

大型機械による造林作業の機械化

I. 試験担当者 氏名

機械化部機械科長	山脇 三平
機械第2研究室	三村 和男
	平松 修
	猪内 正雄

II. 試験目的

林業労働人口の減少に対処して林業の生産性の画期的な向上をはかるとする目的から、本州地方カラマツ人工林を主とする森林地帯において、トラクタ集材を実行した伐採跡地の再造林にトラクタおよび同付属育林作業機を使用するあたらしい機械化技術が台頭しつつある。これらの育林機械の動力性能および作業性能の面から解析・考察をくわえて、将来の改良・開発の基礎資料を獲得するものである。この新機械化技術は、わが国の林業のみならず緩傾斜を森林地帯の多い海外の林業先進国とみなされる国々の林業においても、大いにその将来性を期待されているものである。

III. 試験の経過と得られた成果

この研究は、この新機械化技術に関して、造林学、ほか林学生物系諸学および同技術の考え方をふまえつつ、林業機械の基本性能の面から科学的考察をくわえ、その可能性に厳密な検討をくわえるためにとくに実施したものである。このためとくにあたらしく考案試作したトラクタ育林作業機数種をふくめたトラクタ育林機械各機種の実機について、とくに筆者の1人が考案した計測装置、耐振計測車および実験用として特殊改造をくわえたクローラトラクタおよびホイールトラク等をもちいて、実際森林地帯における各種条件のもとにトラクタ育林作業機の動力性能および作業性能に関する実験計測をおこなうとともに、トラクタ育林機械の動力性能に関する理論式を実験計測結果と照合することによって検討し、林地動力性能についてほぼその全貌をあきらかにすることことができた。

さらに、これらのトラクタ育林機械各機を実際に造林事業において使用中の性能について時間分析手法その他のによる計測をおこなうことにより、各機の作業性能を究明し、それらの結果にもとづき実験式の作製をおこない、必要に応じて同一林地における1人用可搬式機械（チェーンソー、刈払機、植穴掘機）による作業性能との比較検討もおこない、これによりトラクタおよび同付属育林作業機各機の組み合わせによる総合作業性能の推定を可能ならしめた。

なお、これらの研究結果の実際林業技術への応用例として、与えられた面積の造林予定地に対して、予定した期限内でトラクタ育林作業を実行する場合、必要とされるトラクタおよび同付属作業機各機の台数、推定経費、その他 実行予定計画の検討に役立つ式、図表、参考例などを提示した。これらによりトラクタ育林機械の林業機械としての基本性能の理論的系統的はあくを明確ならしめるとともに、これらの実験的基礎研究の結果の現在および将来の実際林業技術への応用も可能ならしめているものである。

1. クローラトラクタの林地走行性能

トラクタエンジン・クラッチをとおしたドライブ軸およびそのドライブ軸から PTO ギヤ装置をとおした PTO 軸のそれぞれにトルクピックアップ（ドライブ軸に 30 mKg あるいは 50 mKg 容量、PTO 軸に 100 mKg 容量）および発電式回転ピックアップを取りつけ、エンジン・フェュエルフィードポンプとフェュエルフィルタのあいだにパイプをとおして電磁積算式燃料消費計を設置した。これら試験トラクタに取付けられたピックアップ類から、ある距離をおいて駐車している耐振計測車へ送信され、動歪計、回転指示および出力計、燃費指示計等からインク書きオシログラフおよび電磁オシログラフに計測記録したものである。

1-1 林地傾斜面における粘着係数 (μ_a)

見掛けの粘着係数 μ_a および真の粘着係数 μ_a に区別して考えられ、見掛けおよび真の粘着係数の最大および平均各値のうち真の粘着係数の平均値が、粘着係数としては林地の勾配の影響もみられず、もっとも妥当な値をあたえるものということができる（図-1）。

$$\mu_{a\max} = (0.968 - 1.617 \times 10^{-2} \alpha + 7.522 \times 10^{-4} \alpha^2) \cos \alpha + \sin \alpha$$

$$\mu_{a\text{mean}} = 0.678 \cos \alpha - \sin \alpha$$

ここに、 μ_a : F_t / W_t

F_t : トラクタの任意の斜面におけるけん引力 (Kg) = $(\mu \cos \alpha - \sin \alpha) W_t$

W_t : トラクタの装備重量 (Kg)

α : 傾斜せる林地の勾配

$\mu_{a\max}$: 全上見掛けの粘着係数の最大値

$\mu_{a\text{mean}}$: 全上見掛けの粘着係数の平均値

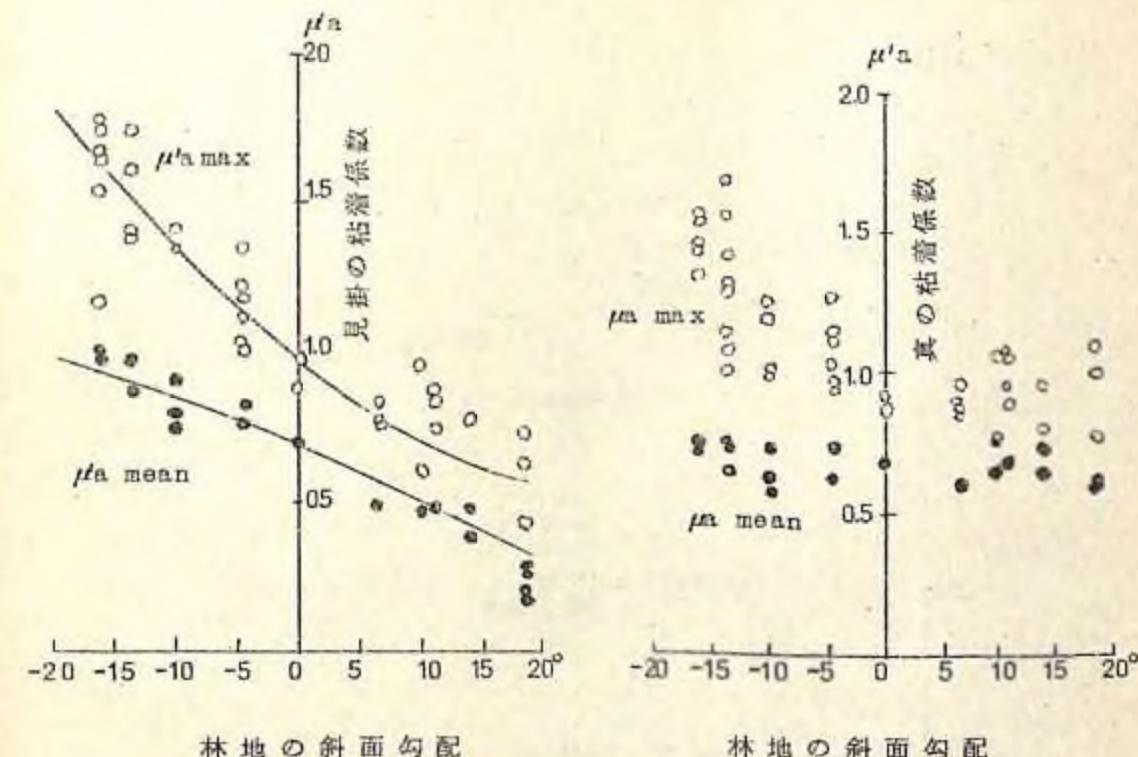
μ_a : 全上見掛けの粘着係数

よつて真の粘着係数 (μ_a) はつきの式でもとめることができる。

$$\mu_a = \frac{F_t}{W_t \cos \alpha} + \tan \alpha$$

（単位：kg）

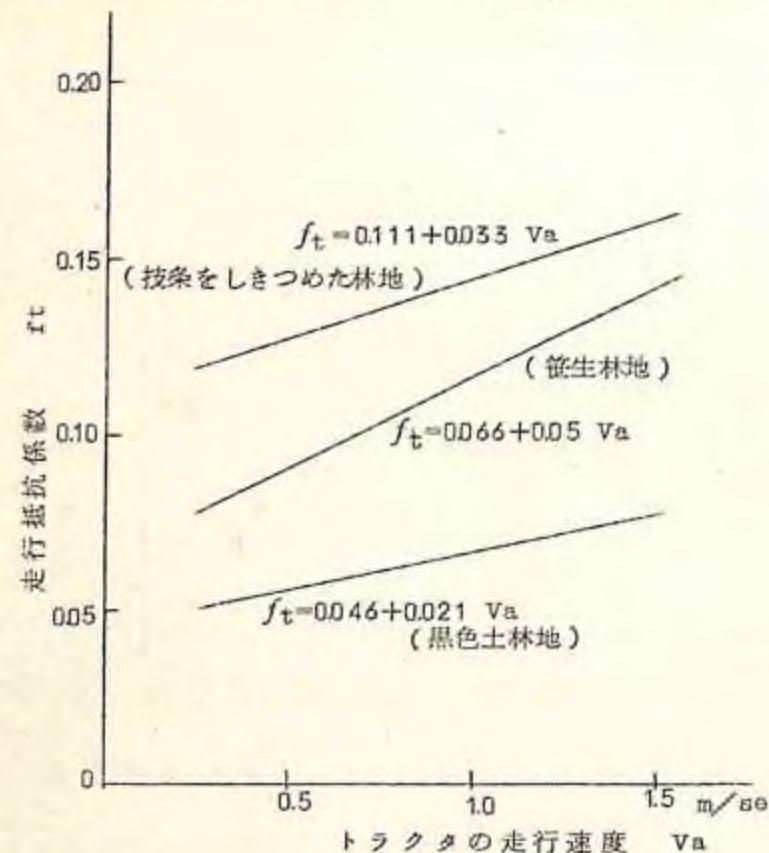
図-1 林地におけるクローラトラクタの見掛け μ_a および真の粘着係数 μ_a



1-2 林地における走行抵抗係数 (f_t)

雑生地および枝条をしきつめた林地上におけるクローラトラクタの走行抵抗係数は、黒色土林地上のそれの約 1.7 倍および 2.2 倍の値をしめした。その実験式はつきのとおりである。

図-2 林地におけるクローラトラクタの走行抵抗係数



黑色土林地 $f_t = 0.046 + 0.021 V_a$
 篠生林地 $f_t = 0.066 + 0.05 V_a$
 枝条をしきつめた林地 $f_t = 0.111 + 0.033 V_a$

ここで、 V_a ：トラクタの走行速度 (m/sec)

1-3 林地傾斜面におけるスリップ率 (S%)

篠生林地上におけるクローラトラクタのスリップ率 S% は、林地斜面の勾配 α に関して三次曲線的な関係にあり、つぎの実験式であらわされる傾向をしめす。

$$S = -1.7 + 0.018 \alpha + 0.007 \alpha^2 + 0.00015 \alpha^3$$

1-4 林地傾斜面における直線走行出力 (P_t PS)

林地傾斜面におけるクローラトラクタの直線走行所要動力 P_t (PS) は 次式によりもとめられる。

図-3 林地におけるクローラトラクタのスリップ率

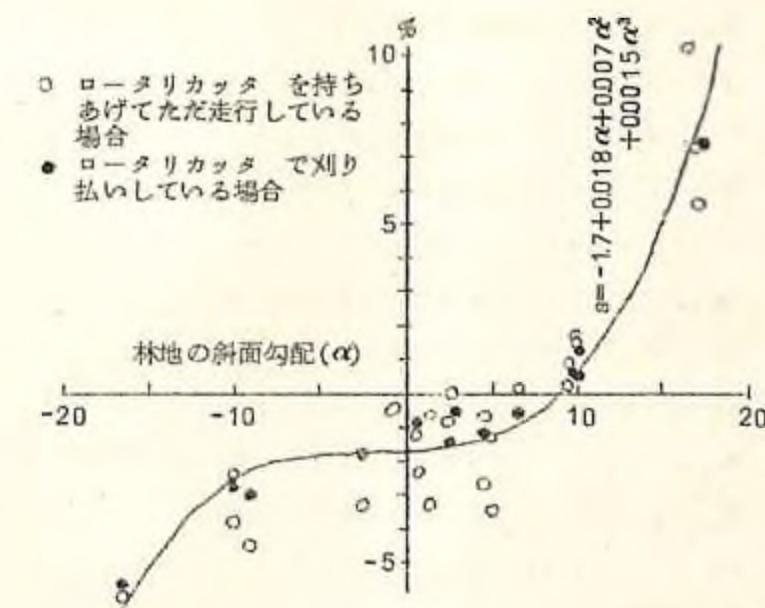
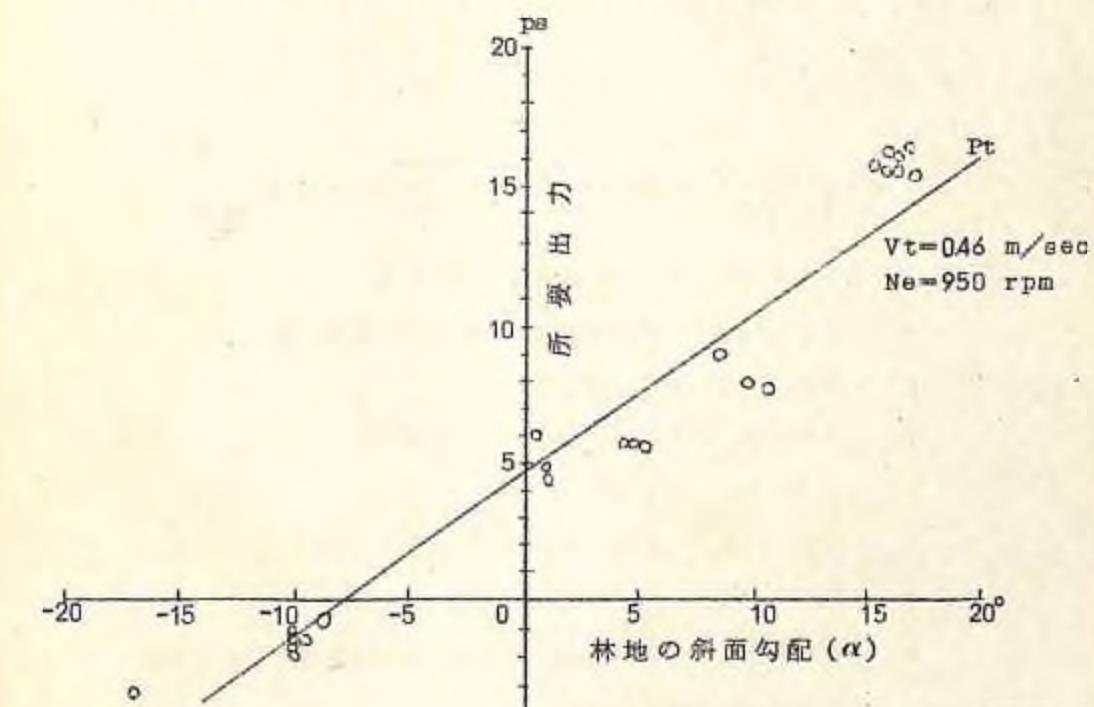


