

リモートコントロール
トラクタの開発改良

I 試験担当者

機械化部機械科長

山 脇 三 平

✧ 機械第二研究室員

三 村 和 男

鈴 木 皓 史

平 松 修

✧ 林道研究室員

堀 田 章 史

II 試験目的

現在わが国の森林においておこなわれている各種生産事業の中で、トラクタを利用する省力機械化作業はいちじるしく増加しつつある。とくに林業経営の基盤として昨今とくに重要視されつつある林道および作業道の作設、伐採および造林の諸作業において、トラクタの利用は、国有林のみならず民有林においても、とくに顕著な傾向がみられる。

このような現象のおもな理由の一つは、わが国モータリゼーションおよび全工業の進展によるものであることというまでもないが、二つには、たとえば伐採事業において、トラクタ集材作業を架空線集材作業と対比した場合、1セットに要する作業人員が数名に対して2～3名ですむことであり、さらにはまた、架空線に使用するワイヤロープの疲労、その他使用上の不注意にもとづく労働災害の発生頻度を減少させることができるからである。すなわち労働生産性の向上を期待できると同時に労働安全も期待することができるからでもある。

しかるに、わが国林業労働力の現状は、年々減少の一途をたどり、この10年間に、林業労働人口は37万人から20万人へと急速に減少し、大規模林業ほど、環境保全、労働安全を考慮した上での機械化による労働生産性の向上に対する期待は大なるものがある。

本試験は、如上の見地から、林道、伐採、造林等においてつかわれている林業用クローラトラクタによる作業の労働生産性の向上をはかるとともに、昨今とくに世論が要求しつつある労働安全の確保をはかる目的で、林業用クローラトラクタの操縦を、携帯用制御器による遠隔操作で実行できるリモートコントロールトラクタの開発をおこない、この種トラクタによる各種林業機械化作業の可能性について検討をおこなうものである。

III 試験の経過とえられた成果

この研究は、昭和45年度開始し、全年度リモートコントロールトラクタ用テレコン装置および変速装置の開発試作をおこない、昭和46年度ただちに、全装置をトラクタ試作工場に搬

入して現物調整をおこないながら、全年度末にいたり、内外を通じてはじめての林業用無線リモートコントロールトラクタの開発試作に成功したものである。

ひきつづき昭和47年度においては、この開発試作に成功した林業用無線リモートコントロールトラクタの、実際林業現場における無線操縦性能、林道および作業道作設性能、集材性能等に関する試験を、前橋営林局草津営林署管内において、2回に亘って実施した。

すなわち、本トラクタの実際現場における走行、登はん、掘削、集材等の動力性能の測定は、エンジンよりの動力伝達軸のトルクおよび回転数を、計測車に搭載したテレメータ、オシログラフ等により計測記録すると同時に、粘着力、けん引力はロードセルおよび計測車に搭載したストレンメータ、オシログラフ等により、計測記録をおこなった。土工作業性能および集材作業性能についてはタイムスタディおよびワークグラフによる計測をおこなったほか、無線操縦性能については、林内、伐跡地等各種条件下における受信感度の測定を系統的におこない、実際林地におけるこの種リモートコントロールトラクタの安全作業の基礎となる受信可能範囲を明確ならしめようとしたものである。

1 リモートコントロールトラクタの諸元

開発試作に成功したリモートコントロールトラクタの仕様諸元はつぎのとおりである。

装 備 重 量	2 1 5 0 Kg
全 長	4 1 2 0 mm
全 巾	2 6 0 0 mm
全 高	2 0 3 5 mm
履帯中心距離	1 3 3 0 mm
接 地 長	1 7 1 0 mm
履 帯 巾	3 5 0 mm
接 地 面 積	1 2 0 0 0 cm ²
接 地 圧	0 6 0 4 Kg/cm ²
最低地上高	3 1 0 mm
最小旋回半径	2 8 0 0 mm
機 関	
名 称	いすゞDA-220形ディーゼルエンジン
形 式	水冷四サイクル直列予燃焼室式

シリンダ数-内径×行程	4-100mm×150mm
総行程容積	4.084cc
定格回転数	1800rpm
定格出力	55PS
最大トルク	24mKg/1400rpm

計画走行速度および最大けん引力

速 度 段	走 行 速 度 km/h	最大けん引力 Kg
前 進 1 速	0 ~ 25.1	5,330
“ 2 速	0 ~ 46.8	5,330
後 進 1 速	0 ~ 27.0	5,330
“ 2 速	0 ~ 50.0	5,330

燃 料 系 統

燃 料	軽 油
燃 料 消 費 率	205g/PS h
調 速 機	オールスピード遠心式

潤 滑 系 統

潤 滑 方 式	歯車強制循環式
ろ 過 方 式	フルフロー式、一部ろ紙ろ過式
冷 却 方 式	水冷式

エヤクリーナ

乾式、抵抗指示器付

冷 却 形 式

ファン吐出式、放熱器、加圧式

充 電 発 電 機

24V, 350W

始 動 方 式

始動発電機 24V, 8.5KW

伝 導 装 置

トルクコンバータ	MF16形, 3要素, 1段2相形
ストールトルク比	3.8
最 高 効 率	トルクレンジ 83% フルカンレンジ 86%
入 力 ト ル ク	40kgm/2800rpm

トランスミッション	正転2段逆転2段 パワースhift
減速比	正転 1速 2.09 " 2速 1.18 逆転 1速 2.24 " 2速 1.20
変速方式	湿式油圧多板クラッチ
横軸減速機	
形式	まがりばかさ歯車 1段 はねかけ潤滑
足回り装置	
けん架方式	半硬式 つり合いねじりばね式
ローラの数	上部 片側 1組 下部 片側 4組
履帯	
形式	組立式 穴あきスリッドローサ
突起高さ	46mm
枚数	片側 33枚
ピッチ	165mm
履板巾	350mm
操作装置	
方式	無線・電気 - 油圧操作式
構成	制御器 UTC-217C形 受信装置 UTC-308C形
制御器	
送信周波数	2425MHz~2465MHzの中の1波
変調方式	周波数変調
送信出力	100m離れた地点の電界強度 15μV/m以下
信号周波数	300~3000Hz
受信装置	
受信周波数	制御器に同じ

受信方式	水晶制御二重スーパーヘテロダイナ		
感度	2 μ V 以下		
選択度	6 dB 帯域巾 ± 12 KHz 以上 70 dB 帯域巾 ± 25 KHz 以上		
制御チャンネル	16 チャンネル		
電源 (キースイッチ)	1		
エンジン停止 (押 釦)	1		
始 動 (押 釦)	1		
警 笛 (押 釦)	1		
旋 回 右	}	1	
旋 回 左			
前 進	}(つまみ, スプリングリターン)	2	
中 立			
後 進			
エンジン高速	}(切換, クリックストップ)	2	
エンジン中速			
トランスミッション 1 速	}(切換, クリックストップ)	2	
2 速			
ブレード上げ	}	2	
中 立			}(つまみ, スプリングリターン)
ブレード下げ			
ウインチ巻上げ	}	2	
中 立			}(切換, クリックストップ)
ウインチフリー			
安 全 装 置			
無線誤作動防止装置	混信, 雑音の影響防止		
無線機能自動停止	電波到達範囲外に出た場合および一部分故障の場合		
他の無線装置への妨害防止			
エンジン異常停止装置	エンジン水温, 油圧, トルクコンバータ油温の異常時の自動停止		

作動表示灯	エンジン稼働表示	
警告表示灯	左右傾斜限界, ドーザ上げ下げおよび前後の極限位置の表示	
計器類		
アンメータ		1
オイルプレッシャゲージ	エンジン用	1
	トルクコンバータ用	1
サーモメータ	エンジン用	1
	トルクコンバータ用	1
アワメータ		1
制御器用電源電圧チェックメータ		1
照明装置		
前照灯		1
後部作業灯		1
水および油類の容量		
冷却水タンク		22ℓ
燃料タンク		85ℓ
エンジン油受け		75ℓ
トルクコンバータ油および変速機潤滑油		29ℓ
横軸減速機		15ℓ
終段減速機 左右それぞれ		8ℓ
油圧装置		40ℓ
油圧装置		
ポンプ	ギヤ式, 100kg/cm ² ×76ℓ/min, 1500rpm	1
	トルクコンバータ内蔵ギヤ式, 10kg/cm ² ×38ℓ/min, 1500rpm	1
油圧シリンダ	ドーザ用 90φmm×400mm	2
	操作用 ステヤリング用単動形25.4φmm	2
	エンジン回転制御用単動形29.6φmm	1

ドーザ装置	
形式	アングルドーザ
巾×高	2600mm×650mm
排土量	約1.0m ³
ウインチ	
形式	単胴巻上式, フェヤリード付
巻込容量	12φmm×95m
引張力	3000kg (引張速度45m/min)
	平均巻込径時

2 リモートコントロールトラクタの無線操縦性能

2-1 リモートコントロールトラクタの受信指向性

リモートコントロールトラクタの受信装置およびアンテナは, トラクタ中央部左側にとりつけざるをえなかったため, このトラクタの形状, アンテナの位置, 全高さ等により, 送信制御器に対するトラクタの向きによって受信感度に変化するという本トラクタの受信指向性について検討をくわえた結果, 図1のような受信指向性があることがあきらかになった。

すなわち, トラクタを中心として考えた場合の8方向について20mおき120mの遠隔距離までの受信感度を電界強度計により測定した結果が図1のとおりで, 受信装置を搭載してないトラクタ右側の方向が遠距離まで感度がよく, 受信装置を搭載しているトラクタ左前方およびトラクタ右後方の方向は感度低下があらわれ, ほかの方向にくらべると同距離で10~15μAの感度低下がみられる。

これは, 受信アンテナの位置がトラクタ中央部左側にあること, 前方排土板, トラクタ後部背面の背の高いオイルタンク等によって, 電波の反射波の影響をつよくうけ, 遠隔操作距離にして約20mの差の感度低下を生じているものとかんがえられる。

したがって, 遠隔操作方向として, トラクタ左前方および右後方の二方向は, 遠距離になるにしたがい, 誤動作および操作不能がおこらないよう, 予めとくに注意しておく必要がある。

