとした。

試算結果を表4に示す。これによると，フロントローダを2台にした効果はG-aほ場とC-aほ場に認められ，ほ場作業能率がそれぞれ21%と27%向上している。C-aほ場では，運搬車台数が2台と実際より少なくなっているが，試算では300 mにおよぶすれ違いのできない農道条件を考慮していないので，実際にはもう1台必要かもしれない。

G-bほ場については，運搬車台数は実際と同じ4台で間に合うが，すべてをハイダンプトレーラ方式で収穫することにより，実質上運搬車が1台増えたと同じ効果がもたらされ，ほ場作業能率は4.89 ha/

表4　サイレージ収穫作業の可能作業能率試算結果
Table 4　Feasible maximum work rate of silage harvesting

Field		G-a	G-b	C-a	C-b
Working width	(m)	6.5	6.5	4.5	4.3
Working speed of Harvester	(m/s)	2.8	2.8	2.53	2.5
Speed of Transporter	(km/h)	17	30	17	30
Cycle time of Harvester		2'21″	2'56″	2'21″	2'23″
Cycle time of Transporter		4'23″	11'44″	4'28″	11'44″
Number of Transporter		2	4	2	5
Working efficiency		0.618	0.747	0.454	0.590
Rate of work	(ha/h)	4.05	4.89	1.86	2.28

hと，2倍以上になると試算された。作業幅と速度が同じ条件のG-aほ場の能率より高くなっているのは，縦横比が大きい効果である。

C-bほ場については，能率の悪い枕地部分の収穫を行ったとしても，39%の能率増加が可能と試算された。これは5台の運搬車が必要なところを，実際には3台で作業していたことが最も大きな要因である。

以上の試算結果より，運搬車1台分の材料を切込むのに2分弱しか要しないような，能率の極めて高いフォレージハーベスタでは，たとえ秒単位の時間であっても，有効な作業である切込み作業以外の時間をいかに短くするかが能率を向上させる重要な要因であることが明らかとなった。

IV. 摘　要

効率のよい作業を目指すコントラクタでの自走式フォレージハーベスタのほ場内作業を調査し，現状の作業能率・効率を解析することにより，これらに影響する要因を明らかにし，能率向上の方策について検討した。得られた主な結果は次の通りである。

(1) フォレージハーベスタの機関出力と正味毎時細断量の関係から，ロークロップユニットは機関出力を有効に使えるだけの刈幅を備えることが，能率向上にとって重要なことが明らかとなった。

(2) グラスサイレージ収穫において，現状の作業速度は約2.7 m/sと，ほぼ実用限界の3 m/sに近いため，さらに正味作業能率を上げるためには，集草列幅を拡げる必要がある。

(3) コーンサイレージ収穫では，コーンの列条に直角に走行するときの速度が通常の約1/2となり，枕地部分の収穫や枕地での回行が作業能率を低下させる大きな要因の一つである。

(4) フォレージハーベスタの作業効率は，切込み効率，枕地収穫時間増加率，施回・回行時間率，積み替え時間率，待ち時間率，停止時間率により表すことができる。

(5) フォレージハーベスタに待ち時間を発生させないためには，運搬車とハーベスタのサイクルタイムから運搬車台数を決定し，サイロでの積上げ・鎮圧能率がハーベスタの能率以下にならないようにする必要がある。

引用文献

1) 岡田直樹：コントラクタの確立と地域農業の展開，農作業研究，**29**（別　2）：38-67，1994

2) 北海道立農業試験場：農業機械試験成績書，1977-1992

Summary

The field work of a self-propelled forage harvester used by a farm contractor was investigated to clarify the factors influencing the field working capacity of the harvester and to find ways to improve its working rate. The main results obtained were as follws:

(1) The relationship between net cutting rate and engine power showed that the cutting width of row-crop header units must be wide enough to use engine power effectively.

(2) In grass silage harvesting, as the present operating speed of approximately 2.7m/s is close to the practical limit, the raking width must be increased to further improve the net working rate of the forage harvester.

(3) In corn silage harvesting, the speed of perpendicular travel to crop rows is about half of the ordinary operating speed, which is one of the main reasons for the decline in the working rate of the forage harvester.

(4) The working efficiency of the forage harvester can be expressed by the cutting efficiency, and the rates of increase in the time required for head land harvesting,turnning,dumping in the transporter,waiting for the transporter,and other stops.

(5) In order to eliminate the waiting time of the forage harvester,it is necessary to determine the number of transporters needed by cycle times of the harvester and transporter,and the cycle time of piling-up and compressing in the silo must not exceed the cycle time of the harvester.