図-4 林地におけるクローラトラクタの走行所要出力



$$P_t = \frac{W_t (f_t \cos \alpha + \sin \alpha) V_a}{75 \cdot \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 (1-s)} = \frac{W_t (f_t \cos \alpha + \sin \alpha) \ell_p \cdot n \cdot N_e}{75 \cdot 60 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4}$$

ここで、 V_a : トランクタの実際走行速度 (km/h)

ℓ_p : トランクタのピッチ長 (m)

n : スプロケット 1 回転でおくられるトランクタの数

α : トランクタ進行方向の前後の角度

N_e : トランクタエンジンの回転数 (r/min)

i_1 : トランクタの減速比 (第 1 速 1.735)

i_2 : ディファレンシャルの減速比 (6.667)

i_3 : ファイナルドライブの減速比 (5.15)

η_1 : トランクタの機械効率 (0.95)

η_2 : ディファレンシャルの機械効率 (0.95)

η_3 : ファイナルドライブの機械効率 (0.95)

η_4 : スプロケットとトランクタの機械効率 (0.835)

1-5 林地傾斜面における旋回走行出力 (P_{tc})

林地傾斜面における任意の方向で旋回しているクローラトラクタの旋回走行所要動力

(P_{tc}, P_s) は、次式によりもとめられる。

$$P_{tc} = \frac{W_t \cdot V_0}{270 \eta} \left[f_t + \frac{\mu \ell}{2(2r-b)} + \frac{2V_0 \{2hg\mu(2r-b) - \ell V_0^2\}}{g^2 \mu (2r-b)^2} + \frac{1}{(2r-b)} \{2f_t h \tan \alpha + \frac{\ell}{2} (\mu - \frac{\sin^2 \alpha}{\mu})\} + \sin \beta \right]$$

ここで、 V_0 : トランクタ車体中心の走行速度 (km/h)

μ : トランク (履帶) の林地における横方向の摩擦係数

ℓ : 履帶の林地における接地長 (m)

r : クローラトラクタの外側履帶の旋回半径 (m)

b : トランクゲージ (m)

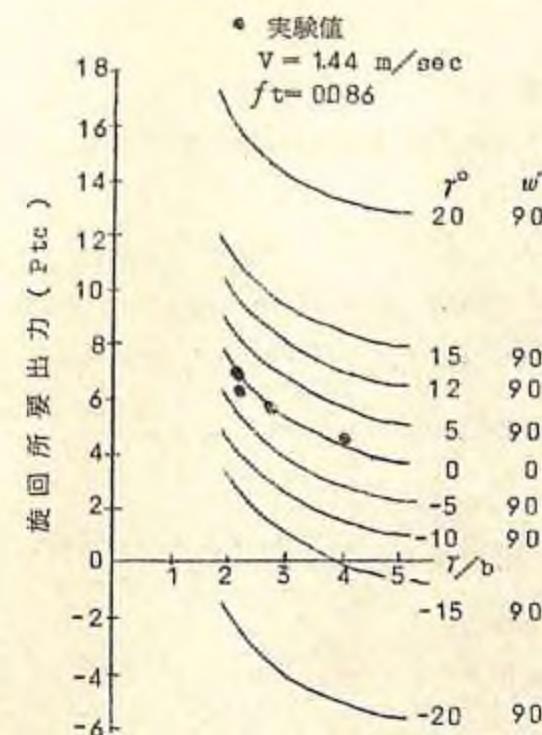
h : トランクタ重心の高さ (m)

g : 重力の加速度 (kg/sec²)

w : 林地斜面上の等高線方向とトランクタの進行方向とのなす角度 (°)

γ : 林地斜面の勾配 (°)

図-5 林地におけるクローラトラクタの旋回所要出力



α : トランクタの林地斜面上任意の位置における左右傾き角度 (°)
 $= \sin^{-1} (\sin(\gamma) \sin w)$

β : トランクタ進行方向前後の角度 (°) $= \sin^{-1} (\sin w \sin \gamma)$

1-6 林地における伐根のりこえ出力 (P_{oc})

林地において、クローラトラクタがその片側トランクで伐根を乗り越えるときの所要動力は、トランクが伐根にひっかかってはいあがろうとするときからその先端を乗り上げるまでの所要出力 (P_{oc1}) そこからけい登りながら伐根の平面まで乗りつめてトランクがその平面に平行になる直前、つまり登りつめる直前までの所要出力 (P_{oc2})、所要動力の最大値とみとめられる) にわけて検討をくわえ、理論式と計測結果との照合をおこない、伐根乗り越え限界の検討を容易ならしめた。

まず P_{oc1} 所要出力は

$$P_{oc1} = \frac{\pi \cdot d \cdot N_e \cdot R_{oc1}}{75 \cdot 60 \cdot i \cdot \eta}$$

ここに, d : スプロケットの有効半径 (mm)

N_e : エンジン回転数 (r pm)

i : 全減速比

η : 全機械効率

RC01 : トラックの先端部が伐根に乗り上げるまでの間を計算することのできる走行抵抗力 (K_f)。

すなわち,

$$\begin{aligned}
 RC01 = & f_2 Q_2 \cos \alpha \cdot \cos \beta + f'_1 F_2 \cos(\beta + \beta_1) + F_2 \sin(\beta + \beta_1) \\
 & + F_1 \cos(\delta_1 - \beta) + Q_2 \cos \alpha \cdot \sin \beta + W_t \cos(\alpha + \alpha_1) \cdot \sin(\beta + \beta_2) \\
 = & \frac{W_t}{2} \cos \alpha \cdot \cos(\beta + \beta_2) \left\{ f_2 \cos \beta \left\{ 1 + \frac{2 h \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - \frac{b}{2}} \right\} \right. \\
 & + f'_1 \cos(\beta + \beta_1) \left\{ 1 - \frac{2 h \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - \frac{b}{2}} \right\} \left\{ 1 - \frac{\ell/2}{L - \ell_x} \right\} \\
 & + \sin(\beta + \beta_1) \left\{ 1 - \frac{2 h \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - \frac{b}{2}} \right\} \left\{ 1 - \frac{\ell/2}{L - \ell_x} \right\} \\
 & + \cos(\delta_1 - \beta) \left\{ 1 - \frac{2 h \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - \frac{b}{2}} \right\} \left\{ 1 - \frac{\ell/2}{L - \ell_x} \right\} \\
 & \left. + \sin \beta \left\{ 1 + \frac{2 h \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - \frac{b}{2}} \right\} \right\} + W_t \cos(\alpha + \alpha_1) \sin(\beta + \beta_2)
 \end{aligned}$$

ここに, f_2 : 林地における走行抵抗係数

f'_1 : 伐根における走行抵抗係数

α : 接地側トラックと伐根乗り上げようとするトラック側の各々の下面(林地側)をむすんだ線とトラクタ重心点 (OG) から鉛直にむしろした線と交わる点における左右トラックのなす傾き角 = $90^\circ - \cos^{-1}(\cos w \sin r)$

β : 全上における接地側トラックの前後方向のなす傾き角 = $90^\circ - \cos^{-1}(\cos^{-1}(\sin w \sin r))$

α : 伐根乗り上げ側トラックがその先端を乗り上げたときにおいて、右左両トラックの下面(重心高さ h の面)をむすんだ線と重心点 C_0 より鉛直に h

をおろした線と交わる点における左右両トラックの傾き角より α を差し引いたところの左右両トラックのなす傾き角

β_1 : 全上における伐根乗り上げ側トラックの前後方向のなす傾き角から β を差し引いたところの左右両トラックのなす傾き角。

r : 林地斜面の勾配

w : 林地斜面上の等高線方向とトラクタの進行方向とのなす角度

δ_1 : $\delta_2 + \delta_3$

$$\delta_2 := \tan^{-1} \frac{r - H'}{L - \ell_x}$$

$$\delta_3 := \cos^{-1} \frac{r^2 + \ell_x^2 - \ell^2}{2r \ell_x}$$

W_t : トラクタの装備重量 (K_f)

Q_2 : 接地側トラックの垂直荷重

Q_1 : 伐根乗り上げ側トラックの垂直荷重

すなわち,

$$Q_1 = \frac{W_t}{2} \left\{ 1 - \frac{2 h \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\} \cos(\beta + \beta_2)$$

$$Q_2 = \frac{W_t}{2} \left\{ 1 + \frac{2 h \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\} \cos(\beta + \beta_2)$$

ここに, B : トラックゲージ

b : トラックシューの幅

F_1 : 接地側トラックの走行抵抗力 (K_f)

F_2 : 伐根乗り上げ側トラックの走行抵抗力 (K_f)

すなわち,

$$F_1 = Q_1 \cos \alpha \left\{ \frac{\ell/2}{L - \ell_x} \right\}$$

$$= \frac{W_t}{2} \cos \alpha \cdot \cos(\beta + \beta_2) \left\{ 1 - \frac{2 h \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\} \left\{ \frac{\ell/2}{L - \ell_x} \right\}$$

$$F_2 = Q_2 \cos \alpha \left\{ 1 - \frac{\ell/2}{L - \ell_x} \right\}$$

$$= \frac{W_t}{2} \cos \alpha \cdot \cos(\beta + \beta_2) \left\{ 1 + \frac{2 h \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\} \left\{ \frac{\ell/2}{L - \ell_x} \right\}$$

ここで, L : トランクの接地長+接地の端から伐根の接触点までのトランク長さ (m)

ℓ_x : 全上の長さから伐根乗り上げのため前後した距離 (m)

以上により乗り上げの初期の所要出力を計算することができる。

つぎに, P_{oc2} 所要出力は,

$$P_{oc2} = \frac{\pi \cdot d \cdot N_e \cdot R_{oc2}}{70 \cdot 60 \cdot i \cdot \eta}$$

ここで, R_{oc2} : トランクの先端が伐根に乗り上げてから伐根上に登りつめるまでの間を計算することのできる走行抵抗力 (N_e)

すなわち,

$$\begin{aligned} R_{oc2} &= f_2 Q_2 \cos \alpha \cos \beta + Q_2 \cos \alpha \cdot \sin \beta + f_1 F_1 \cos(\beta + \beta_1) + f_1' F_2 \cos(\beta + \beta_1) \\ &\quad + Q_1 \cos \alpha \sin(\beta + \beta_1) + W_t \cos(\alpha + \alpha_1) \sin(\beta + \beta_2) \\ &= \frac{W_t}{2} \cos \alpha \cdot \cos(\beta + \beta_2) \left[f_2 \cos \beta \left\{ 1 + \frac{2 \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\} \right. \\ &\quad \left. + \sin \beta \left\{ 1 + \frac{2 \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\} + f_1' \cos(\beta + \beta_1) \right. \\ &\quad \left. \left\{ 1 - \frac{2 \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\} \right] \left[1 - \frac{\ell \sin \beta_1}{H'} + \sin(\beta + \beta_1) \right. \\ &\quad \left. \left\{ 1 - \frac{2 \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\} \right] + W_t \cos(\alpha + \alpha_1) \sin(\beta + \beta_2) \end{aligned}$$

$$ここで, Q_1 = \frac{W_t}{2} \cos(\beta + \beta_2) \left\{ 1 - \frac{2 \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\}$$

$$Q_2 = \frac{W_t}{2} \cos(\beta + \beta_2) \left\{ 1 + \frac{2 \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\}$$

$$F_1 = Q_1 \cos \alpha \cdot \frac{\ell}{2} \cdot \frac{\sin \beta_1}{H'}$$

$$= \frac{W_t}{2} \cos \alpha \cdot \cos(\beta + \beta_2) \cdot \sin \beta_1 \cdot \frac{\ell}{2 H'} \left\{ 1 - \frac{2 \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\}$$

$$F_2 = Q_2 \cos \alpha \left(1 - \frac{\ell \sin \beta_1}{2 H'} \right)$$

$$= \frac{W_t}{2} \cos \alpha \cdot \cos(\beta + \beta_2) \left\{ 1 - \frac{2 \tan(\alpha + \alpha_1) \cos \alpha_1}{B - b/2} \right\} \left\{ 1 - \frac{\ell \sin \beta_1}{2 H'} \right\}$$

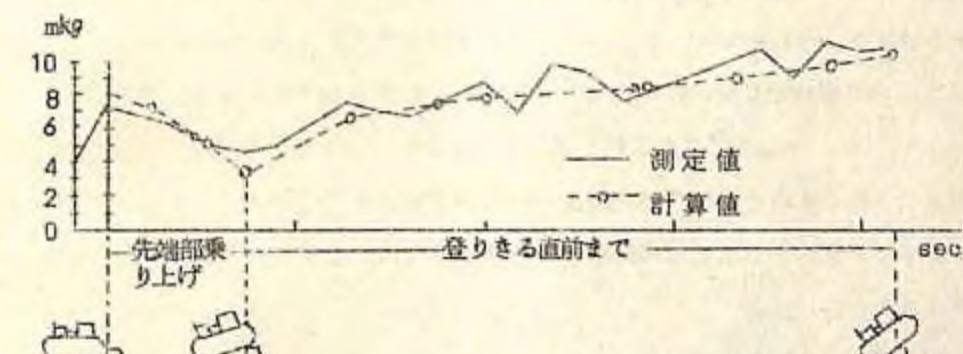
ここで, H' : $H \sqrt{\cos^2 \beta - \sin^2 \alpha}$

H : 伐根乗り上げ高さ (m)

ℓ : トランクの接地長 (m)

以上の式から計算すると図-6のとおり。

図-6 伐根乗り上げ所要トルク測定値と計算値の比較

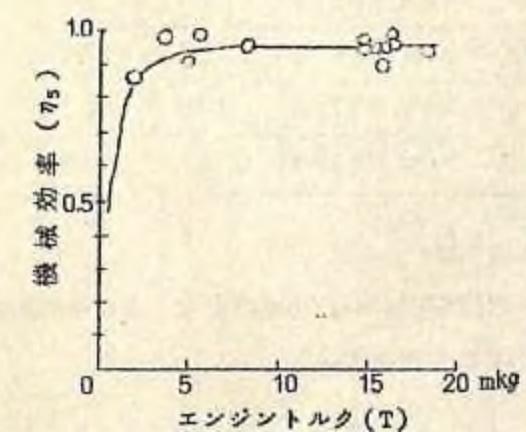


$\ell = 1.52 \text{ m}, B = 1.22 \text{ m}, f_t = 0.125, h = 0.711 \text{ m}, d = 0.56 \text{ m}, W_t = 3.810 \text{ kg}$