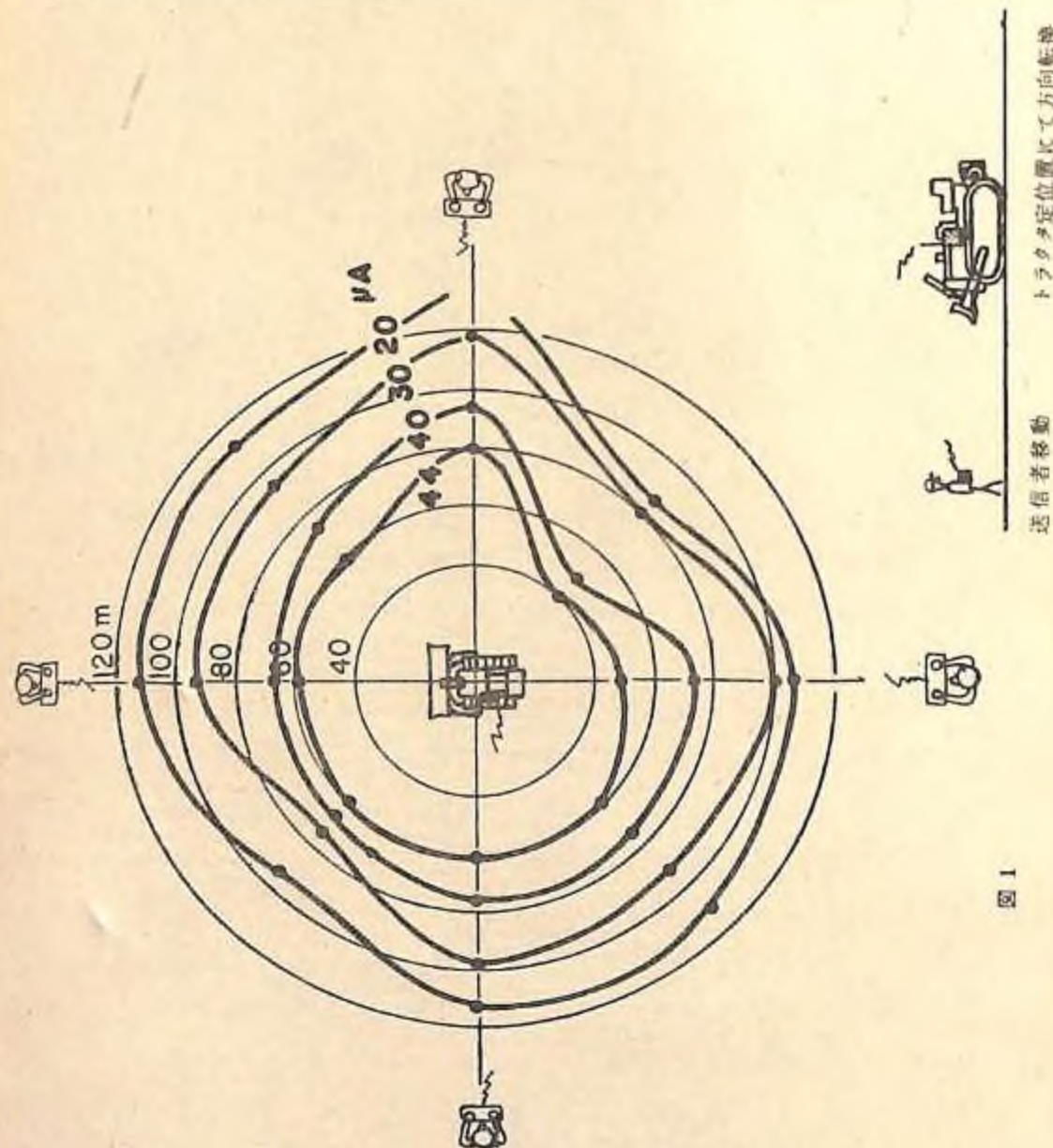


図 1

2-2 制御器の送信指向性

制御器は、ふつう操縦者の腰部前面に、3本のベルトで固定し、荷掛け、荷はずし等の作業に従事しながらトラクタを操縦できるように、押ボタン、スプリングリターンつきつまみ、クリックストップつき切換等の操作で、比較的容易に始動、前進、後退、ブレード上下等の16動作を取扱うことのできる重量約2.5kgの携行形である(図2、3参照)。図2は外形および取付法をしめし、図3は回路図をしめしている。

この制御器によって、林地でリモートコントロールトラクタに対して遠隔操縦する場合、周囲の状況はたえず変化するので、トラクタに対して操縦者すなわち制御器がつねに正対して遠隔操作しているとはかぎらない。つまり、制御器がトラクタに対していろんな方向をむいて発信していることになる。この制御器の方向別発信指向性について、集材の進捗しつつある伐跡地および集材がまだおこなわれていない林内すなわち立木の二箇所をえらび、検討をくわえた。

すなわち、制御器を腰部前面に携行した操縦者がトラクタに対して正面をむいている時(F)、右側面をむけたとき(R)、左側面をむけたとき(L)、背面をむけたとき(B)の四方向別に、しかも遠隔操縦距離を0~100mの範囲で20mおきにかえて、伐跡地および立木地(カラマツ人工林、50年生、直径8~36cm(平均19cm)、樹高13~18m(平均16m)、立木密度、1.050本/ha、傾斜11~12°)において、受信感度を測定した結果は図4のとおりである。いずれの林地においても、上り勾配、下り勾配の2箇所について測定をおこなった。

発信制御器からでた進行波(超短波、波長 $\lambda=1.200m$)は、直接波と地面、林木、車体その他障害物等からの反射波となって、受信アンテナに到達するが、直接波と反射波とはたがい干渉しあい、距離の長短によって二波の位相がことなり、 $n \times 360^\circ$ の位相差では受信感度が強まり、 $n \times 180^\circ$ の位相差では受信感度が弱まることになる。

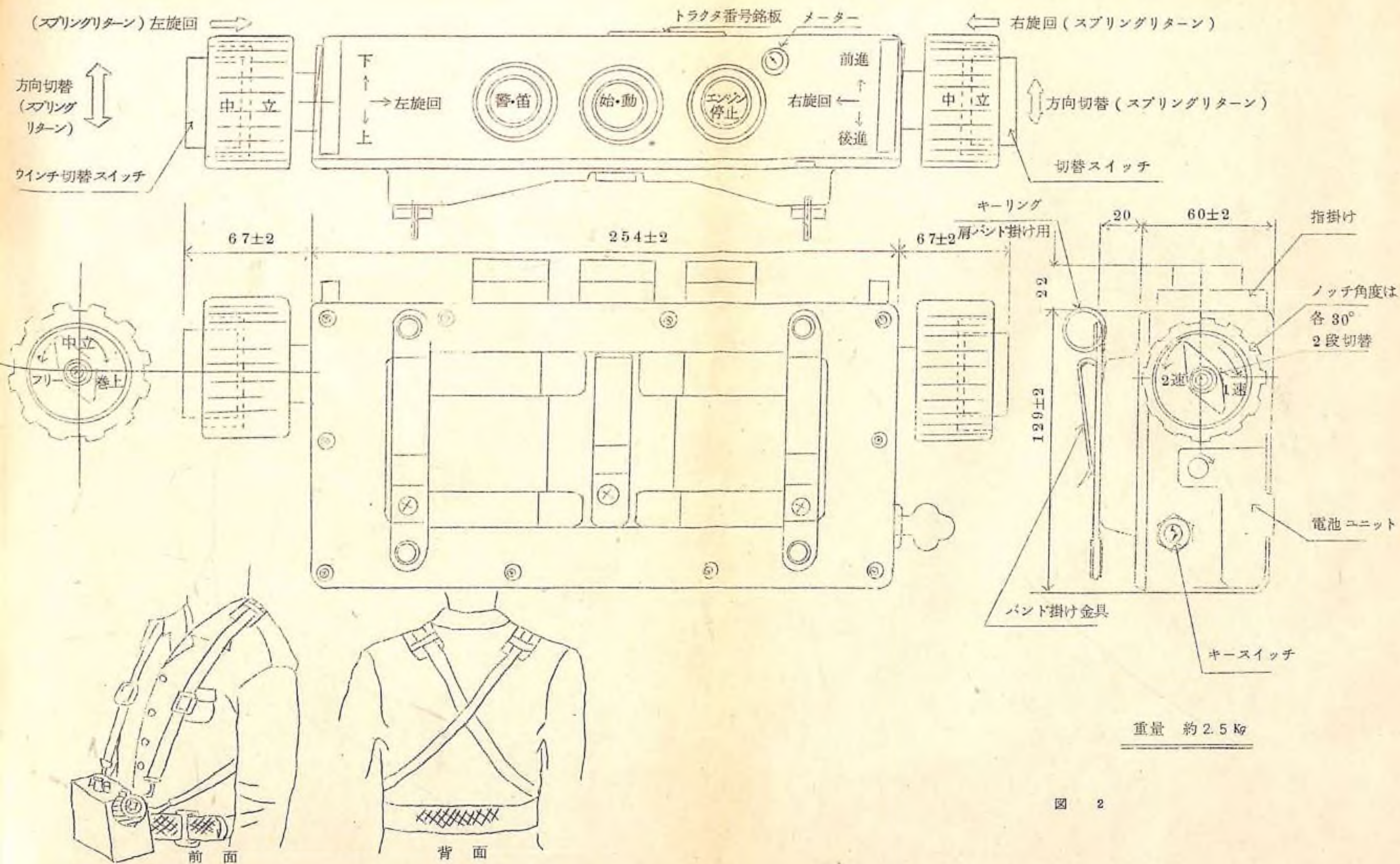
いま受信感度Y、送信距離X、送信波長 λ 、送信電力 P_0 、角速度 ω 、送信距離と空中インピーダンスの比k、常数n(4)とした場合、一般に次式が成立する。

$$Y = \frac{P_0}{kX} \left(1 + \left| \sin \frac{\omega X}{n \lambda} \right| \right) \quad (1)$$

地表に障害物がない場合、上り下り勾配とも、40mくらいの遠隔距離までほとんどか

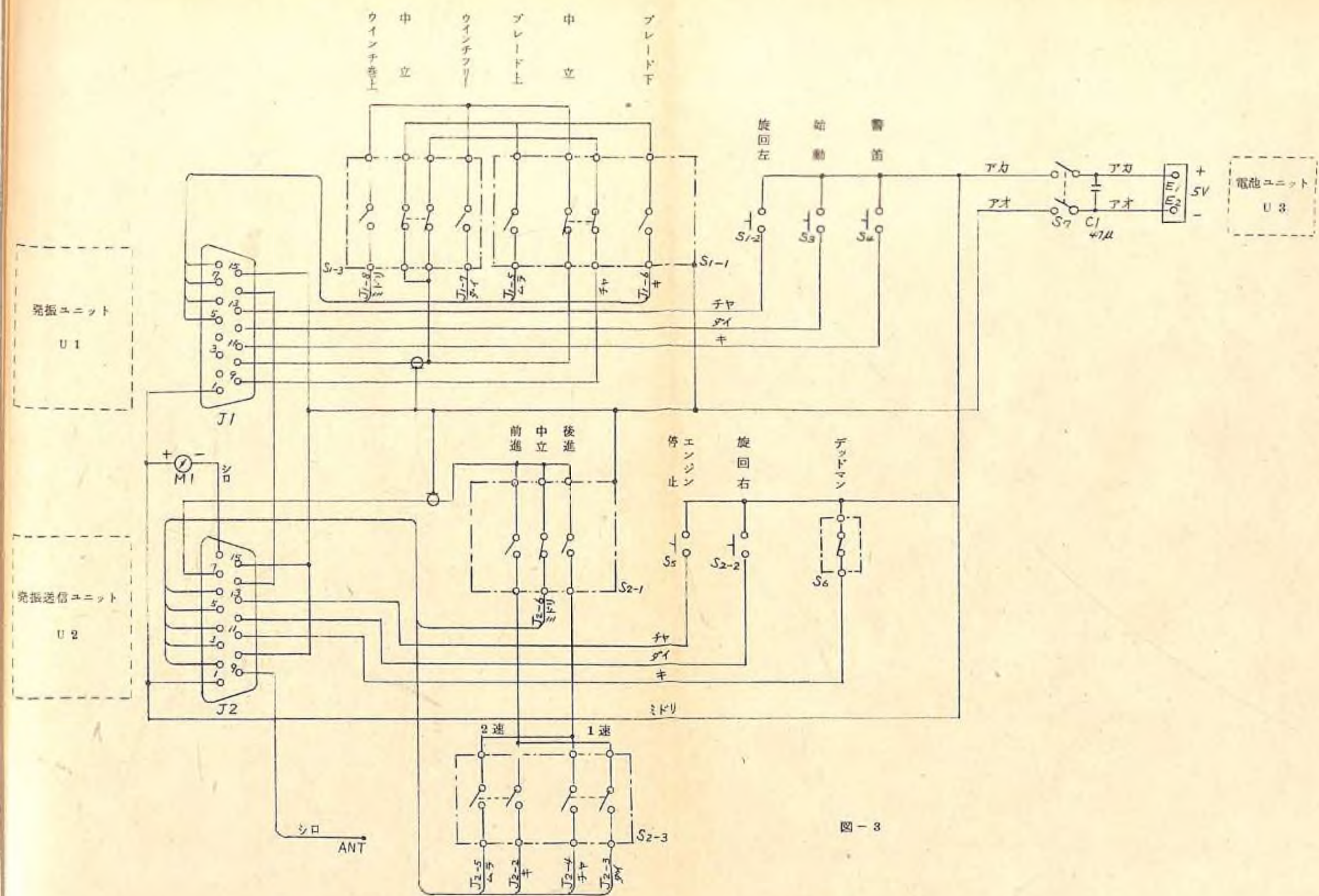
わらないが、さらに遠のくにしたいが、 $10 \sim 15 \mu A$ 程度変動しながら次第に受信感度が低下する。この様相は、伐跡地でも立木地でもほぼおなじであるが、立木地ではとくにこの低下割合がはげしく、遠隔距離 $100 m$ の地点で、伐跡地の電界強度 $10 \sim 30 \mu A$ に対し、立木地のそれは $0 \sim 10 \mu A$ 程度に低下し、遠隔操作が不能になる場合があることがあきらかとなった（図4参照）。

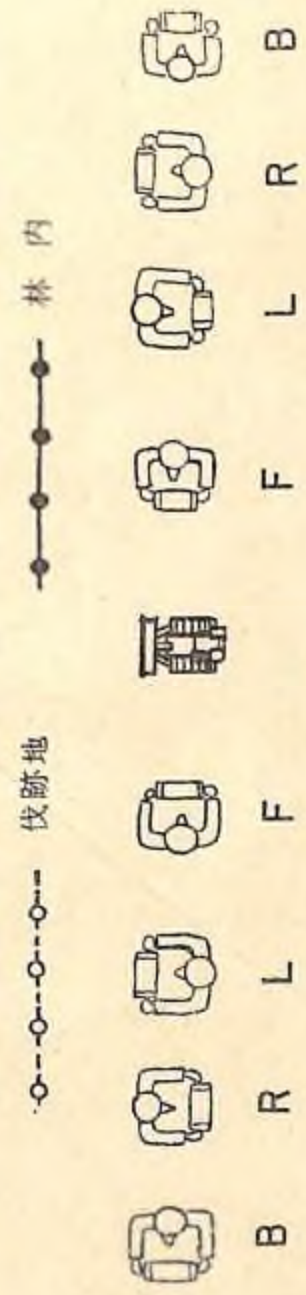
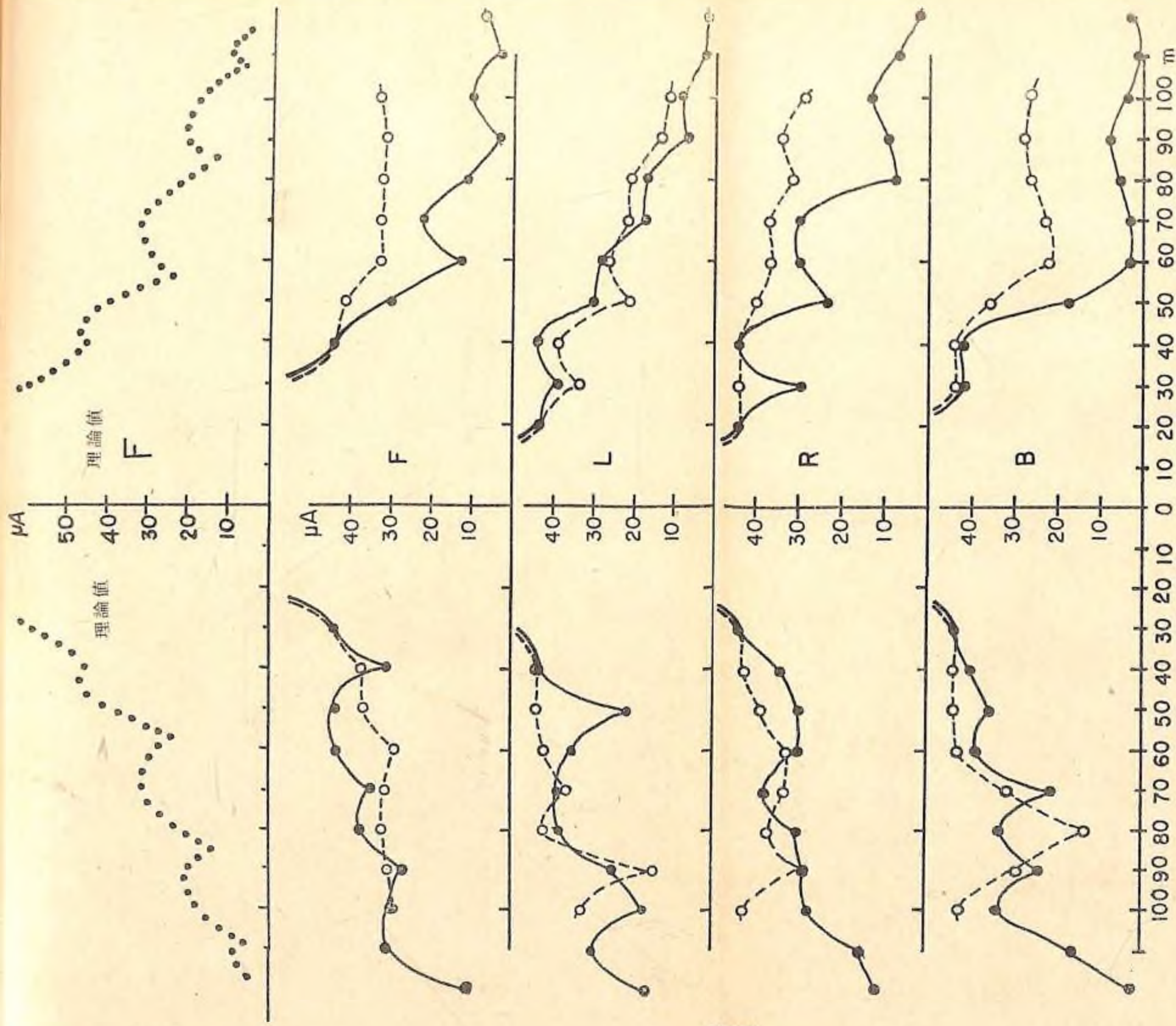
制御器の方向別では、トラクタに対して背面をむけたときがとくに遠隔距離別感度低下がいちじるしいこと、正面をむいているときがかならずしも感度がよくないこと、とくに立木地では正面をむいていても、遠隔距離 $60 m$ 以上では感度 $20 \mu A$ 以下に急激に減少していることがあきらかである（図4参照）。

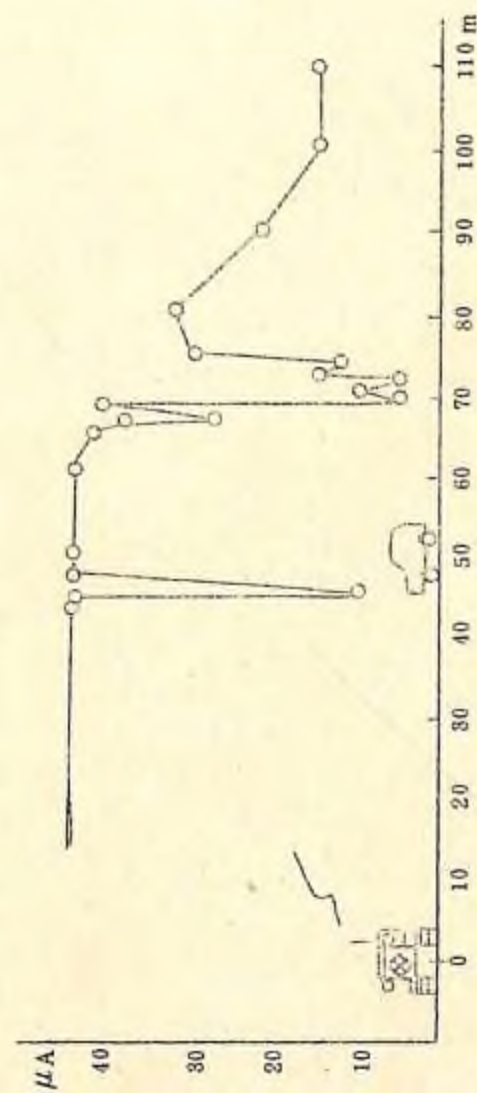
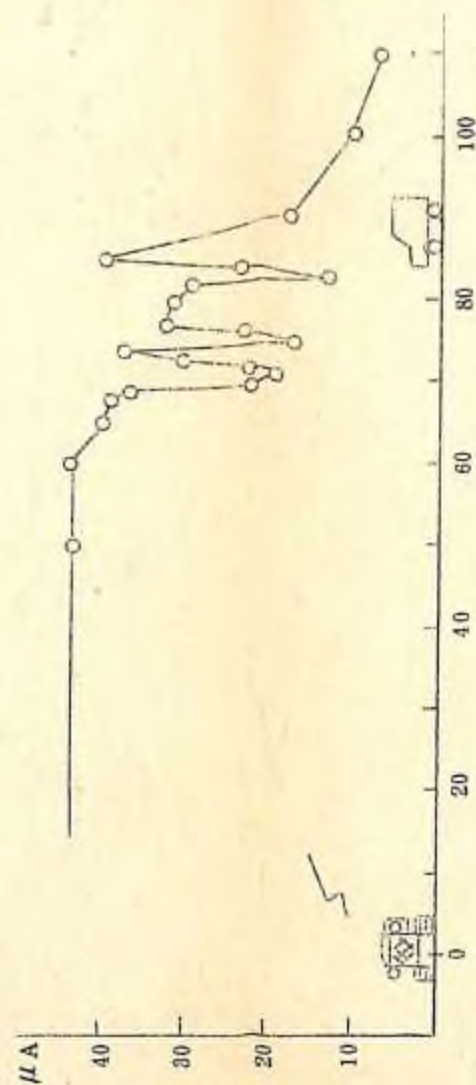
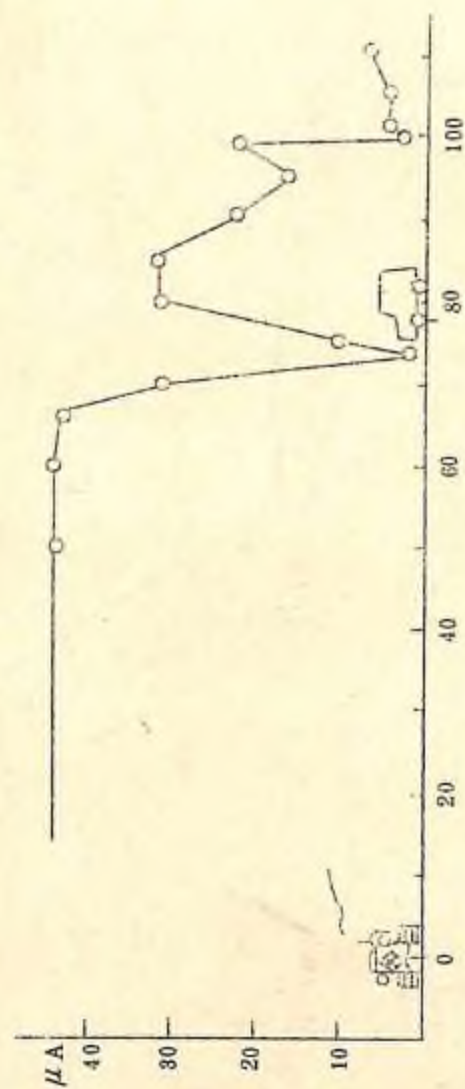
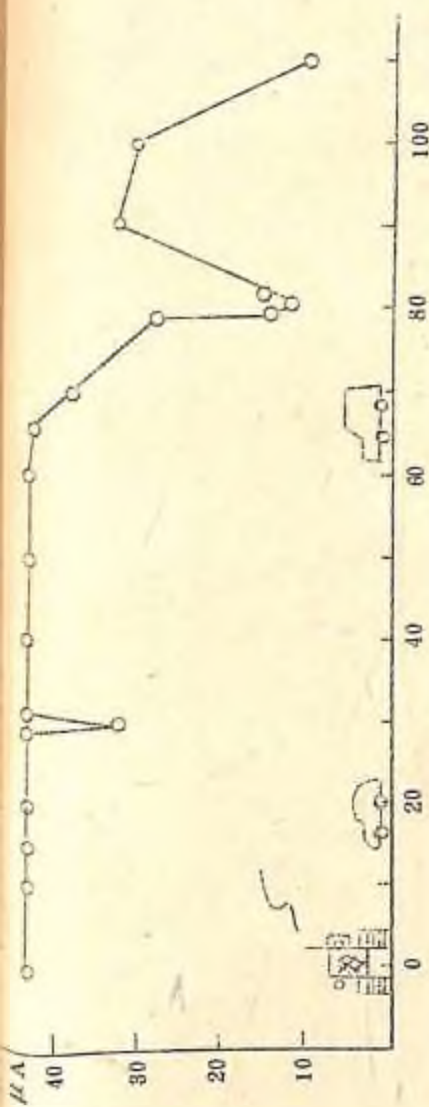