1-7 試験トラクタの PTO 軸伝動効率 (η_5)

クローラトラクタの PTO 軸動力伝動機械効率 η_5 の計測に成功し、試験トラクタの各部の伝動機械効率の推定を可能ならしめたもので図-7にしめしたとおりである。

図-7 試験クローラトラクタの PTO 軸機械効率



2. ホイールトラクタの林地走行性能

集材専用の4輪駆動形アーティキュレイテッドフレーム・ホイールトラクタを造林作業にも使えるように特別に改造をくわえて、すなわち、集材専用車のウインチ、ハイリード、ガード板などを、とりはずしおよび取り付けのできるように改修し、かわりにPTOギヤケースをとおしてPTO軸および三点支持装置を装備したもので、上述のとおりとりはずしして集材装置に取替えることもできるようにはん用性をもたせたものである。これにより実際の現場においてロータリカッタ(機械駆動式、クローラトラクタに取り付けて実験をおこなったおなじ機械)による刈り払い所要動力測定の結果、十分使えることをたしかめた。トラクタエンジン・トランスマッションをとおしたドライブ軸およびトランファーポックスからPTOギヤケースをとおしたPTO軸のそれぞれにFM遠隔式トルク送信器および発電式、光電式回転ピックアップを、エンジンクランク軸に発電式回転抽出部を取り付け、計測は、耐振計測車に備えつけのオシログラフに記録した。

2-1 林地における粘着係数

粘着けん引力は、全一箇所では経時変化し、スリップ開始車両の沈下にともないその係数値は漸減し、表-2のような値をしめした。

表-2 粘着係数

土 質			粘着係数		備 考
地表	含水率	深さ別 地耐力		最大	スリップ時 経時時間
		5cm	20cm		
黒色 土地	3.5	2.4	8.4	14.5	0.626 0.570 ~ 0.503 ~ 0.438 35.3 sec
	3.7	3.2	12.2	16.0	0.668 0.646 ~ 0.626 ~ 0.492 36.0
笠生 地	4.0	1.9	5.2	11.1	0.734 0.706 ~ 0.685 ~ 0.516 49.5
	4.1	3.2	7.5	12.5	0.821 0.702 ~ 0.697 ~ 0.609 61.7

2-2 林地における走行抵抗係数(f_t)

走行抵抗係数は速度に一次的に正比例し、黒色土材地および笠生林地における計測値は、図-8のとおり。この実験式はつきのとおり。

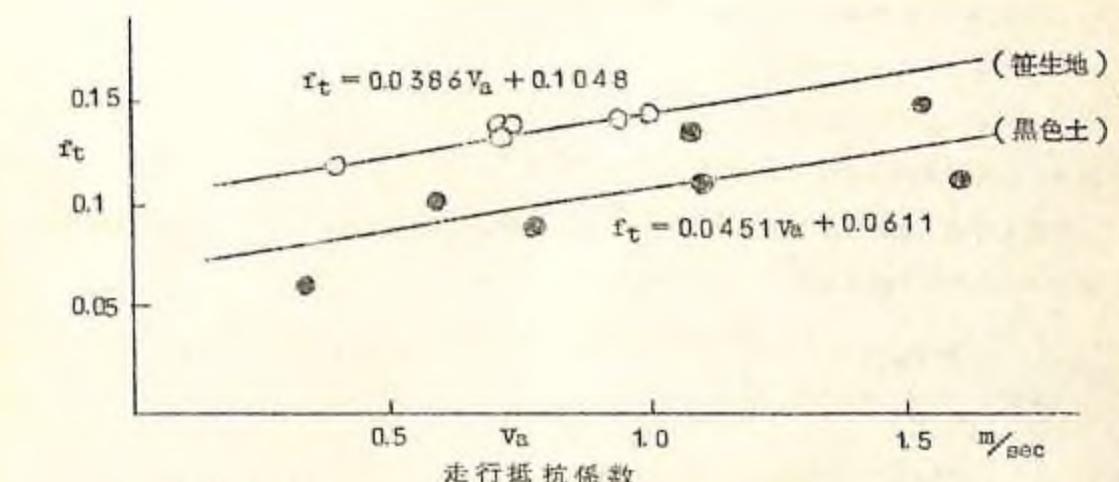
黒色土林地

$$f_t = 0.0451 V_a + 0.0611$$

笠生林地

$$f_t = 0.0386 V_a + 0.1048$$

図-8 ホイールトラクタの林地走行抵抗係数



2-3 林地における旋回走行出力(P_c)

平担林地における定常旋回所要動力 P_c (P_s)は次式によりもとまる。

$$P_c = \frac{V_a (2F_1 + F_3)}{37.5 \eta (r_1 + r_2 + r_3 + r_4)} \left(\frac{r_1}{\cos\phi_1} + \frac{r_2}{\cos\phi_2} \right)$$

$$F_1 = \frac{\sin\phi_3 (\sum_{i=1}^4 R_i \cos\phi_i + \sum_{i=1}^2 C_i \sin\phi_i - \sum_{i=3}^4 C_i \sin\phi_i)}{\sin\phi_3 (\cos\phi_1 + \cos\phi_2) + \cos\phi_3 (\sin\phi_1 + \sin\phi_2)}$$

$$+ \cos\phi_3 \left(\frac{Q}{g} \cdot \frac{Vg^2}{r} + \sum_{i=1}^2 R_i \sin\phi_i - \sum_{i=3}^4 R_i \sin\phi_i - \sum_{i=1}^4 C_i \cos\phi_i \right)$$

$$F_3 = \frac{(\sin\phi_1 + \sin\phi_2) \left(\sum_{i=1}^4 R_i \cos\phi_i + \sum_{i=1}^2 C_i \sin\phi_i - \sum_{i=3}^4 C_i \sin\phi_i \right)}{\sin\phi_3 (\cos\phi_1 + \cos\phi_2) - \sin\phi_3 (\sin\phi_1 + \sin\phi_2)}$$

$$- (\cos\phi_1 + \cos\phi_2) \left(\frac{Q}{g} \cdot \frac{Vg^2}{r} + \sum_{i=1}^2 R_i \sin\phi_i - \sum_{i=3}^4 R_i \sin\phi_i - \sum_{i=1}^4 C_i \cos\phi_i \right)$$

F_1, F_3 ：前輪、後輪旋回内側車輪駆動力(kg)

r_1, r_2, r_3, r_4 ：各車輪の旋回半径(m)

$$V_a : \text{平均旋回速度} = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}{4} \omega$$

w : 旋回角速度 (rad/sec)

η : 機械全効率

β_1, β_2 : 車輪の横すべり角

R_t : 旋回時の各車輪の走行抵抗 (kg)

C_t : 各車輪のコーナリングフォース (kg)

Q_t : トラクタ重量

g : 重力の加速度

2-4 林地傾斜面における直線走行出力 (P_t)

黒色土林地、葦生地、枝条散在林地における傾斜面におけるホイールトラクタの直線所要動力 P_t (PS) は次式によりもとめられる。

$$P_t = \frac{2\pi N_e r_t \left[\frac{w_t(\ell_r - h' \tan \beta)}{2} \left(1 - \frac{2h' \tan \alpha}{b} \right) + \left(1 + \frac{2h' \tan \alpha}{b} \right) \right] + \frac{w_t(\ell_r + h' \tan \beta)}{2\ell} \left[\left(1 - \frac{2h' \tan \alpha}{b} \right) + \left(1 + \frac{2h' \tan \alpha}{b} \right) \right] (f_t \cos \sigma + \sin \sigma)}{75 \cdot 60 \cdot i_t \cdot i_f \cdot i_d \cdot i_p \cdot \eta_t \cdot \eta_f \cdot \eta_d \cdot \eta_p}$$

w_t : トラクタ重量 (5.550 kg)

N_e : エンジン回転数 (rpm)

ℓ : 軸距 (2.72 m)

b : 輪距 (1.84 m)

ℓ_r : トラクタ重心点より前輪軸までの距離 (0.906 m)

ℓ_f : トラクタ重心点より後輪軸までの距離 (1.874 m)

h : トラクタ重心点の高さ (0.985 m)

r_t : トラクタ車輪の有効半径 (0.703 m)

h' : h - r_t (m)

$\sigma : \cos^{-1}(\cos \alpha \cos \beta)$ (°)

β : トラクタ登はん角度 (°)

α : トラクタの左右傾斜角度 (°)

f_t : 林地走行抵抗係数

i_t : トランスマッション減速比

i_f : トランスファー減速比

i_d : ディファレンシャル減速比

i_p : ブラネットリギヤ減速比

η_t : トランスマッション機械効率

η_f : トランスファー機械効率

η_d : ディファレンシャル機械効率

η_p : ブラネットリギヤ機械効率

3. クローラトラクタ育林機械の動力性能

トラクタ育林作業機は、トラクタに装備された三点支持装置あるいはその他によって懸架され、トラクタから動力の供給をうけながら、それぞれその作業機の目的に応じた作業を実行する場合、トラクタからの動力の供給様式を大別すると三とおりとなる。

(a) PTO軸から供給 (スタンプカッタ、アースオーガ、カルチオーガ等)

(b) トラクタ走行と同時に PTO軸から供給 (ロータリカッタ、薬剤および肥料散布機、ローダベータ等)

(c) トラクタ走行により供給 (レーキドーザ、プランタ等)

3-1 トラクタ・スタンプカッタの動力性能 (P_{sec}, P_{sec'})

スタンプカッタ (機械駆動式) の伐根切削性能に検討をくわえ、その所要動力 P_{sec} (ps) は、次式でもとめられることをたしかめた。

$$P_{sec} = \frac{f \cdot b \cdot v_f \cdot r}{75 \cdot \eta_s \cdot \eta_{sc}} \left(\cos^{-1} \frac{(r-h)}{r} - \cos^{-1} \frac{(r-h_0)}{r} \right) \doteq \frac{\sqrt{2} f \cdot b \cdot v_f \cdot r^{\frac{1}{2}} h^{\frac{1}{2}}}{75 \cdot \eta_s \cdot \eta_{sc}}$$

ここで、f : カッタの単位切削抵抗力 (kg/mm) = 73.8 (b^{0.5})^{-1.62}

b : カッタ1枚の平均切削幅 (mm)

h : カッタ1枚の切削深さ (mm)

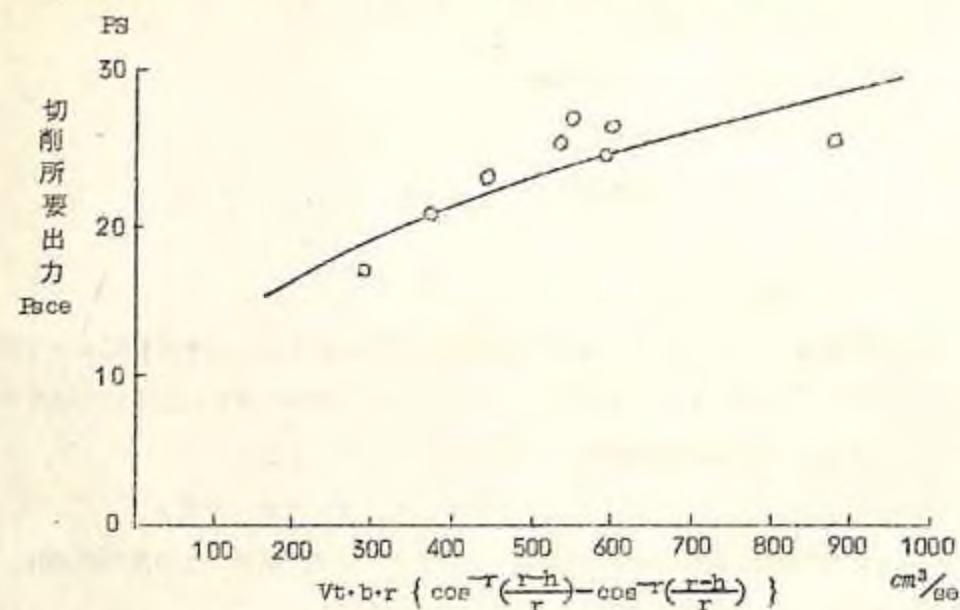
v_f : カッタホイールの送り速度 (mm/sec)

r : カッタ先端の回転切削円の半径 (mm)

h, h₀ : カッタホイールと切削される木材の相対的位置 (mm)

η_{sc} : 機械駆動式スタンプカッタの機械効率

図-9 スタンプカッタ(機械駆動式)の伐根切削所要出力



スタンプカッタ(油圧駆動式)は、とくに林業用としてトラクタ後部にマウントできる国产はじめての機種となる試作をおこない、改良のうえその伐根切削性能に検討をくわえ、その所要動力 P_{reqd} (PS) および燃料消費率 a_c (cm^3/ℓ) は、次式でもとめられることをたしかめた。

$$P_{reqd} = \frac{f \cdot b \cdot h \cdot V_f}{75 \cdot \eta_s \cdot \eta_{cd} \cdot \eta_p \cdot \eta_m \cdot \eta_h}$$

ここで、
b : カッタ1枚の切削幅 (mm)

h : カッタドラムの切削深さ (mm)

V_f : カッタドラムの送り速度 (mm/sec)

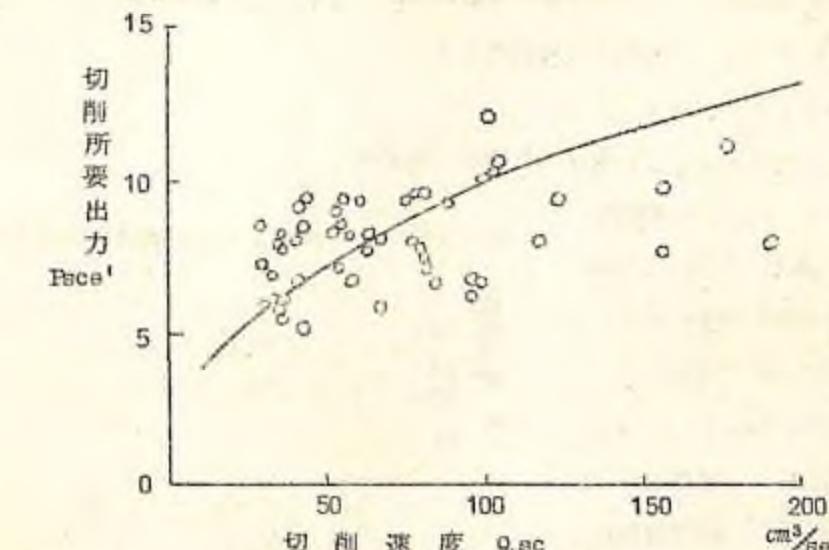
η_{cd} : スタンプカッタ(油圧駆動式)の機械効率

η_p : オイルポンプ全効率

η_m : オイルモータ全効率

η_h : 高圧ゴムホースの効率

図-10 スタンプカッタ(油圧駆動式)の伐根切削所要出力



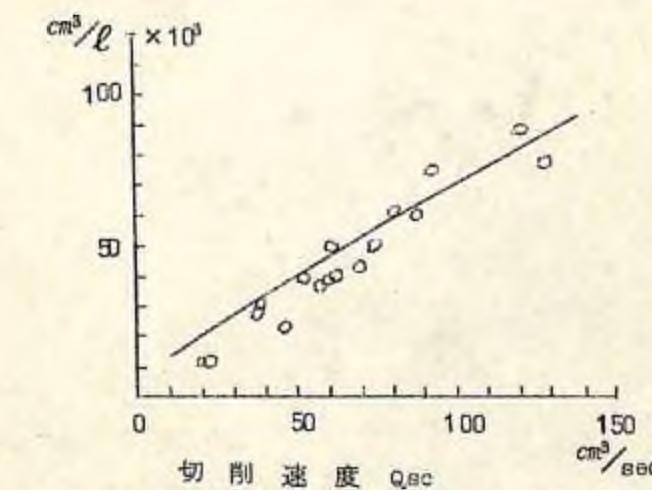
$$a_c = \frac{3.6 \times 10^5 \cdot Q_{sc} \cdot \rho}{f_b \left(\frac{f \cdot b \cdot h \cdot V_f}{75 \cdot \eta_s \cdot \eta_{cd} \cdot \eta_p \cdot \eta_m \cdot \eta_h} \right)}$$

ここで、
 Q_{sc} : 単位時間あたり伐根切削量 (cm^3/sec)

ρ : 燃料の比重 (g/cm^3)、軽油で 0.825

f_b : トラクタ育林機械の育林作業中の1時間1馬力あたり燃料消費率 ($g/Ps \cdot hr$)

図-11 スタンプカッタ(油圧駆動式)の燃料消費率



3-2 トラクタロータリカッタの刈り払い動力性能($P_{re\alpha}$, $P_{re\alpha'}$)

ロータリカッタ(機械駆動式)の刈り払い跡地において枝条のしかれた林地上における被けん引抵抗係数 f_r はつきの実験式から推定できる。

$$f_r = 0.186 + 0.129 V_a$$

ここに, V_a : ロータリカッタの実際走行速度(m/sec)

ロータリカッタ刃の刈り払い切削抵抗力(F_r Kg)は、灌木、密度大なる笹・密度中なる笹・雑草類等の順に小さくなり、つきの実験式で推定できる。

$$F_r = a_1 - b_1, \quad N_r = a_1 - b_1' \quad V_r$$

ここに, a_1, b_1, b_1' : 常数で刈り払い対象物によってことなる。

N_r : ロータリカッタ刃の回転数(rpm)

V_r : ロータリカッタ刃の周速(m/sec)

図-13 ロータリカッタ刃の切削抵抗力

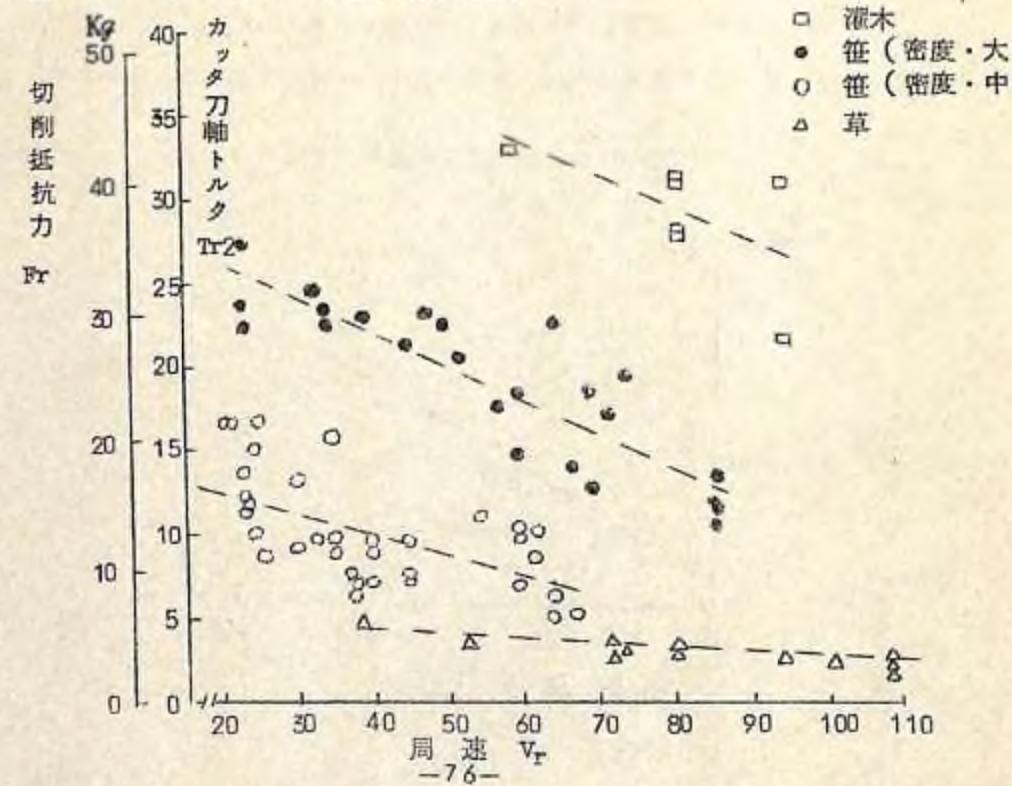
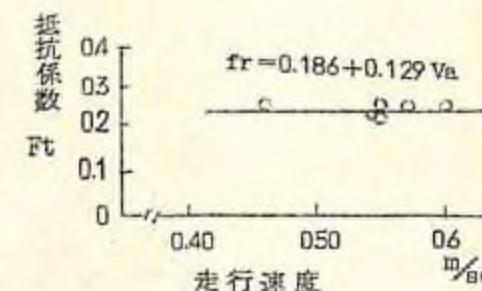


図-12 ロータリカッタの被けん引抵抗係数



ロータリカッタ(機械駆動式)の林地傾斜面における刈り払い所要動力 $P_{re\alpha}$ (PS)および燃料消費率 a_r (Kg/ℓ), A_r (ha/ℓ)はつきの理論式により推定できることをたしかめた。

$$P_{re\alpha} = \frac{[W_t(f_1 \cos\alpha + \sin\alpha) + W_r(f_r \cos\alpha + \sin\alpha)] \ell_p \cdot h \cdot N_e}{75 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 (1-s)} + \frac{2\pi F_r \cdot r \cdot N_e}{75 \cdot 60 \cdot i_5 \cdot i_r \cdot \eta_2 \cdot \eta_r}$$

$$= \frac{[W_t(f_t \cos\alpha + \sin\alpha) + W_r(f_r \cos\alpha + \sin\alpha)] \ell_p \cdot n \cdot N_e}{75 \cdot 60 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4} + \frac{2\pi F_r \cdot r \cdot N_e}{75 \cdot 60 \cdot i_5 \cdot i_r \cdot \eta_5 \cdot \eta_r}$$

ここで, W_t : ロータリカッタの装備重量(Kg)

α : トランク進行方向の上り下りの角度 i_r : ロータリカッタの減速比

r : ロータリカッタ刃の切削有効半径(m) η_r : ロータリカッタの機械効率

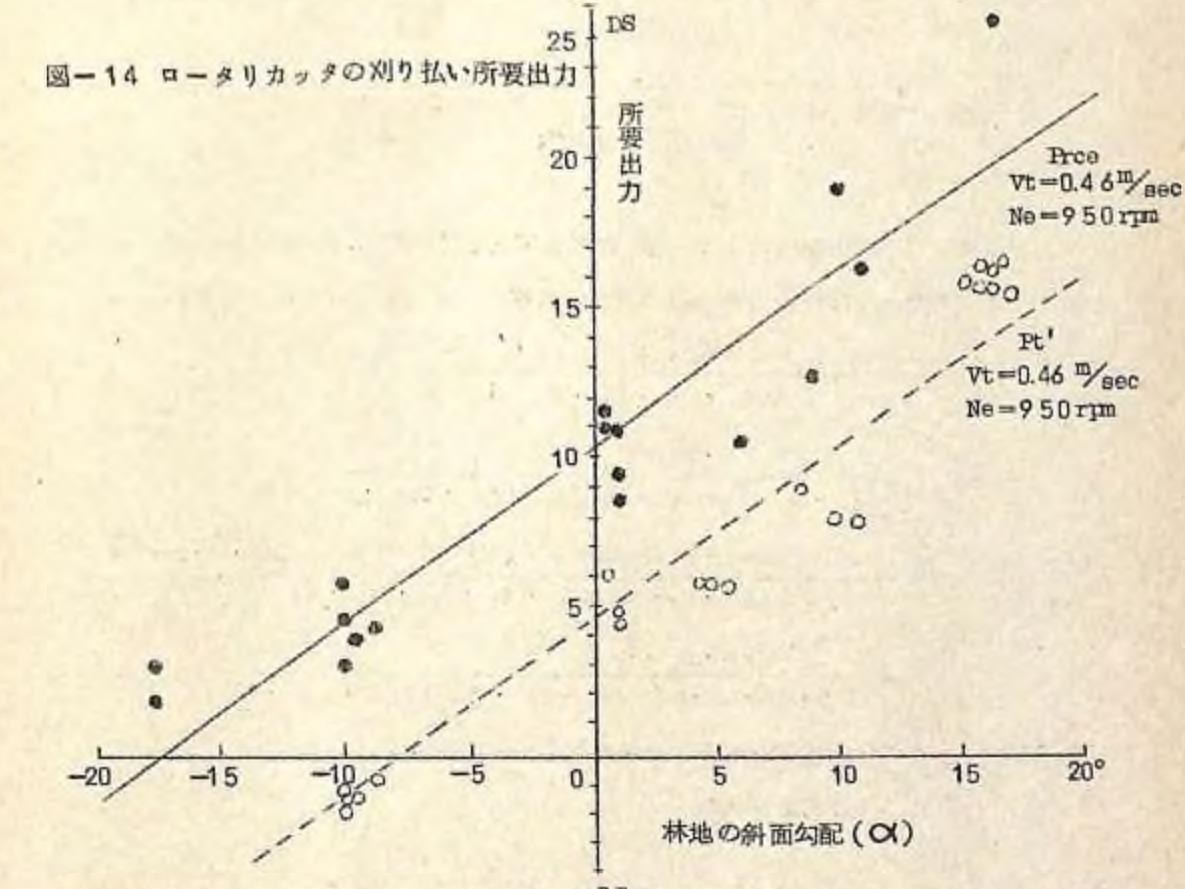


図-14 ロータリカッタの刈り払い所要出力

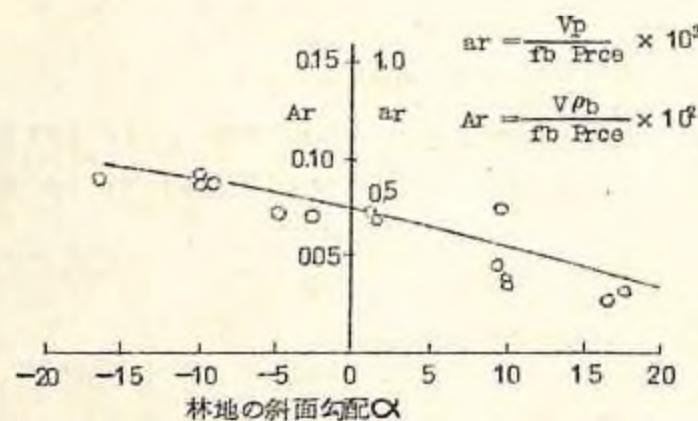
$$ar = 10^3 \frac{\rho}{f_p} \frac{75 \cdot \ell_p \cdot n(1-s) \cdot i_5 \cdot i_r \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_r}{\ell_p \cdot n \cdot i_5 \cdot i_r \cdot \eta_5 \cdot \eta_r \cdot \{W_t(f_t \cos \alpha + \sin \alpha) + W_r(f_r \cos \alpha + \sin \alpha)\}}$$

$$+ 2\pi F_r \cdot r \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$$

$$Ar = 10^3 \frac{\rho}{f_b} \frac{75 \cdot \ell_p \cdot n(1-s) \cdot i_5 \cdot i_r \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_r}{\ell_p \cdot n \cdot i_5 \cdot i_r \cdot \eta_5 \cdot \eta_r \cdot \{W_t(f_t \cos \alpha + \sin \alpha) + W_r(f_r \cos \alpha + \sin \alpha)\}}$$

$$+ 2\pi F_r \cdot r \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$$

図-15 ロータリカッタ(機械駆動式)の刈り払い燃料消費率



ロータリカッタ(油圧駆動式)は、とくに林業用として試作し、その刈り払い動力性能に検討をくわえた結果、所要動力 $R_{rcs'}$ (PS) は次式でもとめられることをたしかめた。

$$Prce' = \frac{W_t(f_t \cos \alpha + \sin \alpha) + W_r(f_r \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot v_a}{75 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 (1-s)}$$

$$+ \frac{2\pi \cdot F_r \cdot r \cdot q_p}{75 \cdot 60 \cdot i_5 \cdot i_r \cdot q_m \cdot \eta_5' \cdot \eta_r' \cdot \eta_{pm} \cdot \eta_{mm} \cdot \eta_h}$$

$$= \frac{W_t(f_t \cos \alpha + \sin \alpha) + W_r(f_r \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot \ell_p \cdot n \cdot N_e}{75 \cdot 60 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4}$$

$$+ \frac{2\pi \cdot F_r \cdot r \cdot q_p}{75 \cdot 60 \cdot i_5 \cdot i_r' \cdot q_m \cdot \eta_5' \cdot \eta_r' \cdot \eta_{pm} \cdot \eta_{mm} \cdot \eta_h}$$

ここで、 W_r' : 油圧駆動式ロータリカッタの装備重量 (kg)

f_r' : 全上走行抵抗係数

i_5' : オイルポンプ軸の減速比

η_5' : 全上機械効率

i_r' : 油圧駆動式ロータリカッタの減速比

η_r' : 全上機械効率

q_p : オイルポンプの理論吐出量 (cc/rev)