重量 約 2.5 Kg

図 2







2-3 金属製電波障害物の影響

制御器とリモートコントロールトラクタの間に、運材トラック、鋼製簡易倉庫等の金属製物体が介在するような場合が、実際林業現場ではしばしば遭遇することである。このような場合受信感度に異常がみられないかを試験した測定結果が図5のとおりである。

すなわち、金属製物体として当該計測車（ウイリスジープワゴン改造車）を採用した場合、リモートコントロールトラクタから金属製物体までの距離が80m以下のとき、両者を結ぶ直線上で金属製物体の1～1.5m前のトラクタ寄りで制御器を発信させると、受信感度が3μAまで急激に低下し、ほとんど遠隔操作不能になることが判明した。もっとも金属製物体がトラクタから80m以上離れているときは、両者をむすぶ直線上で、金属製物体の前方10～20mトラクタ寄りの間で受信感度に乱れがみられるが、15μA以下になることはなかった。金属製物体の後方ではとくに受信感度にあたえる影響はないようである。

2-4 受信アンテナの性能

リモートコントロールトラクタにとりつけた受信アンテナはいわゆる、ホイップアンテナとよばれる棒状のもので、長さは使用電波長の $\frac{1}{4}$ の310mmのものである。

このリモートコントロールトラクタでは、トラクタボンネット上面より10数cm高い受信装置ケース上面に直接取り付けられている。

いまこのアンテナを取付箇所より別な取付具を用いて、取付箇所の高さを300, 600, 900, 1,200, 1,500mmと変化させた場合の受信距離50mにおける方向別受信感度を測定した結果は、図6のとおりである。

この図で外周正円が受信効率100%（受信感度44μA以上を仮称）の線で、これと比較すると、アンテナ取付高さ300, 900mmの場合は効率0～75%（受信感度44μAに対する比）の範囲で、指向性もつよくあらわれているが、1,500mm以上では効率もよく、指向性はどの方向もほぼ同じとなっている。しかし実用的には1,500mmもの取付高さでアンテナをセットすることは不適当である。したがって、受信効率75～100%程度といえる取付高さ600mmは指向性もいずれの方向もほぼ同じであることから、この試験条件の下では、もっとも適した取付高さといえることができる。

さらに、ホイップアンテナの下端に水平に4本の反射エレメントをもったグランドプレーンアンテナ（G.P. アンテナ）について、上述とおなじ実験をおこない、遠隔距離別受信感度の低下率について、アンテナ取付高さ別にホイップアンテナの場合と比較した結

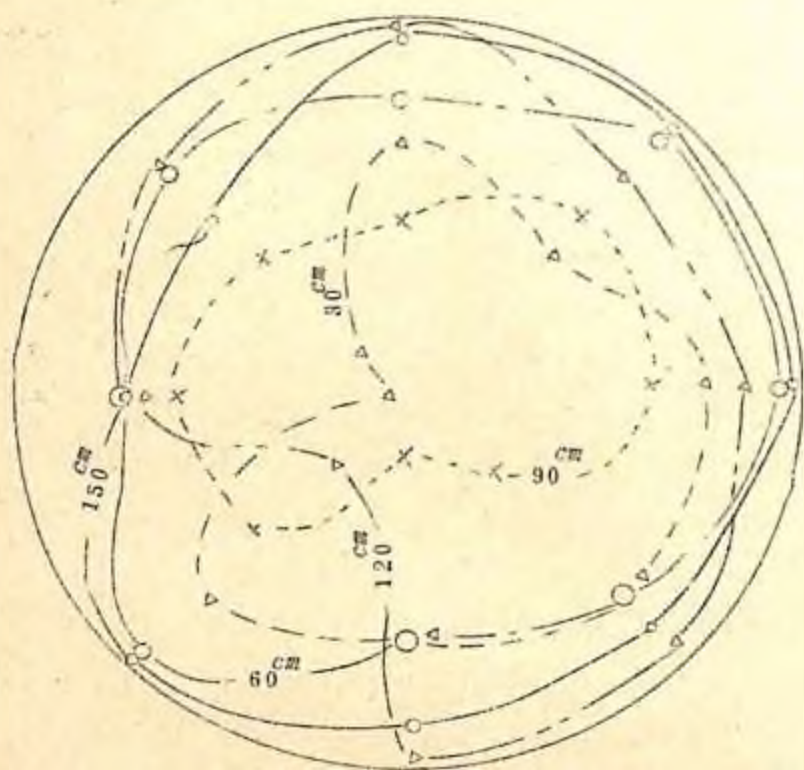


図6 アンテナの高さ別受信指向性(水平分布)

受信距離=50m

送信器は地上1mの位置

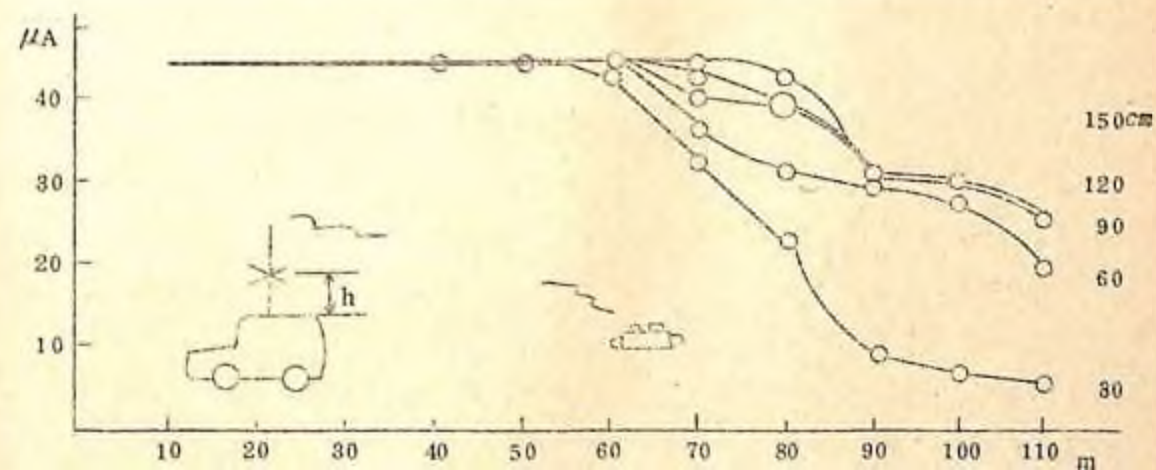
果は、図7のとおりである。

すなわち、G・P・アンテナは、ホイップアンテナとことなり、取付高さに関係なく受信指向性にムラはみられず、遮隔距離50mまでは取付高さに関係なく受信効率100%、遮隔距離60m以上では、取付高さを増すにしたがい受信感度がよくなることがあきらかである。

よって、リモートコントロールトラクタの受信装置付属アンテナとしては、G・P・アンテナを採用する方が望ましいといえることができる。

なお、制御器を操作する操縦者は、素手より軍手等の手袋を着用することが望ましい。これは、制御器内には発信アンテナが内蔵されているため、操作つまみを取扱う操縦者の指先の被覆物すなわち絶縁性物の有無によって、電波の発射効率に影響をあたえるからである。

G・P・アンテナ



ホイップアンテナ

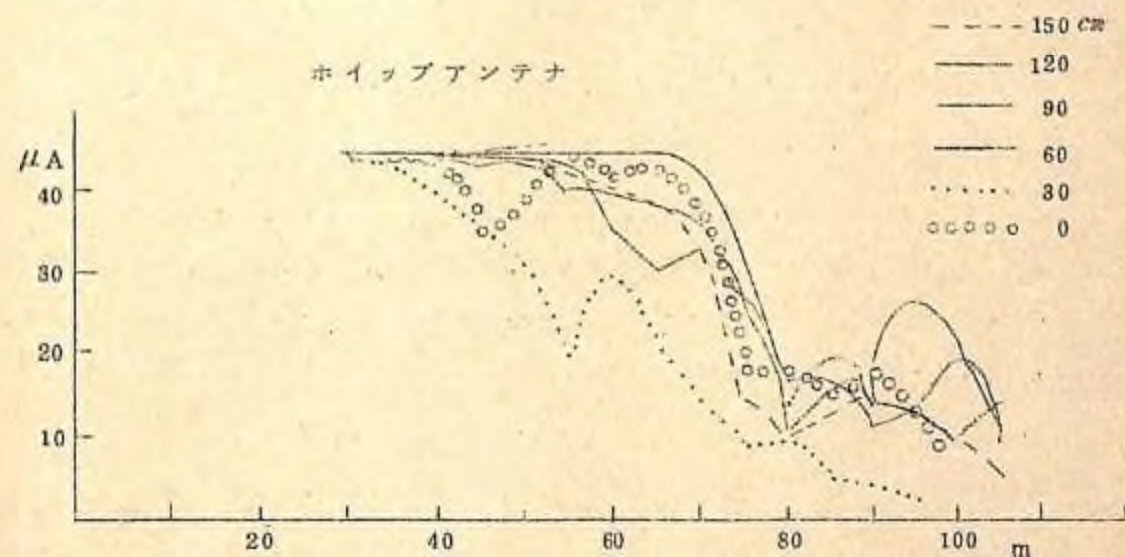


図7 ホイップアンテナおよび試作G・P・アンテナの高さ別、距離と電界強度

3 リモートコントロールトラクタのエンジン・トルクコンバータ性能

リモートコントロールトラクタに装備したDA220形ディーゼルエンジンおよびMF16形トルクコンバータの結合した場合の性能について検討をくわえた結果はつぎのとおりである。

すなわち、エンジン回転数 N_e に応じたエンジン軸トルク性能曲線および、トルクコンバータ入力軸回転数 N_p に対応する各速度比別のトルクコンバータ入力軸トルク曲線の交点は、各速度比におけるスロットル全開時の入力軸トルクおよび回転数をしめすことになる（図8参照、エンジン軸およびトルクコンバータ入力軸はクラッチにすべりがないと仮定したとき回転数は等しい）。

いま、トルクコンバータ速度比 $e = N_t / N_p$ 、トルクコンバータトルク比 $t = T_t / T_p$ （図10参照）、トルクコンバータ効率 η_o 、トルクコンバータ出力軸回転数 N_t （rpm）、トルクコンバータ入力軸トルク T_p （m kg）、トルクコンバータ出力軸トルク T_t （m kg）、トルクコンバータ入力軸出力 P_p （PS）、トルクコンバータ出力軸出力 P_t （PS）とすれば、

$$\eta = 100 e t, \quad N_t = e N_p, \quad T_t = t T_p,$$

$$P_p = N_p T_p / 716, \quad P_t = \eta P_p / 100$$

より図9がもとめられる。

ここで図9は、スロットル全開時におけるエンジン・トルクコンバータ結合性能である。

なお、 $e = 0.785$ はクラッチポイントで、速度比 $e < 0.785$ のときは、ふつうのコムバータとして作用し、 $e > 0.785$ のときは効率が低下し、ステータは空転し、単なる流体継手として作用する2相の構造を有しているものである。