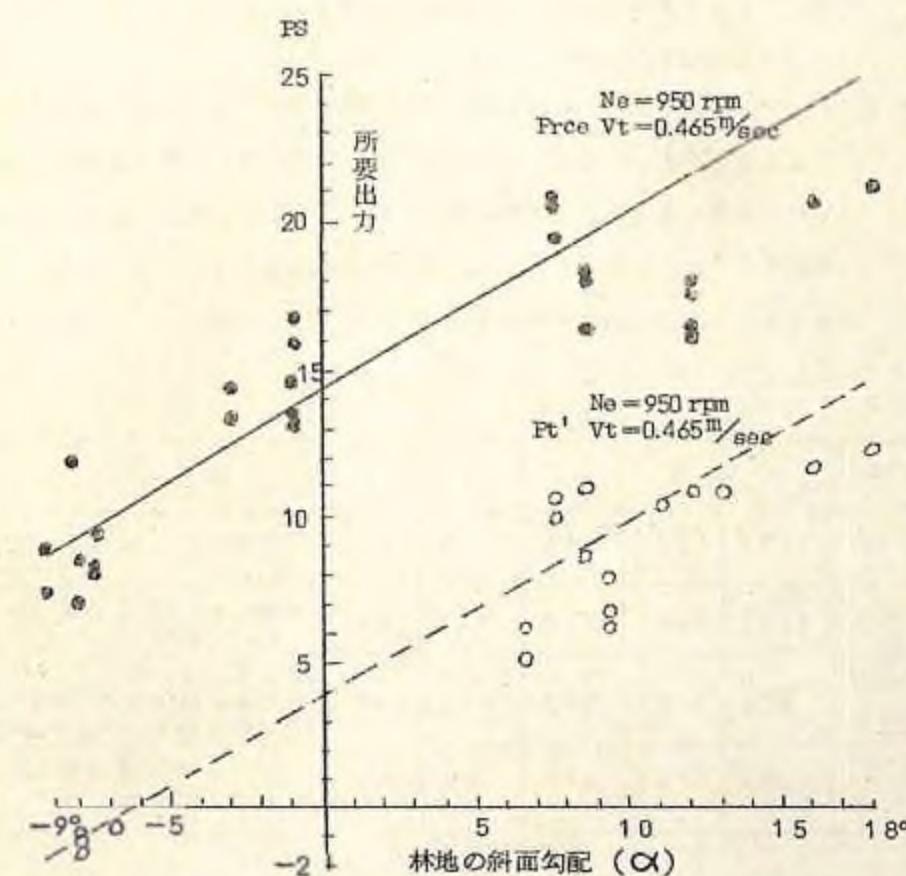
q_m : オイルモータの理論流入量 (cc/rev)

η_{pm} : オイルポンプの機械効率

η_{mm} : オイルモータの機械効率

α : トランクタ進行方向の上り下りの角度

図-16 トランクタ・ロータリカッタ(油圧駆動式)の刈り払い所要出力



3-3 クローラトラクタ・アースオーガの植え穴掘り動力性能(P_{ae} , F_{ae})

アースオーガ(機械駆動式)による各種の林地地中条件における植え穴掘り性能に検討をくわえた結果、その植え穴掘り所要動力 P_{ae} (PS) は次式によりもとめられる。そのとき植え穴掘り刃の掘さく抵抗力 F_{ae} (kg) は、刃の周速 V_c (m/sec) および貢入速度 V_p (m/sec) に比例した地中条件別にことなる常数値をとる実験式であらわされることをたしかめた。

$$P_{ae} = \frac{\pi \cdot N_e \cdot F_a \cdot r_a}{75 \cdot 60 \cdot i_a \cdot \eta_a \cdot \eta_a}$$

ここで、 r_a : 植え穴掘り刃の有効半径 (m)

i_a : 機械駆動式アースオーガの減速比

η_a : 全機械効率

N_e : トラクタ・エンジンの回転数 (rpm)

$$F_a = (a + b V_p) V_c^d = (a_1 + b_1 V_p) N_e^d$$

ここで、 a , b , a_1 , b_1 , d は常数で、林地黒色土地帯ではその地中条件の別に表-1 のような値をとる。なお、この実験式は、さきに実施した1人用植穴掘機の掘さく性能に関するくわしい実験結果*から、 V_p , V_c あるいは N_e の関数とかんがえてさしつかえないこと。しかも黒色土地帯なら $d = 0.4$ とあらかじめ推定できることなどの実験的事実にもとづいているものである。

表-1

林地条件	a	b	a_1	b_1	d	備考
笹生地	179.7	3574	13.6	270	0.4	含水率いずれも29.2~32.7%
硬い黒色土	170.5	1289	12.7	91.1	0.4	ペネトロメータによる指示値 22~28 kg
石礫を含んだ やわらかい黒色土	67.6	1087	5.08	82.1	0.4	直径6.0cm, 深さ3.0cmの植え穴 中にふくんでいる石礫数 (石礫直径8~15cm)
やわらかい 黒色土	55.4	735	4.17	55.3	0.4	ペネトロメータによる指示値 0.5~1.5 kg

* 山脇三平ほか3:造林機械に関する研究

(1) 植穴掘機, 林試研報, №139, 83~125, 1932

図-17 トラクタ・アースオーガ(機械駆動式)の植え穴掘り所要動力

PS

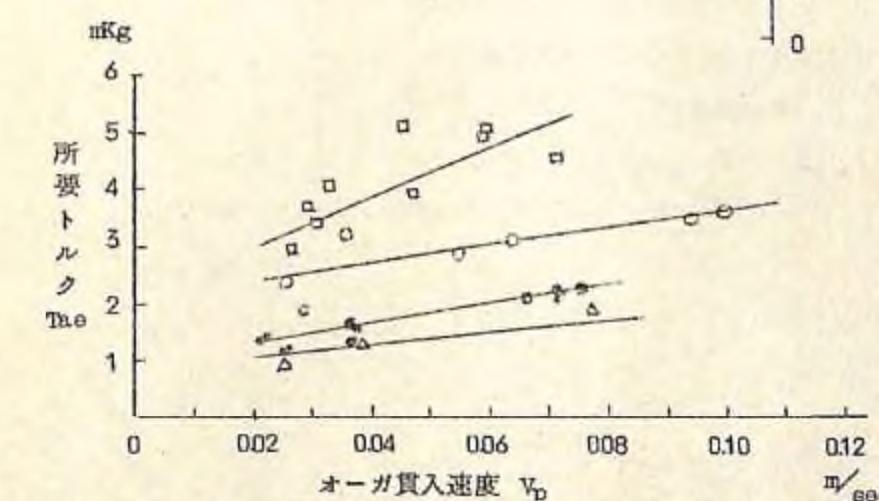
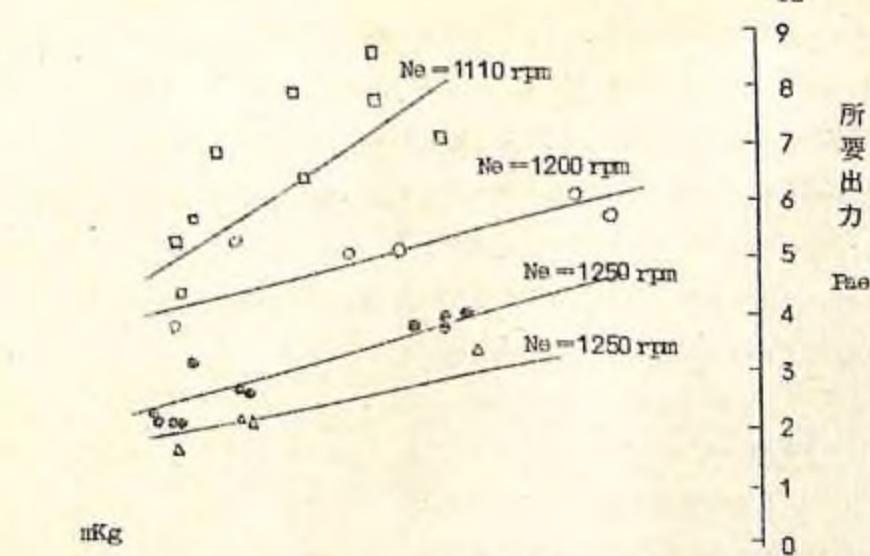
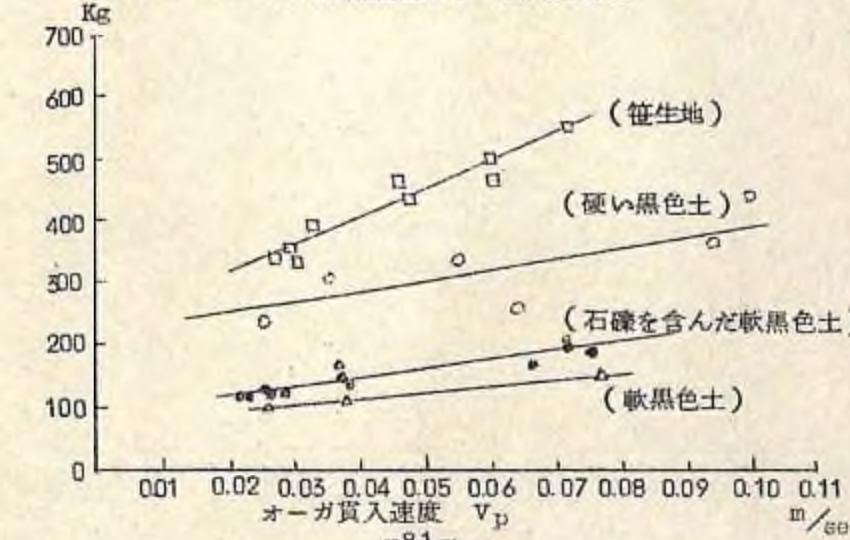


図-18 トラクタ・アースオーガ(機械駆動式)の貢入抵抗力



-81-

トラクタ・アースオーガ(油圧駆動式)は、とくに林業用として試作し、前述した機械駆動式ロータリカッタとの兼用機あるいは坪刈り植え穴掘りを可能ならしめるカルティオーガ(穴掘刃の上部に刈り払い刃もついていて、穴掘刃はおそらく、刈り払い刃ははやくちがった回転速度で回転切削をおこなうことができる)などの性能に検討をくわえたが、その植え穴掘り所要動力 $F_{a's}$ (PS)は、植え穴掘り刃の植え穴掘り軸をとおる垂直面への投影面積の大小によって、植え穴掘り刃のうける掘さく抵抗 F_a' がことなることおよび前述の機械駆動式アースオーガの植え穴掘り刃の掘さく抵抗 F_a に関する実験式も応用できることから、次式からもとめることをたしかめた。

$$F_{a's} = \frac{\pi \cdot N_e \cdot F_a' \cdot r_d \cdot q_p}{75 \cdot 60 \cdot i_s \cdot i_a' \cdot \eta_s \cdot \eta_a' \cdot q_m \cdot \eta_{pm} \cdot \eta_{mm}}$$

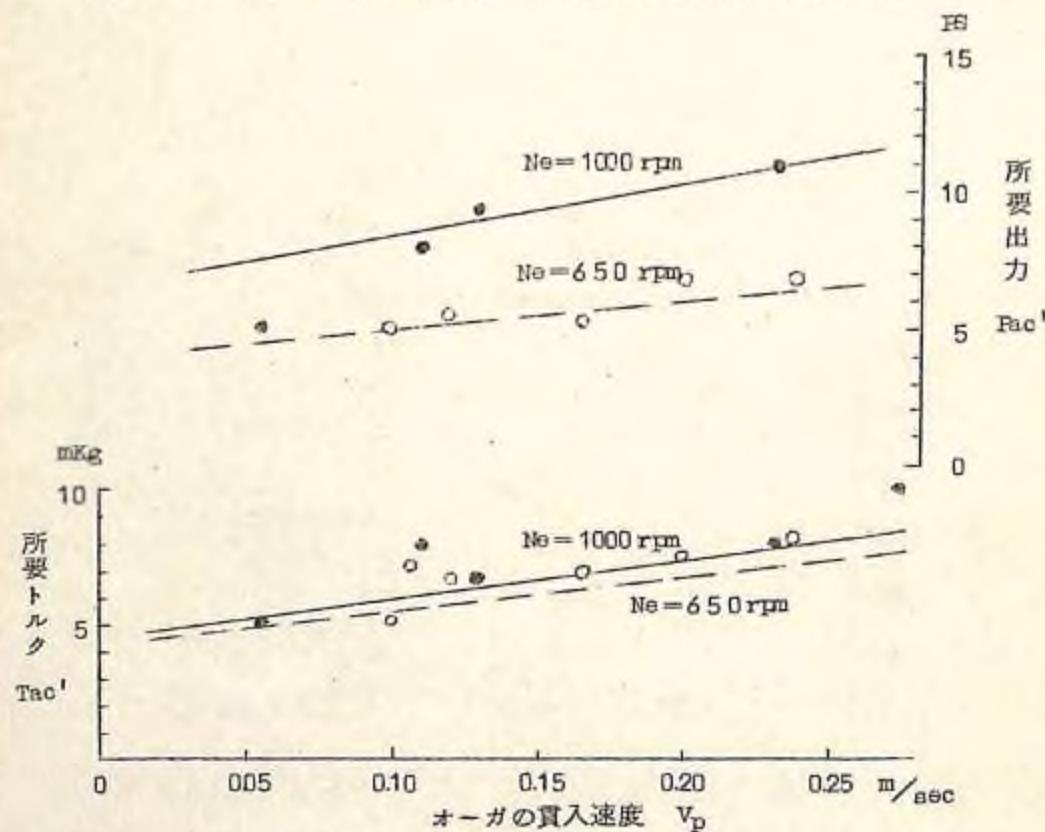
ここで、 r_d : 植え穴掘り刃の有効半径 (m)

i_a' : 油圧駆動式アースオーガの減速比

η_a' : 全機械効率

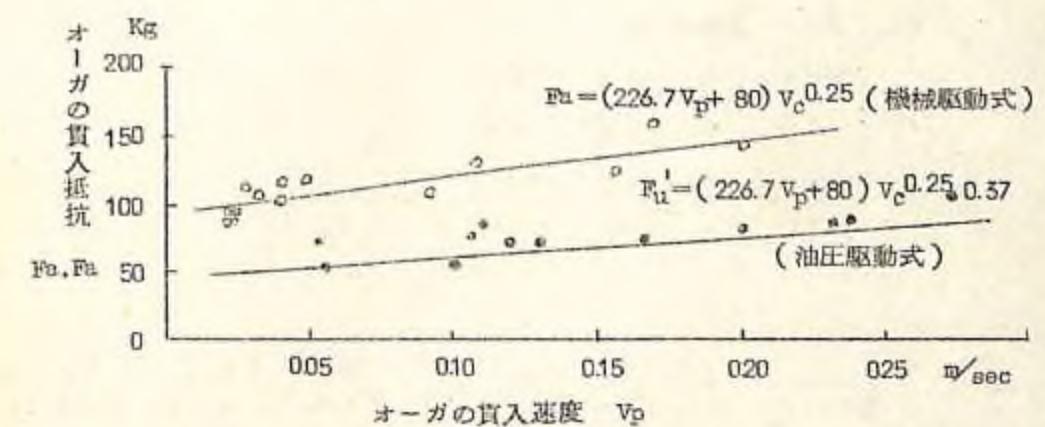
$$F_a' : 0.37 F_a = 0.37 \cdot (80 + 226.7 V_p) V_c^{0.25}$$

図-19 トラクタ・アースオーガ(油圧駆動式)の植え穴掘り所要動力



この実験式 $F_a = (80 + 226.7 V_p) V_c^{0.25}$ は、砂土まじりの火山灰土(含水率約12%)に関するもので、前述した1人用植穴掘機による系統的な実験結果からしめされる砂を掘さくする時の常数値 $a = 0.25$ を採用してさしつかえないとかんがえられるもので、これから a 、 η 各常数値もえられたもので、もちろんこのおなじ土質のところで、機械駆動式および油圧駆動式アースオーガ 両機を作動させて、 $F_a' = 0.37 F_a$ (0.37 は油圧駆動式アースオーガの植え穴掘り刃の穴掘り軸をとおる垂直面に対する投影面積の機械駆動式アースオーガの植え穴掘り刃のおなじ投影面積に対する比, $78 \text{ cm}^2 : 210 \text{ cm}^2 = 0.37 : 1$ である)が、成立すると考えてさしつかえないことを実験的にたしかめたものである。

図-20 トラクタ・アースオーガ(機械駆動式と油圧駆動式)の貫入抵抗力



3-4 クローラトラクタ・ダスターの性能 ($P_{d're}$)

トラクタ・ダスターをとくに林業用として、病虫害防除用薬剤としての粉剤のみならず除草剤としての粒剤も散布できる構造をそなえさせ、さらにトラクタ後部の三点支持装置でマウントできる構造のものを考案試作し、十分林地での使用にたえることをたしかめた。このトラクタ・ダスターの実機に関する実験からたしかめられた薬剤散布所要動力 $P_{d're}$ (PS)および同燃料消費率 a_d ($\ell_{powder}/\ell_{fuel}$)は、つきの理論式によりもとめることができること。

$$P_{d're} = \frac{((W_t + W_d)(f_t \cos \alpha + g \sin \alpha)) \ell_p \cdot n \cdot N_e}{75 \cdot 60 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4} + \frac{Q \cdot \rho_0 \cdot \mu_i (2\pi \cdot r \cdot N_e)^2 \cdot 10^{-3}}{216 \cdot 75 \cdot g (i_5 \cdot i_6 \cdot i_7 \cdot i_8 \cdot i_9 \cdot i_{10}) \cdot \eta_{11} \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 \cdot \eta_7 \cdot \eta_8 \cdot \eta_9 \cdot \eta_{10}}$$

ここで、 W_d : ダスターの装置重量 (kg)

Q_d : ダスターの風量 (m^3/min)

ρ_0 : 空気密度 (kg/m^3)、気圧760mm、気温20°C、湿度75%で $1.2 kg/m^3$

μ_1 : インペラの摩擦係数 = $1 - \frac{2}{Z}$

Z : インペラの羽根の数 (16)

r : インペラの外径 (m) (0.36)

g : 重力加速度 (m/sec^2) (9.8)

$i_6 \cdot i_7 \cdot i_8 \cdot i_9 \cdot i_{10}$: ダスターの減速比 (1.78, 0.526, 0.241, 0.454, 1)

$\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 \cdot \eta_7 \cdot \eta_8 \cdot \eta_9 \cdot \eta_{10}$: 全機械効率 (0.93, 0.94, 0.95, 0.95, 0.98)

η_n : プロワーの全効率 = $\eta_f \cdot \eta_m \cdot \eta_v \cdot \eta_t$ (0.80)

η_t : インペラディスクの摩擦効率 (0.99)

η_m : プロワーの機械効率 (0.99)

η_v : プロワーの容積効率 (0.98)

η_f : プロワーの全圧効率 (0.84)

$$a_0 = \frac{Q_d \cdot \rho \cdot 10^3}{f_b \left\{ \frac{(W_t + W_d)(f_t \cos \alpha + \sin \alpha) \ell_p \cdot n \cdot N_e}{75 \cdot 60 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4} + \frac{Q_d \cdot \rho \cdot \mu \cdot (2\pi \cdot r \cdot N_e)^2 \cdot 10^{-3}}{216 \cdot 75 \cdot g (i_5 \cdot i_6 \cdot i_7 \cdot i_8 \cdot i_9 \cdot i_{10})^2 \cdot \eta_n \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 \cdot \eta_7 \cdot \eta_8 \cdot \eta_9 \cdot \eta_{10}} \right\}}$$

ここで、 Q_d : トラクタ・ダスターの単位時間あたり粉剤散布量 (ℓ/hr)

$$= 0.000225 (i_5 \cdot i_6 \cdot i_7 \cdot i_8 \cdot i_9 \cdot i_{10} \cdot N_e)^{1.688}$$

α : トラクタ進行方向の上り下りの角度

4. クローラトラクタ育林機械の作業性能

4-1 トラクタ・スタンプカッタ(機械駆動式)の伐根切下げ処理作業性能

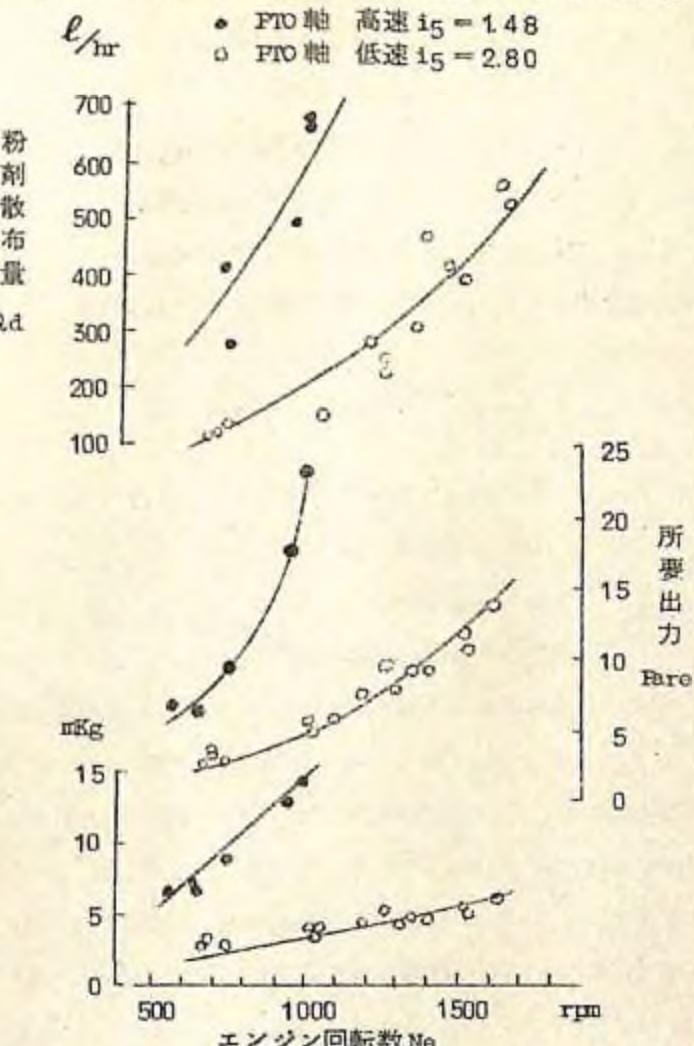
スタンプカッタ(機械駆動式)の伐根切下げ処理作業性能は、伐根処理面積 1 ha あたりの伐根処理に要する総作業時を t (sec) とすれば、つきの実験式であらわされる。

$$t = t_{sc} + t_m + t_p + t_g + t_r \\ = (aD^2 + bD + c + dL + (t_q + t_q + t_r))n$$

ここで、 t_{sc} : 正味の伐根処理時間 (sec),

$$= aD^2 + bD + c = a'Q_{sc} + b'$$

図-21 トラクタ・ダスターの粉剤散布所要出力および粉剤散布量



D : 伐根の直徑 (cm)

Q_{sc} : 伐根切削体積 (cm^3)

a, b, c, a', b' : 常数で実験調査からもとめた。

t_m : 伐根から伐根への移動時間 (sec), $= d \cdot L$

L : 全上移動距離 (m), $\frac{100}{\sqrt{n} - 1}$

d : 常数で実験調査からもとめられた。

n : 1 ha あたりの処理する伐根本数

t_p : スタンプカッタを伐根の位置にすえつけてから、伐根処理をはじめる

までの間の準備に要する時間(sec)

t_q : 伐根処理をすませてからスタンプカッタを移動しはじめるまでの間の準備に要する時間(sec)

t_r : スタンプカッタを伐根の位置にすえつけてから、運転手が運転席をおりて、スタンプカッタ油圧調整レバーの位置につくに要する時間(sec)

なお、チェーンソーによる伐根切り下げ処理の作業性能をしらべた結果、チェーンソーによる伐根処理面積 1 haあたりの総作業時間 t (sec) はつきの実験式であらわされることをたしかめた。

$$t = n t_{sc} + (n-1) \left(\frac{100}{\sqrt{n}-1} \right) t_w + n t_0 + n t_s$$

ここで、 t_{sc} : チェーンソーによる正味の伐根切り下げに要する時間(sec)

$$= 10^{-3} \times 5.178 D 2.87$$

D : 伐根の直径(cm)

t_w : 伐根から伐根への歩行時間(sec), ($= 7.2$ sec)

t_0 : 伐根処理 1 本あたりのチェーンソー調整時間(sec), ($= 2.72$ sec)

t_s : 伐根処理 1 本あたりの休憩時間(sec), ($= 15.3$ sec)

また伐探作業のときに、低く切り下げて伐倒した場合と上述のように地ごしらえのときにふたたび切り下げた場合との残存伐根の高さをしらべたが、草津當林署管内吾妻山国有林の 50 年生カラマツでは、伐探後の残存伐根高さを、伐倒時に注意すれば約 15 cm 以下に、地ごしらえ時にふたたび切り下げるなら約 10 cm 以下にそれぞれ低くすることができるところがわかった。

4-2 トラクタ・ロータリカッタ(機械駆動式)の刈り払い作業性能

ロータリカッタ(機械駆動式)による、地ごしらえおよび下刈り作業性能について検討をくわえ、ほぼ両種の作業に同程度の単位時間あたり作業能力をもっていることがわかった。これによる地ごしらえ面積 1 haあたり総作業時間 t (ha, min) はつきの実験式であらわされた。

$$t = t_b + t_t + t_i$$

ここで、 t_b : トラクタ・ロータリカッタの 1 ha あたり正味刈り払い作業時間 (hr · min)

t_t : トラクタ・ロータリカッタの刈り払い面積 1 ha あたりの旋回所要時間 (hr · min)

t_i : トラクタ・ロータリカッタの刈り払い面積 1 ha につき検査調整に要する時間 (hr, min)

また 1 人用刈払機 7 台に 7 人、自立機 1 台に 1 人、枝条整理および給油係 4 人合計 12 人を 1 組とする 1 人用刈払機組作業の作業性能にも比較検討をくわえた結果、刈払機による地ごしらえ面積 1 haあたり総作業時間 t (hr · min) はつきの実験式であらわされる。

$$t = t_b + t_i + t_r + t_c$$

ここで、 t_b : 刈払機による地ごしらえ面積 1 haあたり正味刈り払い作業時間 (ha · min)

t_i : 刈払機の地ごしらえ面積 1 haあたり検査・調整に要する時間 (ha · min)

t_r : 刈払機の地ごしらえ面積 1 haあたり丸鋸目立に要する時間 (ha · min)

t_c : 地ごしらえ面積 1 haあたり枝条整理に要する時間 (ha · min)

これらの実験式の各項の実測値はつきの表-3 のとおりである。

表-3

機械化作業の種類	林地斜面の平均勾配	t_b	t_t	t_i	t_r	t_c	t
トラクタ・ロータリカッタ作業	0~8°	23.9±0.33	0.10±0.06	0.26±0.23	0	0	31.5±1.02
刈払機組作業	8~15°	40.5±0.12					44.1±0.41
	15~30°	29.05±3.20	0	4.08±1.04	2.25±1.07	26.03±4.06	61.40±9.37
		40.06±3.25				38.22±3.43	85.01±8.79

これらの結果を 1 人 1 日あたりの作業性能に換算して比較すれば、つきの表-4 のとおりである。

表-4

機械化作業の種類	林地斜面の平均勾配	1 人 1 日あたり地ごしらえ面積	1 人 1 日下刈り面積
トラクタ・ロータリカッタ作業	0~10°	1.34 ha	1.32 ha
刈払機組作業	10~20°	0.93	1.26 ha
	20~30°	0.09	
		0.07	

なお、ロータリカッタによる造林地での刈り払い精度について検討をくわえた結果、ロータリカッタ刃の回転速度 N_r (rpm) が 750 rpm (周速 V_r が 60 m/sec, ブッシュホグの場合) 以上になると、もつともよく刈り払うことができ、残存刈り払い高さ h_r (cm) は N_r , V_r とに関してつきの実験式であらわされた。

$$N_r < 750 \text{ rpm}$$

$$h_r = 71.3 - 0.133 N_r + 0.000075 N_r^2$$

$$= 71.3 - 1.692 V_r + 0.012 V_r^2$$

$$N_r > 750 \text{ rpm}$$

$$h_r = 13.5$$

4-3 トラクタ・アースオーガの植え穴掘り作業性能

トラクタ・アースオーガの作業性能に検討をくわえた結果、機械駆動式と油圧駆動式の別につきの実験式であらわされ比較することができた。すなわち、トラクタ・アースオーガによる植え穴掘り面積 1 ha あたり総作業時間 t (sec) および与えられた面積 A (ha) を植え穴掘りに要する総作業時 t' (hr) は、機械の種類別につきのよう実験式であらわされた。