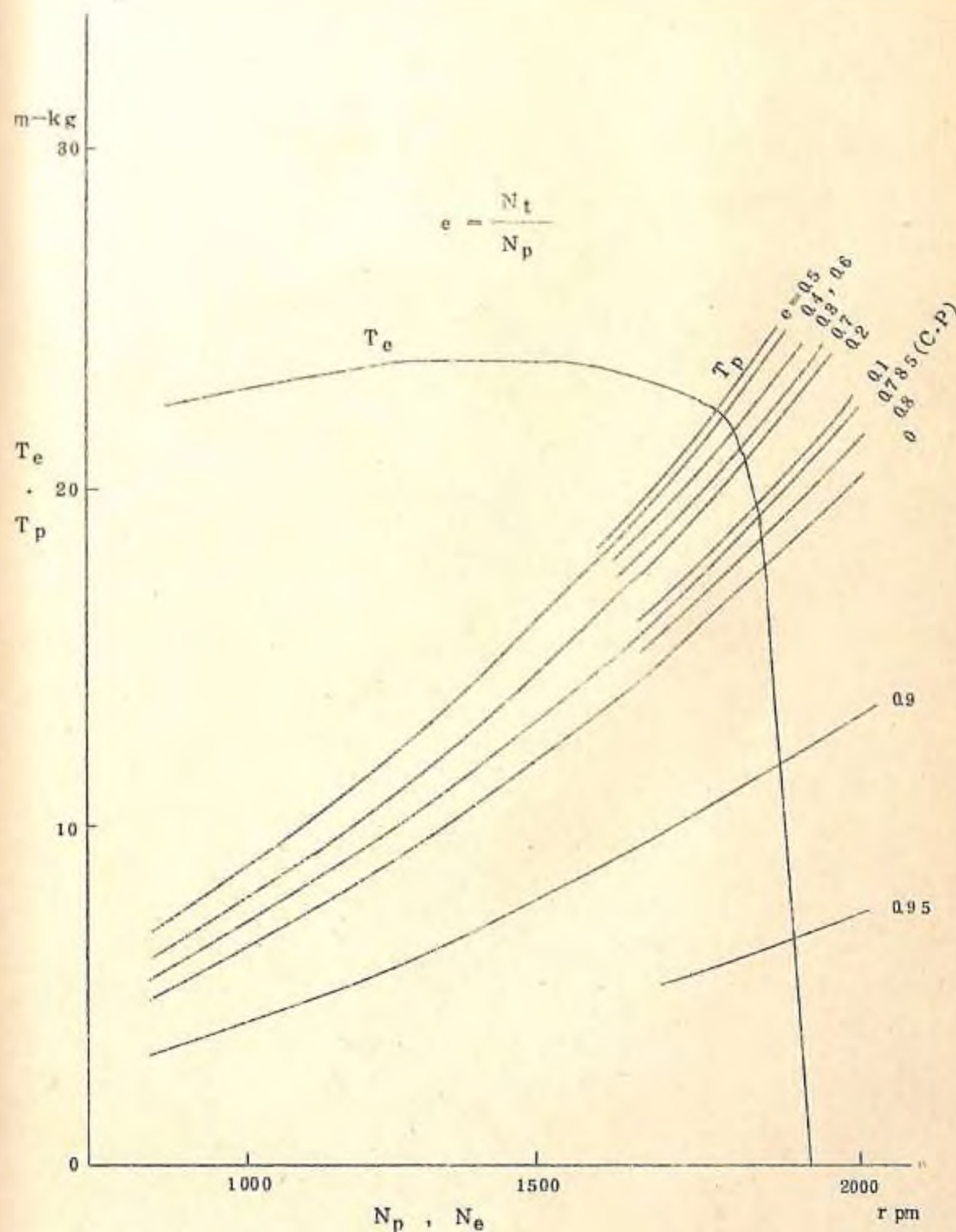


図8 エンジンとトルクコンバータのトルク性能曲線

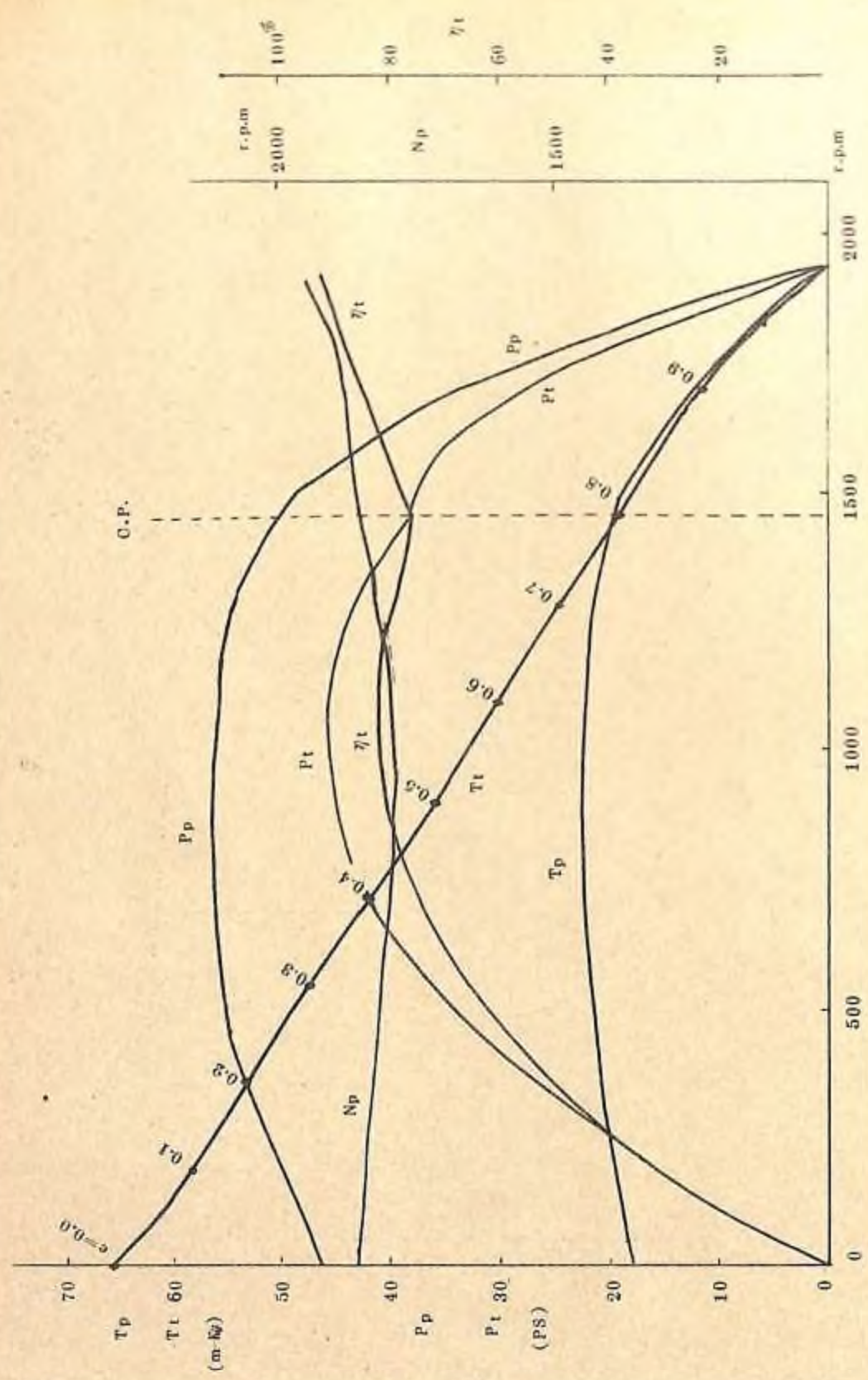


図9 エンジン、トルココンバータ結合性能(スロットル全開時)

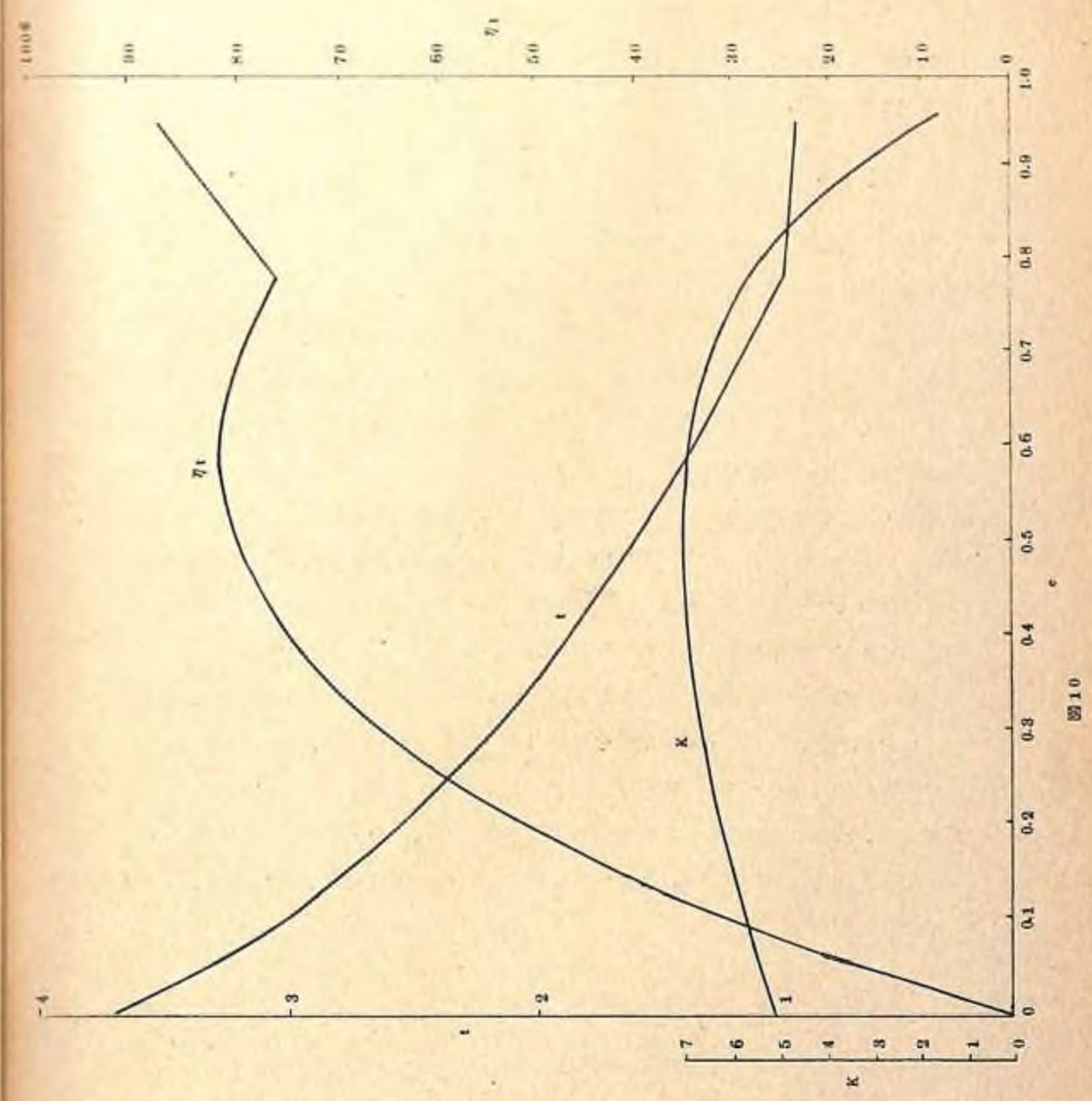


図10

4 リモートコントロールトラクタの林地土工性能

4-1 リモートコントロールトラクタの粘着係数

粘着係数 μ_a は、粘着けん引力 F_a (kg), トラクタ装備重量 W_t (kg) より、次式でもとめることができる。

$$\mu_a = F_a / W_t$$

実際林地で、ロードセルをつかいオシログラフに記録させて、低速度段におけるリモートコントロールトラクタの粘着けん引力を測定した場合、はじめ粘着けん引力は急カーブで増大してピークに達してからやむ低下し、その後ある値のところにはしばらくおちついてから、次第に低下の度をつよめていくのが普通である。すなわち、最初のピークは、トラクタの足回りのシューが林地面にくいこみかゝる衝撃的的最大値で、けん引の仕方すなわちけん引しはじめの速度によってずいぶんちがいのものがあるものである。

このピークから少し低下してやむ落着きのみられるところの値は、シューが林地面にくいこんで、その林地面での本格的な粘着けん引力をだしている時のものである。これ以後は林地面の同一箇所をシューが何回も走行掘削して、地表面があらされてくるので、粘着けん引力も大巾に低下してくるのが普通である。

したがって、各種林地におけるトラクタの粘着けん引力としては、上述のはじめのピークから少し低下してやむ落着いた値をしめすオシログラフ記録値の平均値が、その林地面における当該トラクタの真の粘着けん引力といえることができる。これをもとに、未走行の腐植土上、未走行の赤土上、数回走行後のかく乱された赤土上、数回走行後のかく乱された黒土上についてリモートコントロールトラクタの粘着係数をもとめた結果は、図11のとおりである。

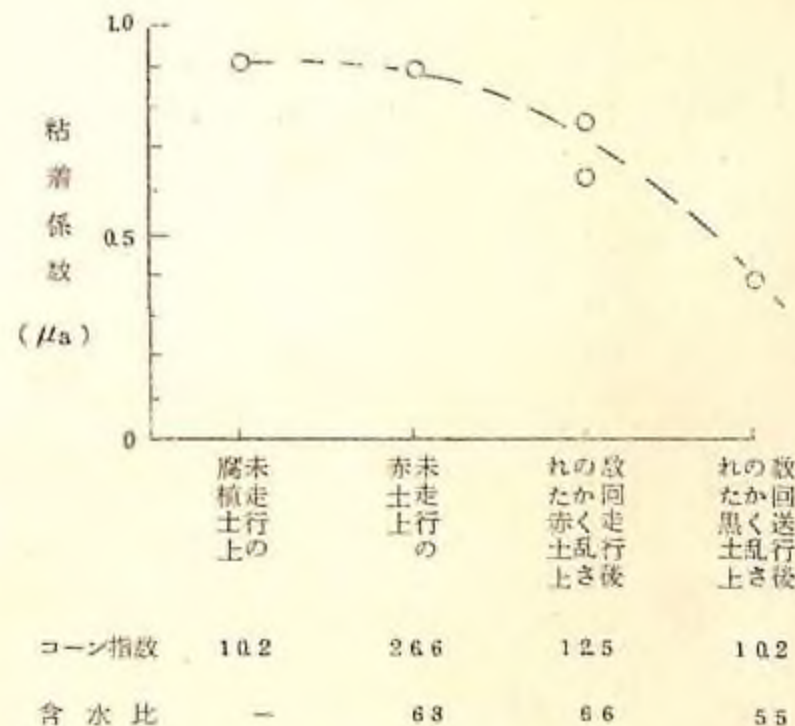


図11 粘着係数

4-2 リモートコントロールトラクタのけん引力

リモートコントロールトラクタのけん引力 F (kg) は、次式よりもとめることができる。

$$F = T_t \cdot i \cdot \eta \cdot \frac{1}{r_t}$$

$$= T_t \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \frac{1}{r_t}$$

ここで、 i : 全減速比, i_1 : トランスミッション減速比 $= \frac{38}{38} \cdot \frac{38}{28} \cdot \frac{51}{47}$,

i_2 : ディファレンシャル減速比 $= \frac{40}{6}$, i_3 : ファイナルドライブ減速比 $= \frac{61}{11}$,

η : 全機械効率, η_1 : トランスミッション機械効率 $= 0.95$, η_2 : ディファレンシャル機械効率 $= 0.93$, η_3 : ファイナルドライブ機械効率 $= 0.95$, η_4 : スプロケットと履帯の機械効率, r_t : スプロケットの有効半径 (m) $= 0.302$, $T_t = t \cdot T_p = t \cdot k (N_p / 1000)^2 = 3.7 \times 5.1 (N_p / 1000)^2 = 18.87 (N_p / 1000)^2$

m Kg, ただし $t=3.7$, $k=5.1$, $N_p=N_e$, $e=0$ トルクコンバータストール状態。
したがって, $F=2381.3(N_p/1000)^2$ kg より, けん引力を計算することが
できる。

図12は実測値と計算値(曲線)を照合したものである。

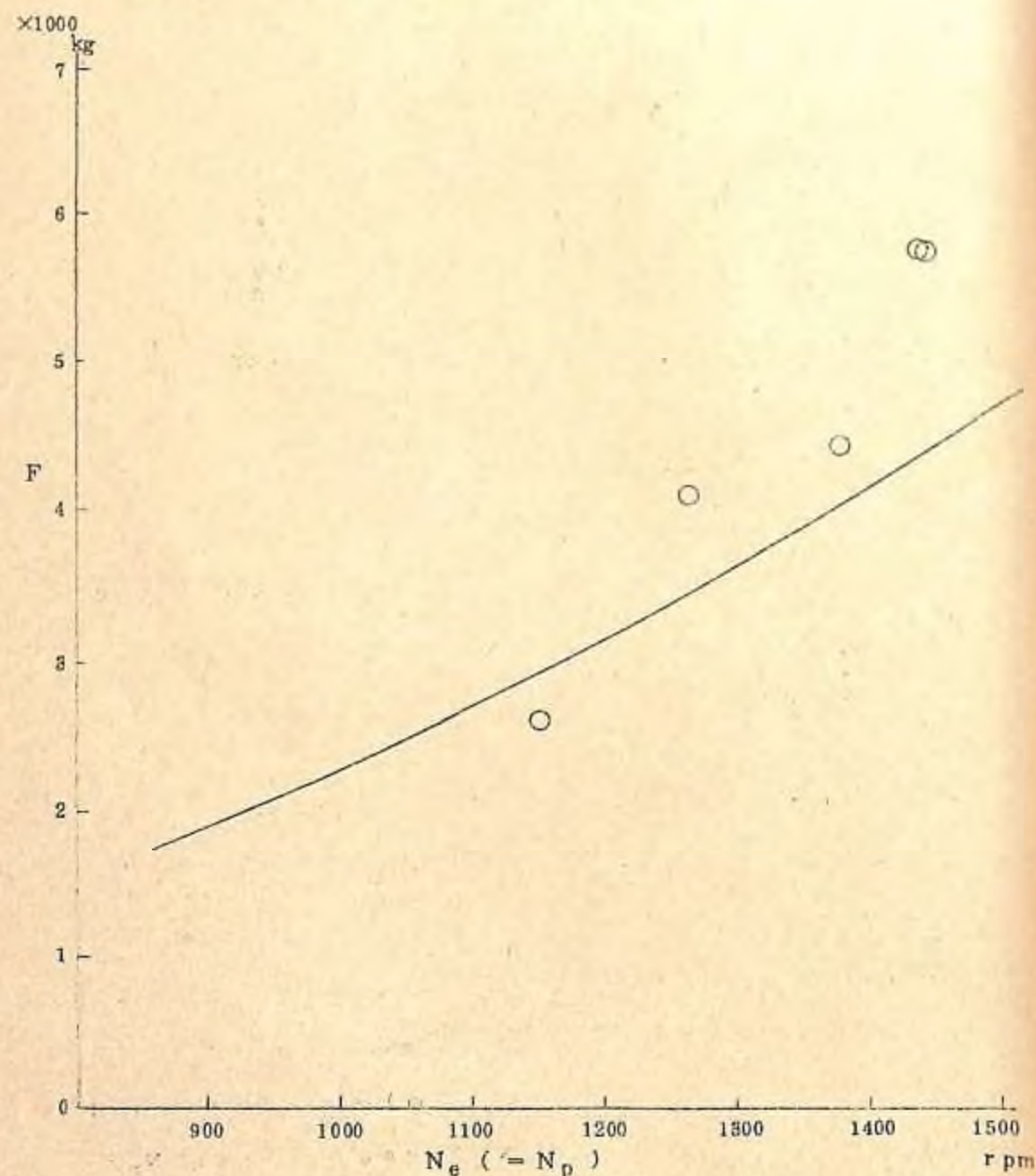


図12

4-3 リモートコントロールトラクタの林地走行出力

リモートコントロールトラクタの林地走行出力 P_r (PS) は, 次式よりもとめることができる。

$$P_r = \frac{W_t (f_t \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) \cdot V_a}{75 \cdot \eta_0 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 (1-s)}$$

ここで, η_0 : トルクコンバータ効率 $= 0.8$, V_a : トラクタ実際走行速度 (km/h)
 $= (1-s) V_t$, f_t : トラクタ走行抵抗係数 $= 0.111 + 0.033 V_a$, α : 傾斜角,
 V_t : 理論走行速度 $= \frac{\ell_p \cdot n \cdot N_e}{60 \cdot i}$, ℓ_p : トラックスューのピッチ長 (m), n :
スプロケット1回転でおくられるトラックスューの数。

コーンペネトロメータによるコーン支持力 $2.5 \sim 37.5 \text{ kg/cm}^2$, 含水比 66.4% の礫ま
じりの赤土層の林地を実際に走行させた場合の走行出力をテレメータリングにより測定し
た結果と, 上式による計算値を照合した結果は, 図13のとおりである。

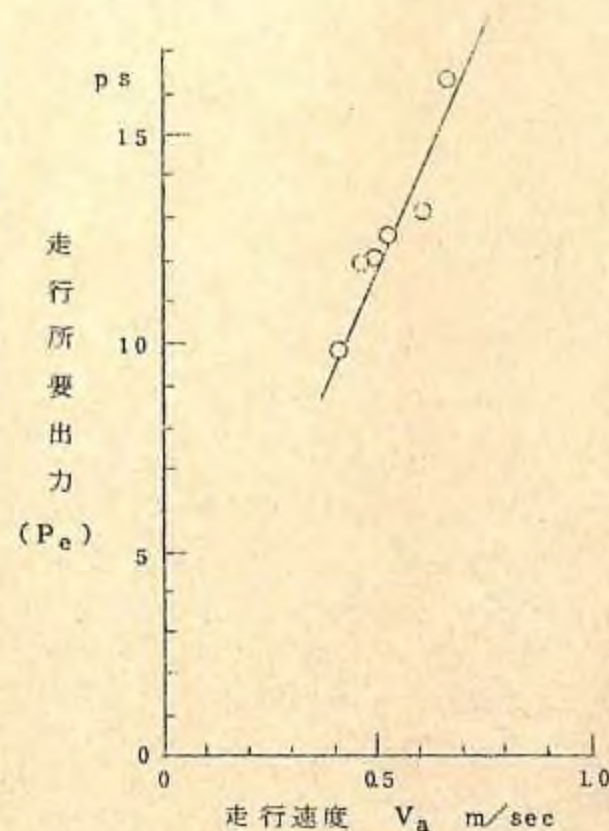


図13

4-4 リモートコントロールトラクタの掘削排土出力

リモートコントロールトラクタのドーザをつかっての掘削排土作業に要する出力 P_d (PS) は、次式であらわされる。

$$P_d = \frac{R_d \cdot V_a}{7.5 \cdot \eta_0 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 (1-s)}$$

ここで、 P_d : 掘削排土出力 (PS)