機械駆動式および油圧駆動式

$$t = t_d \cdot n_d + t_t \cdot n_r + (t_\ell + t_u) L$$

ここで、 n_d : 1 ha あたりの植穴掘り箇所の数すなわち植えつけ本数

t_d : トラクタ・アースオーガの正味植え穴掘り時間 (sec)

$$= 0.30 D_p \pm 2.0 \text{ (機械駆動式)}$$

$$= 0.38 D_p \pm 3.6 \text{ (油圧駆動式)}$$

D_p : 植え穴掘り深さ (cm)

t_t : トラクタ・アースオーガが植え列の終端で旋回するに要する時間 (sec)

$$= 4.16 n_r \pm 2.24 \text{ (機械駆動式)}$$

$$= 6.10 n_r \pm 2.40 \text{ (油圧駆動式)}$$

n_r : 1 ha あたり植え列本数

t_ℓ : 植え穴から植穴への移動に要する時間 (sec)

$$= 5.16 L \pm 2.1 \text{ (機械駆動式)}$$

$$= 6.40 L \pm 3.8 \text{ (油圧駆動式)}$$

L : トラクタ・アースオーガの植え穴掘り箇所からつきの植え穴掘り箇所への移

動距離 (m)

t_u : 手待時間

$$= 0.50 L \pm 0.15 \text{ (機械駆動式)}$$

$$= 0.74 L \pm 0.22 \text{ (油圧駆動式)}$$

機械駆動式の場合

$$t' = 13.00 A \pm 3.19 \text{ (植付け本数 2,500 本)}$$

$$t' = 14.25 A \pm 4.42 \text{ (植付け本数 3,000 本)}$$

油圧駆動式の場合

$$t' = 16.53 A \pm 7.23 \text{ (植付け本数 2,500 本)}$$

$$t' = 18.11 A \pm 7.73 \text{ (植付け本数 3,000 本)}$$

4-4 トラクタ育林機械の推定機械経費

トラクタ育林機械経費 C_m (円) は、上述してきた育林機械各機について明確にされた作業性能をもとに、次式により推定することができる。なお、トラクタ 1 台と同付属育林作業機 2 ~ 3 台を組み合わせて運転手 1 名で育林作業をおこなった場合の推定総合経費と総合作業性能を 1 人用機械の刈払機および植穴掘機をつかう前述の組作業性能をもとにした推定総合経費と総合作業性能と比較した参考例は表 5, 6 のとおりである。

$$C_m = C_c + C_s + C_r + C_f + C_o + C_i$$

$$= \frac{C_p}{M_\ell} + C_s + C_c \cdot r_r + C_f + C_o + C_i$$

ここで、 C_c : 機械の 1 時間あたり償却費 (円)

C_p : 機械の購入費 (円)

M_ℓ : 機械の寿命 (時間)

C_s : 機械の 1 時間あたり管理費 (円)

C_r : 機械の 1 時間あたり修理費 (円)

r_r : 機械償却費に対する比率であらわした修理費率

C_f : 機械の 1 時間あたり燃料費 (円)

C_o : 機械の 1 時間あたり潤滑油費 (円)

C_i : 機械の 1 時間あたり利子、保険料、税金、その他に要する経費 (円)

(別表の計算例では無視している。)

表一4

機械化作業の種類	使用機械	1時間				
		1時間あたり経費	償却費	格納費	修理費	
トラクタ作業	I	スタンプカッタ (機械駆動式)	円/時間 1,479.5	0.472	0.015	0.398
		ロータリカッタ (機械駆動式)	1,090.2	0.443	0.022	0.384
		アースオーガ (機械駆動式)	1,093.8	0.438	0.029	0.380
	II	レー キドーザ	929.5	0.427	0.013	0.384
		ロータリカッタ (機械駆動式)	1,090.2	0.443	0.022	0.384
		カルティオーガ (油圧駆動式)	1,320.0	0.469	0.015	0.388
	III	レー キドーザ	929.5	0.427	0.013	0.384
		ロータリカッタ (機械駆動式)	1,090.2	0.443	0.022	0.384
		アースオーガ (機械駆動式)	1,093.8	0.438	0.029	0.380
1人用機械作業	刈払機	145.2	0.395		0.237	
	植穴掘機	91.1	0.395		0.237	
トラクタ作業	I	1時間あたり機械経費	作業性能	haあたり機械経費	備考	
		機械購入費				
		時間/ha 3.5				
	II	1,500,000円 (トラクタ 2,980,000)	時間/ha 3.5	円/ha 49,560	機械駆動式	
		260,000 (トラクタ 2,980,000)	3.75	4,090		
		250,000 (トラクタ 2,980,000)	3.23	3,520		
	III	2,980,000 (トラクタ共)	13.30	14,550	アースオーガ (機械駆動式)	
		2,980,000 (トラクタ共)	5.25	4,880	レー キドーザ	
		260,000 (トラクタ 2,980,000)	3.75	4,090	ロータリカッタ (機械駆動式)	
1人用機械作業	カカルティオーガ (機械駆動式)	1,000,000 (トラクタ 2,980,000)	16.70	22,040		
	カカルティオーガ (機械駆動式)	2,980,000 (トラクタ共)	5.25	4,880		
1人用機械作業	カカルティオーガ (機械駆動式)	260,000 (トラクタ 2,980,000)	3.75	4,090		
	カカルティオーガ (機械駆動式)	250,000 (トラクタ 2,980,000)	3.23	3,520		
1人用機械作業	カカルティオーガ (機械駆動式)	13.30	14,550			
	カカルティオーガ (機械駆動式)	51,000	43.5	6,320		
1人用機械作業	カカルティオーガ (機械駆動式)	54,000	22.4	3,250		
	カカルティオーガ (機械駆動式)	2,980,000 (トラクタ共)	2.67	2,430		

* 作業時間あたり修理費を作業時間あたり償却費に対する比としてあらわす。

あたり機械経費				
配率		備考		
燃料費	潤滑油費	その他	機械の寿命	修理費率*
0.085	0.030		時間 4,500 (トラクタ 7,500)	0.7 (トラクタ 0.9)
0.115	0.036		3,000 (トラクタ 7,500)	0.7 (トラクタ 0.9)
0.114	0.038		3,000 (トラクタ 7,500)	0.7 (トラクタ 0.9)
0.135	0.041		7,500 (トラクタ共)	0.9
0.115	0.036		3,000 (トラクタ 7,500)	0.7 (トラクタ 0.9)
0.095	0.033		4,500 (トラクタ 7,500)	0.7 (トラクタ 0.9)
0.135	0.041		7,500 (トラクタ共)	0.9
0.115	0.036		3,000 (トラクタ 7,500)	0.7 (トラクタ 0.9)
0.114	0.038		3,000 (トラクタ 7,500)	0.7 (トラクタ 0.9)
0.261	0.008	0.099	1,500	0.6
0.209	0.005	0.154	1,500	0.6
haあたり賃金		haあたり合計経費	haあたり合計経費のトラクタ作業の1人用機械作業に対する比	haあたり合計作業員数
haあたり作業員数	haあたり賃金			
人/ha 7.0	円/ha 7,000	83,000	1.94	113
0.8	800			
0.7	700			
2.8	2,800	40,600	0.95	61
1.1	1,100			
0.8	800			
0.7	700	32,400	0.76	54
3.5	3,500			
1.1	1,100			
0.8	800	42,700	1.00	100
0.7	700			
2.8	2,800			
16.9	16,900	1.00	50.7	100
6.7	6,700			
7.1	7,100			

表一6

機械化作業の種類		レキドーザ、機械駆動式ロータリカッタ、油圧駆動式アースオーガをつかうトラクタ組			
造林予定期面積		600 ha		1,000 ha	
実行予定期間		10年	5年	10年	
作業の種類別 1年あたり 作業可能日数	枝条整理	66日	151日	109日	
	地ごしらえ	47	94	78	
	植え穴掘り	166	334	277	
	下刈り	202	404	356	
トラクタ および作業機 の必要台数	トラクタ	4台	7台	6台	
	レキドーザ	1	2	1	
	ロータリカッタ	4	7	6	
	アースオーガ	2	3	3	
経費	トラクタ作業	合計機械購入費 年利子(6%) 年間経費	13,960,000円 419,000 3,378,000	23,430,000円 703,000 6,621,000	20,190,000円 606,000 5,537,000
	1人用機械	合計機械購入費 年利子(6%) 年間経費	1,332,000円 40,000 4,989,000	2,664,000円 80,000 9,834,000	2,307,000円 69,000 8,379,000
	作業	トラクタ作業の1人用機械作業に対する比	0.68	0.67	0.68
	1年あたり合計作業員数	トラクタ作業 1人用機械作業	492人日 3,450	984人日 6,900	820人日 5,750
労力	トラクタ作業の1人用機械作業に対する比	0.14	0.14	0.14	

注) * $\frac{\text{購入費}}{2} \times 0.06$, ** 債却費, 修理費, 燃料および潤滑油費, 賃金(第4表参照),

機械作業		レキドーザ、油圧駆動式ロータリカッタ、油圧駆動式アースオーガをつかうトラクタ組作業			
ha		600 ha		1,000 ha	
5年		10年	5年	10年	5年
218日		66日	152日	109日	218日
156		47	94	78	156
554		209	418	348	696
672		202	404	336	672
12台		4台	7台	6台	12台
2		1	2	1	2
12		4	7	6	12
5		2	4	3	6
40,150,000円		16,228,000円	28,476,000円	24,342,000円	48,684,000円
1,404,000		487,000	854,000	730,000	1,461,000
10,868,000		4,148,000	8,177,000	6,833,000	13,663,000
4,509,000円		1,532,000円	2,664,000円	2,307,000円	4,509,000円
136,000		40,000	80,000	69,000	130,000
16,635,000		4,909,000	9,834,000	8,319,000	16,635,000
0.68		0.83	0.83	0.82	0.82
1,640人日		534人日	1,068人日	890人日	1,780人日
11,500		3,450	6,900	5,750	11,500
0.14		0.155	0.155	0.155	0.155

年利子を含む。

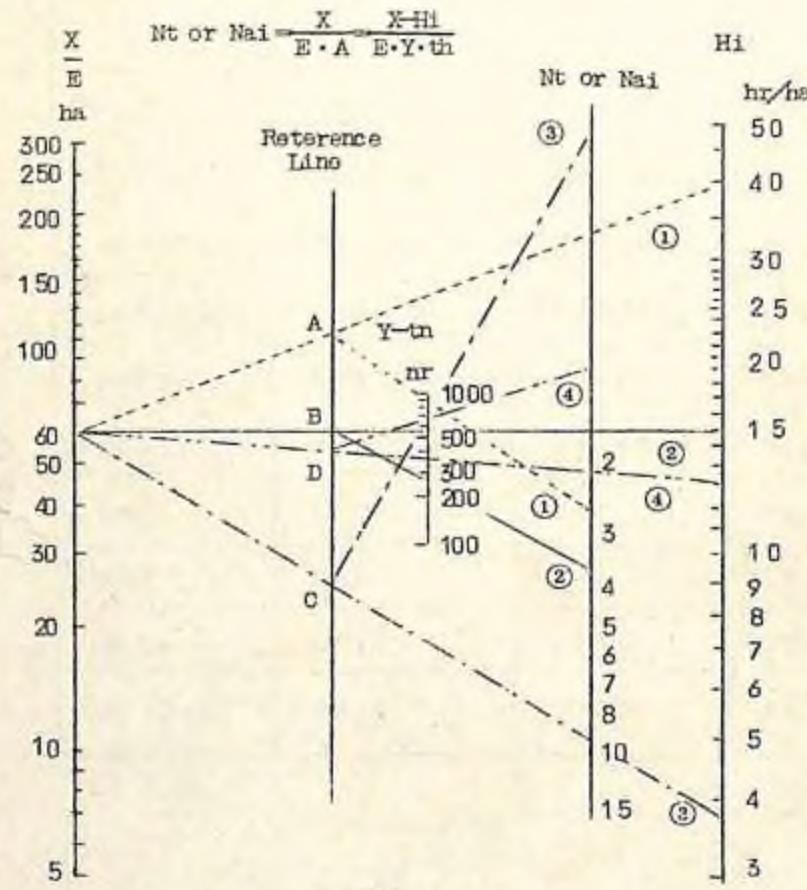
4-5 トラクタおよび同付属育林作業機の組み合わせによる年間実行可能面積

トラクタおよび同付属育林作業機各1台の単独作業による年間実行可能面積、トラクタ1台および同付属育林作業機数台の組み合わせ作業による年間実行可能面積などの推定に役立つ算出式に検討をくわえ、上述してきた性能および推定経費関係資料をもとに、与えられた造林予定面積を与えられた期限内で再造林の実行を可能ならしめるトラクタおよび同付属育林作業機の所要台数の算定ならびにそれにともなう機種別年間作業日数、経費、労力、1人用機械による組合作業に対するそれらの比率などを推定した参考例を例示すれば表-5のとおりである。またトラクタおよび同付属育林作業機所要台数算定用ノモグラムは図-2のとおりである。

4-6 ノモグラムの使い方

与えられた造林予定地の面積が600ha(X)あり、これを10年間(E)でトラクタ育林機械をつかって造林事業を実行させる場合、必要なトラクタ(N_t)および同付属育林作業機(N_{ai})の台数をもとめる。

図-2 ノモグラム



ここで、トラクタ育林作業は、トラクタ付属育林作業機として、地ごしらえにロータリカッタ、枝条整理にレーキドーザ(レーキドーザはトラクタにたえず装着している作業機であるので、この計算例ではとくにその台数をもとめない)、植え穴掘りにアースオーガ、下刈りにロータリカッタをつかっておこなわれるものとし、これら各育林作業機の作業性能(Hi)作業適期、同適期内の実働日数(Y)および実働時間(1日あたり8時間作業で実働率60%、すなわち、正味の作業時間(tn)は4.8時間とする)、年間総実働時間、下刈り年数などは、上述してきた実験および調査にもとづき表-7のとおりとする。

表-7

作業の種類	地ごしらえ	枝条整理	植え穴掘り	下刈り
作業適期	8~12月 4~5月	8~12月 4~5月	8~12月 4~5月	6~8月
使用育林作業機	ロータリカッタ	レーキドーザ	アースオーガ	ロータリカッタ
全上作業性能	3.75時間/ha	5.25時間/ha	13.3時間/ha	3.23時間/ha
適期内実働日間	136日	136日	136日	57日
適期内実働時間	653時間	653時間	653時間	283時間
年間総実働時間	9か月×30日×0.65×4.8時間=840時間			
下刈り年数	5年			

4-6-1 トラクタの所要台数のもとめ方

a) 年間新植面積(X/E)は60haとなるから、年間下刈面積を60ha×5=300haとした場合の地ごしらえ、枝条整理、植え穴掘り、下刈りに要するhaあたりの合計作業時間(Hi)は、3.75+5.25+13.3+3.23×5=38.45hr/haとなり、もとめられた①線と参考線の交点Aと年間合計実働時間(Y·tn)の840hrとから、ノモグラムの①線からトラクタの所要台数(N_t)は、2.7÷3台となることをしる。

b) ところで、a)でもとめられたトラクタ台数で、各作業をそれぞれの適期内に実行できるかどうか吟味しておく必要がある。そこで、いま他の作業とはできるだけ重複せずにしかも短い適期内でさらに同一箇所を5年にわたって仕事をしなければならないといふもっとも仕事量の多い下刈り作業について、それに必要なトラクタ台数をしらべてみると、年間新植面積(X/E)は60ha、haあたり下刈り作業時間(Hi)