R_d : 掘削排土総抵抗 (kg)

$$= R_{d0} + R_r \quad \text{ただし,}$$

R_{d0} : ドーザの掘削排土抵抗, R_r : トラクタの走行抵抗

さらに、掘削排土抵抗 R_{d0} は、ドーザの刃の切削巾を b (cm)、全切削深さを t (cm)、おなじく切削される土の切削断面あたりの切削抵抗係数を α_c (kg/cm²) とすれば、ふつう

$$R_{d0} = \alpha_c \cdot b \cdot t$$

$$\alpha_c = \left\{ \frac{1}{2} \gamma t^2 K_{p\gamma} + c \cdot t \cdot K_{pc} \right\} \frac{\cos(\delta - \alpha)}{\cos \delta} + c' t \tan \alpha$$

ただし、 γ : 土の単位体積あたり重量

c : 土の粘着力

c' : 土と金属の粘着力

α : ドーザの刃のすくい角

δ : 土と金属との摩擦角

$K_{p\gamma}, K_{pc}$: 切削土圧係数, 土の内部摩擦角 ϕ , ドーザーの刃のすくい角 α , 切削深さ t の関数

いま比切削抵抗を ε とすれば、 ε は $\alpha = 0$ ときの α_c に相当し、次式が成立する。

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \gamma t \cdot K_{p\gamma} + c K_{pc} \approx c K_{pc}$$

$$K_{pc} = \left(\frac{\ell_0}{t} \right)^2 \left\{ \frac{1}{2\sqrt{N\phi}} + \frac{1}{\tan \phi} \left[\frac{1 + \frac{1}{N\phi}}{4} - \frac{1}{\left(\frac{\ell_0}{Z} \right)^2} \right] \right\}$$

$$\frac{\ell_0}{t} = 2 \cos \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\phi}{2} \right) e^{\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \tan \phi}$$

また、土の粘着力 c は、コーンペネトロメータによる測定値 (コーン指数) q_c とつぎの近似的関係が成立するといわれている: $c \approx \frac{1}{10} q_c$ 。

実際の試験林地の地表下 5 cm 深さまでの $q_c = 2 \sim 3$ であったので、ここでは $c \approx 0.25$ 。

また ϕ は、この試験林地は砂質粘土 ~ 砂質シルトの平均的な値をとると考えられるので、 $\tan \phi = 0.54 \sim 0.62$ から $\phi = 28 \sim 32^\circ$ (平均 30°) となるので、上式より、 ε をもとめれば、

$$\varepsilon = 0.25 \times 6.97 = 1.74$$

建設機械化研究所におけるドーザの巾 $b = 3.5$ m、高さ $h = 0.9$ m の 10 ton クラスのブルドーザを対象とした模形実験の縮尺率 $\lambda = 7$ に対して、リモートコントロールトラクタはドーザの巾 $b = 2.6$ m、高さ $h = 0.65$ m の 6 ton クラスのブルドーザに相当するので、その縮尺率 λ_0 は、

$$\left. \begin{array}{l} b \text{ について, } 3.5 : 2.6 = 7 : \lambda_0 \\ h \text{ について, } 0.9 : 0.65 = 7 : \lambda_0 \end{array} \right\} \text{よりはおなじ } \lambda_0 \text{ をもとめることがで}$$

きる ($\lambda_0 = 5.1$)。

したがって建設機械化研究所における模形実験結果の値を、このリモートコントロールトラクタの実質 6 ton クラスのブルドーザの場合の実際の掘削深さ t の平均 3 cm (0 ~ 5 cm) から、模形実験結果の掘削深さ t' を上述の縮尺率 λ_0 から推定し、

$t' = \frac{t}{\lambda_0} = \frac{3}{5.1} = 0.6$, 建設機械化研究所の模形実験結果の中からこれにちかい $t' = 0.8$ をとり、切削抵抗 $P_h = \alpha_c \cdot b$ の掘削後ドーザによる運土量の一番多い場合すなわち掘削終期の値をよみとれば、 $P_h = 24.6$ kg (ただし $\varepsilon = 1.74$)。

$$\text{このときの } \alpha_c = \frac{P_h \cdot \lambda_0^2}{b} = \frac{24.6 \times 5.1^2}{260} = 2.46 \text{ kg/cm}^2 \text{ をうる。}$$

したがって、このリモートコントロールトラクタのドーザにいっぱい掘削土が堆積されて掘削排土しているときの掘削排土総抵抗 R_d は、

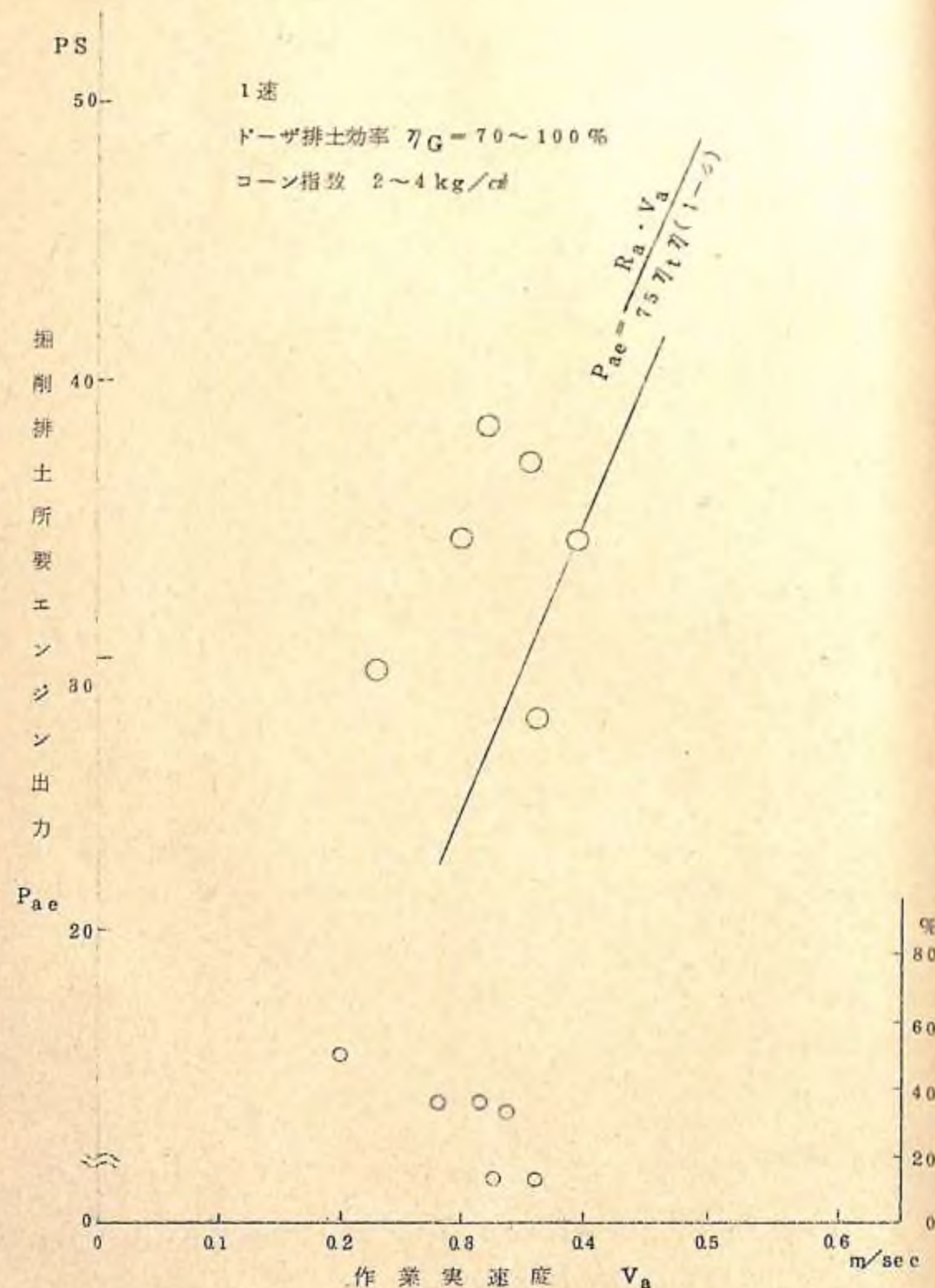


図 14

$$R_d = R_{d0} + R_r = \alpha_c b t + R_r$$

$$= 2.46 \times 260 \times 3 + 1000 = 2920 \text{ Kg}$$

掘削排土出力 P_d は前述理論式より、上述検討をくわえた各値を代入することにより、図 14 にしめした実線のとおりもとまり、実測値とはほぼ適合しているといえる。

4-5 リモートコントロールトラクタの掘削排土作業サイクルタイムおよび土工作業性能

リモートコントロールトラクタに、前進、後進、ドーザ上げ、ドーザ下げ、速度段 1 速の 5 要素作業を自記させることのできるタコグラフ改造のワークグラフをとりつけて測定記録させるとともに、掘削排土作業のタイムスタディを併行して実施した。

対象林地はカラマツ 50 年生の林道建設予定林地で、片切片盛箇所であった。

一般に土工作業のサイクルタイム C_m (sec) は、

$$C_m = \left(\frac{1}{V_{a1}} + \frac{1}{V_{a2}} \right) \ell + t_g$$

ここで ℓ : 平均掘削排土距離 m

V_{a1} : 前進速度 m/sec

V_{a2} : 後進速度 m/sec

t_g : ギヤ入替に要する時間および加速時間 (sec)

実際の分析結果からもとめたリモートコントロールトラクタのサイクルタイムは、

$$C_m = 2.689 \ell + 10.17$$

また従来の同クラスの CT-35 ブルドーザのサイクルタイムを、同一場所の林地でのタイムスタディの結果からもとめたものは、

$$C_m = 4.11 \ell + 9.2 \quad \text{であった。}$$

この CT-35 ブルドーザのサイクルタイムは、他の箇所での従来の実測値にくらべて、前後進の速度がおそすぎるきらいがある。

しかし、リモートコントロールトラクタは、乗車せずにドーザの掘削排土状況をよくみながら、押ボタンと切替つまみの操作の簡単な制御器による操縦だけで作業することができるので、同一条件下では、同クラスの従来のブルドーザより短いサイクルタイムをもっているといえることができる。

図15は土工指針その他から推定あるいは実測された従来のブルドーザのサイクルタイムとの比較例である。

リモートコントロールトラクタおよびCT-85ブルドーザの運転時間1時間あたりの土作業量の実測結果は、表1のとおりで、リモートコントロールトラクタは、全クラスの従来のブルドーザよりすぐれた土作業性能をもっているといえることができる。