$3.23 \times 5 = 16.15 \text{ hr/ha}$ から、(2) 線と参考線との交点 B がもとめられ、この交点 B と年間下刈り合計作業時間 ($Y \cdot t_n$) の 283 hr から、ノモグラムの (2) 線によつてトラクタ所要台数 (N_t) は $3.7 \div 4$ 台がのぞましいことをしる。

よつて、3 台のトラクタでは下刈り作業を適期内に実行しあえることができず 4 台が必要となる。

4-6-2 ロータリカッタの所要台数のもとめ方

a) 地ごしらえの刈り払いに必要なロータリカッタの所要台数は、年間地ごしらえ面積 (X/E) 60 ha , haあたり作業時間 (H_i) 3.75 hr/ha , haあたり作業時間 (H_i) 3.75 hr/ha から (3) 線と参考線との交点 C がもとめられ、この交点 C と年間地ごしらえ合計作業時間 ($Y \cdot t_n$) の 653 hr をむすんだノモグラムの (3) 線よりロータリカッタ所要台数 (N_{ai}) は $0.3 \div 1$ がもとめられる。

b) 下刈りに必要なロータリカッタ台数は、年間新植面積 (X/E) 60 ha , ha あたり 5 ケ年間の下刈り合計作業時間 (H_i) $3.23 \times 5 = 16.15 \text{ hr/ha}$ から (2) 線と参考線との交点 D がもとめられ、この交点 D と年間下刈り合計作業時間 ($Y \cdot t_n$) 283 hr から、ノモグラムの (2) 線よりロータリカッタ所要台数 (N_{ai}) は $3.7 \div 4$ 台が必要となる。

c) なお、ロータリカッタは地ごしらえおよび下刈りの両作業につかえる育林作業機であるから、この両作業の適期はあまり重複していないから、作業量の多い方の下刈りに必要な台数である 4 台あれば間にあうことになる。

4-6-3 アースオーガの所要台数のもとめ方

上述してきた諸例とおなじようにして、年間新植面積 (X/E) 60 ha , ha あたり植穴掘り作業時間 (H_i) 13.3 hr/ha , 年間植穴掘り合計作業時間 ($Y \cdot t_n$) 653 hr の条件から、(4) 線と参考線との交点 D, 交点 D と (4) 線とより、アースオーガが所要台数 (N_{ai}) は $1.3 \div 2$ 台がもとめられる。

5. ホイールトラクタ育林機械の動力性能

前述の通り PTO 軸および三点支持装置を装備するように改造をくわえた手はじめに、ロータリカッタを装着した場合の動力性能について検討をくわえた。

5-1 機械駆動式ロータリカッタの刈り払い所要動力

クローラトラクタの機械駆動式ロータリカッタと同種のものを使用し、とくに笹生林地の刈り払い性能について考察し、その理論的分析をおこなった。

a) ロータリカッタの笹生地における切削抵抗力

林地内における各種の笹生密度別の切削抵抗力 F_r (kg) は、ロータリカッタの周速 v_r (m/sec) に逆比例し、笹の正味の生立容積 $H \cdot \phi_A \cdot \rho_B$ (m^3/m^2) に一次的に正比例して増大するものであることをたしかめることができた。 (表-8 および図-23)

表-8

区分	密度 ρ_B 本/ m^2		高さ H m		平均根元直径 ϕ mm	平均根元断面積 ϕ_A mm ²	正味の生立容積 m^3/m^2
	範囲	平均	範囲	平均			
I	100~124	112	1100~1500	1300	7.6	5.97	0.0088
II	126~182	154	620~1250	1010	4.85	3.81	0.00592
III	74~146	110	350~1000	675	3.7	2.91	0.00217

b) ホイールトラクタ・ロータリカッタの笹生地における刈り払い動力性能

勾配 15° までの各種密度の笹生地における実験計測の結果、その所要動力 P_{req} (PS) は、次式によりもとめることができる。図-4 のとおり。

表 - 9 ホイールトラクタおよびロータリカッタの寸法および減速比

トラクタ装備重量		5.550 Kg		
全 長		5.155 mm		
全 巾		2.280 mm		
全 高		2.470 mm		
ロータリカッタ重量		370 Kg		
全 長		2.350 mm		
全 巾		1.650 mm		
全 高		1.550 mm		
変速機	PTO歯車箱	PTO軸	ロータリカッタ	ロータリカッタ
減速比	減速比	減速比	歯車箱減速比	軸減速比
1速 6.495	高速 0.269	1.747	0.695	1.216
2速 3.175	"	0.856		0.594
3速 1.806	"	0.486		0.338
4速 1.0	"	0.269		0.187
1速 6.495	低速 0.524	3.403	0.695	2.365
2速 3.175	"	1.663		1.153
3速 1.806	"	0.946		0.657
4速 1.0	"	0.524		0.365

図-23 正味の生立容積と切削抵抗

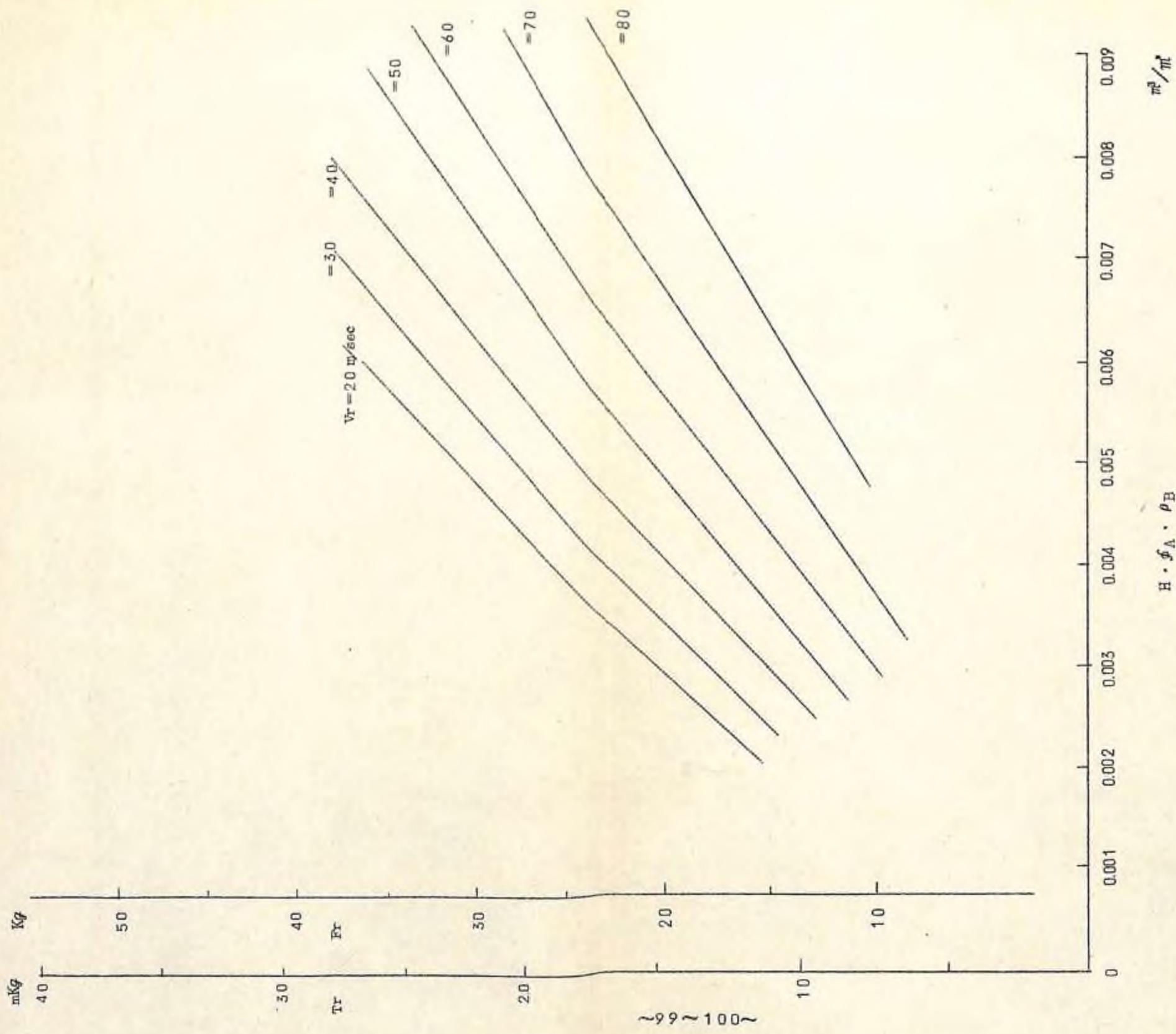
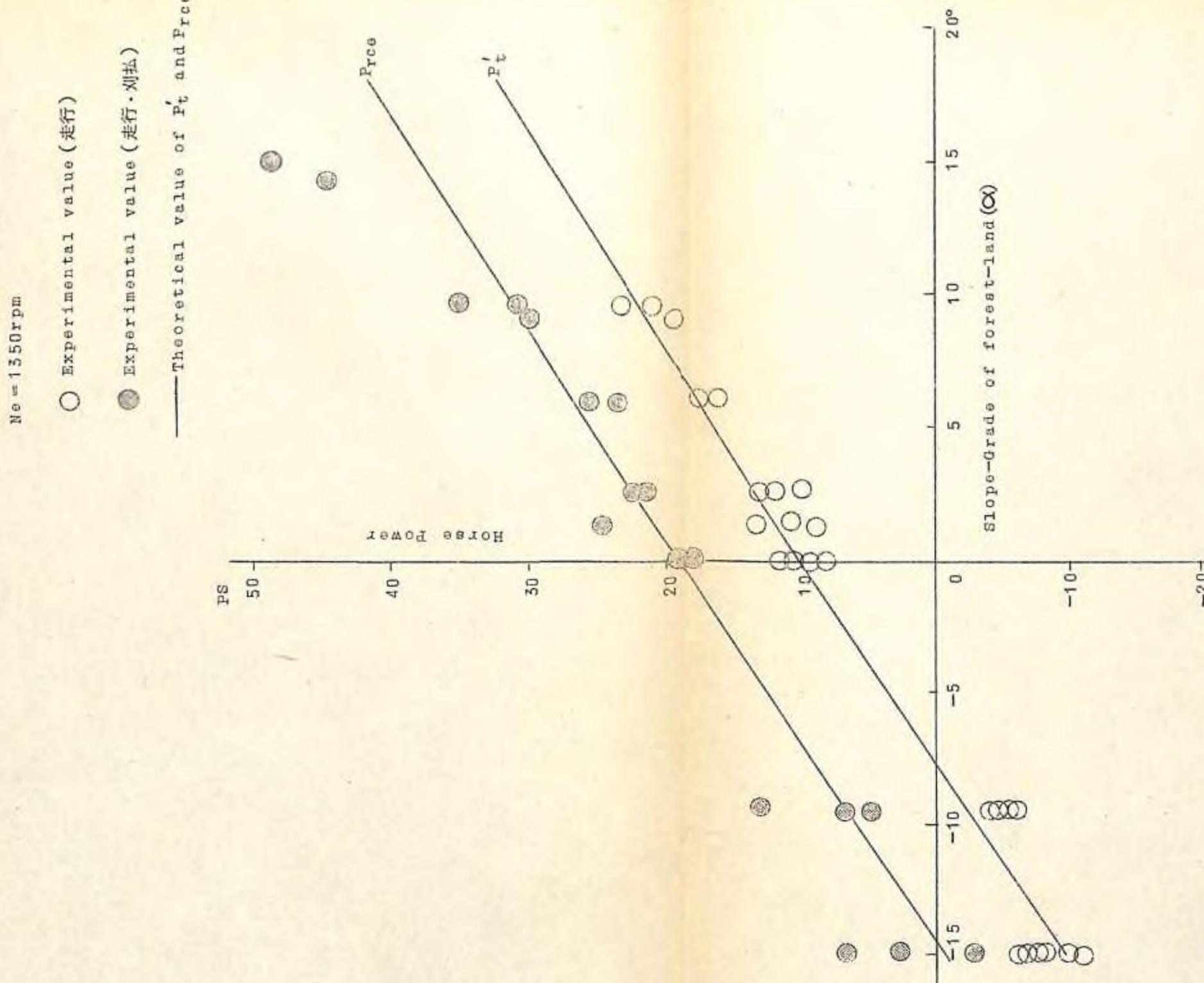


図-24 筏生地におけるホイールトラクタ・ローダーによる刈払い出力



$$P_{\text{req}} = P_t + \frac{2\pi r_t N_e \{ W_r (f_r \cos \sigma + \sin \sigma) \}}{75 \cdot 60 \cdot i_t \cdot i_{t \cdot i_d} \cdot i_p \cdot \eta_t \cdot \eta_f \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_r} \\ + \frac{2\pi N_e \cdot F_r \cdot r}{75 \cdot 60 \cdot i_t \cdot i_{t \cdot i_d} \cdot i_p \cdot \eta_t \cdot \eta_f \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_r}$$

ここで、 P_t : ホイールトラクタ単体の走行所要動力 (PS)

W_r : ロータリカッタの重量 (kg)

f_r : トラクタでけん引した場合のロータリカッタの林地走行抵抗係数

$$= 0.186 + 0.129 V_a$$

V_a : 走行速度 (m/sec)

η_1 η_2 : PTO軸歯車箱の機械効率

η_r : ロータリカッタ専用車箱の機械効率

i_1 i_2 : PTO軸歯車箱の減速比

F_r : ロータリカッタ刃の切削抵抗力 (kg)

r : ロータリカッタのカッタ刃の有効半径 (m)

引用文献

- (1) YAMAWAKI, S. et al : Brush-cutting Performance of crawler tractor with rotary Cutter on inclined forest-land, 日林誌 48 (7) 1966
- (2) 山脇三平ほか3: 大形機械による造林作業の機械化, 国立林試年報, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968年度
- (3) YAMAWAKI, S: Experimental investigation on the performances of tractor-powered reforestation machineries on the artificial forest land of Japan, 林試研報, №213, 75~177, 1968.3
- (4) 山脇三平ほか3: トラクタ造林機械の実際性能(1), 75回日林誌, 1964.4 (II), (III), 76回日林誌, 1965.4
- (5) 全 上 : 4輪駆動形トラクタのけん引性能, 79回日林講要旨, 1968.4
- (6) 全 上 : アーティキュレイテッド・ホイールトラクタの林地旋回動力性能, 80回日林誌

林講要旨, 1969.4

(7) 山脇三平ほか3:アーティキュレイティッド・ホイールトラクタおよびロータリカッタの刈り払
い動力性能, 80日林講要旨, 1969.4