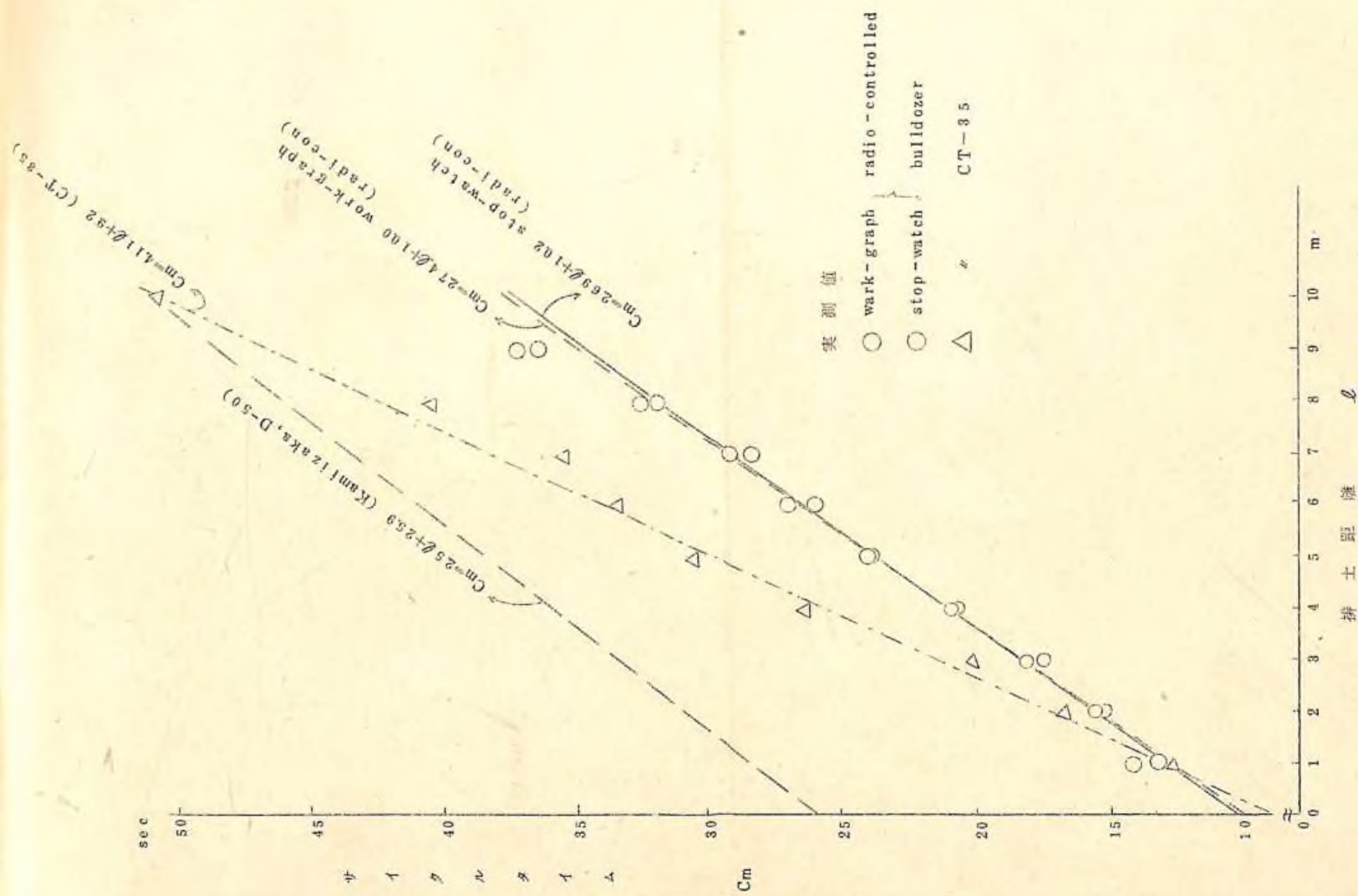


図 15

表1 リモートコントロールトラクタの土工作業性能

機 種		リモートコントロールトラクタ		従来のブルドーザ (CT 35)	
運 転 時 間		361.07		726.19	
実効1時間あたり 排 土 量		296 m ³ /hr		172 m ³ /hr	
要 素 作 業 時 間 分 析 (平 均)	前 進	91 sec	38.7%	138 sec	45.4%
	停 止	3.5	1.4	4.3	1.4
	後 進	6.9	2.8	9.4	3.1
	停 止	4.0	1.7	2.8	0.9
	計	235	100.0	303	100.0
	前 進	9.3	39.6		
	停 止	1.8	7.7		
	後 進	8.9	37.6		
	停 止	3.6	15.1		
	計	23.6	100.0		
サイクルタイム		$C_m = 2689L + 1017$		$C_m = 411L + 92$	
備 考	根 株 数	1048本/ha		786本/ha	
	根 株 直 径	15~35 cm		11~32 cm	
	林 地 傾 斜	5.4°		5.4°	

5. リモートコントロールトラクタの集材性能

5-1 リモートコントロールトラクタの登坂出力

リモートコントロールトラクタの林地斜面（勾配 θ° ）を登はんする場合に要する出力 P_c (PS) は、次式よりもとめることができる。

$$P_c = \frac{W_t (f_t \cos \theta + \sin \theta) V_a}{75 \cdot \eta_0 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 (1-s)}$$

図16は、登坂勾配別、速度別の登坂出力のテレメータリングによる計測車を利用した実測値と、上式による計算値（実線）とをしめしたもので、計算値は実測値とよく適合しているといえることができる。

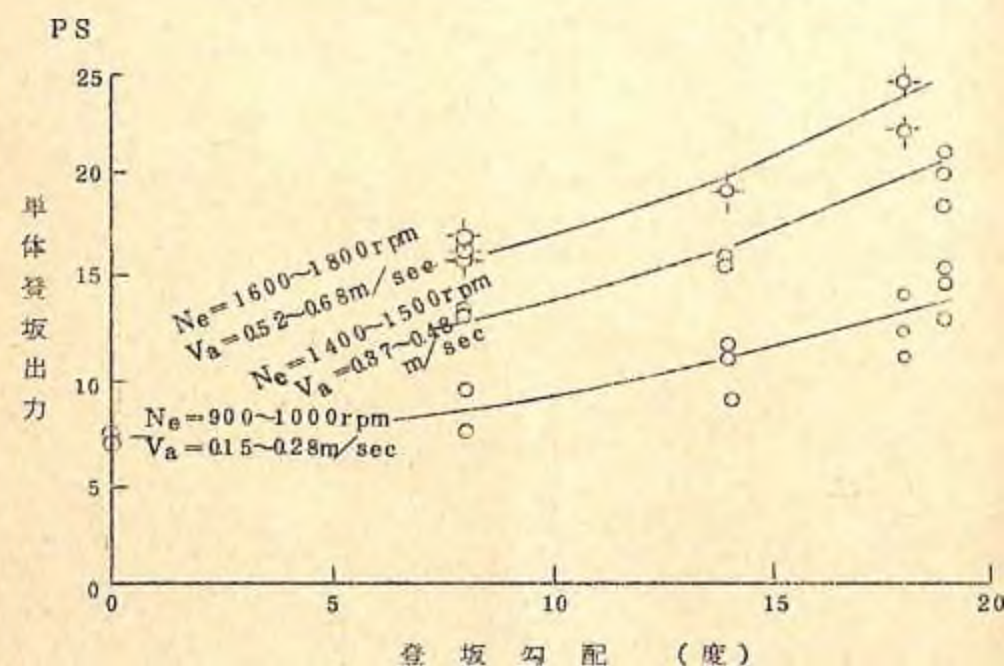


図16 登坂勾配と所要動力

5-2 リモートコントロールトラクタの集材出力

リモートコントロールトラクタの全幹集材に要するけん引出力 P_s (PS) は、次式よりもとめることができる。

$$P_s = \frac{[W_t (f_t \cos \theta + \sin \theta) + f_t W_w (f_w \cos \theta + \sin \theta) \sin \beta + W_w (f_w \cos \theta + \sin \theta) \cos \beta] V_a}{75 \cdot \eta_0 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 (1-s)}$$

ここで、 f_t :トラクタ走行抵抗係数=0.066+0.05 V_a (笹生地), W_w :集材木の全重量(kg), f_w :集材木の被けん引抵抗係数=0.75, β :集材索のけん引角度($^\circ$)。

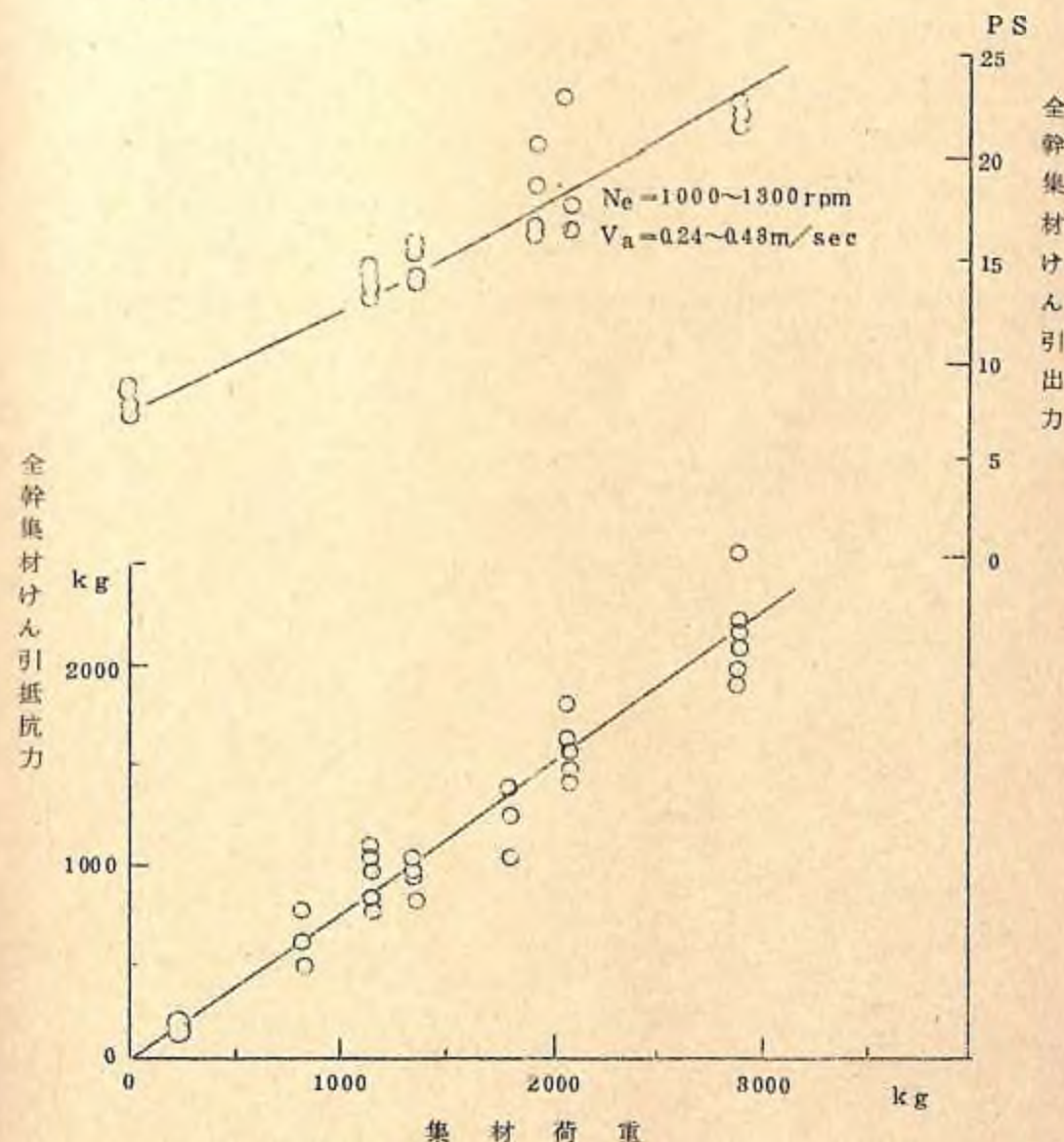


図17 集材荷重とけん引抵抗およびけん引出力

図17は、カラマツ50年生全幹集材（直径10～25cm，材長10～18m）のけん引抵抗および全幹集材出力のテレメータリングによる計測車を利用せる実測結果で，上述の理論式で計算した理論値と実測値はよく適合しているといえることができる。

5-3 リモートコントロールトラクタの集材作業性能

リモートコントロールトラクタを運転手兼荷掛手1名で無線遠隔操作して，カラマツ50年生，直径10～25cm，材長10～18m，集材林地傾斜5～10°，集材距離150～200m，1回あたり集材本数10～15本の条件下で，実幹集材した場合の作業性能について，タイムスタディをおこない，同一箇所におけるCT-35トラクタによる運転手1名，荷掛手1名，計2名での集材作業性能と比較した結果は，表2のとおりである。すなわち，リモートコントロールトラクタの拘束時間8時間実働率0.6のときの1人1回あたり作業性能は25.35m³/人日で，CT-35トラクタの全条件下での作業性能14.63m³/人日より相当すぐれた性能をしめした。

このほか，運転手がトラクタに乗車せずに無線遠隔操作できることは，運転手の労働安全上もすぐれた効果を期待することができる。

表2 リモートコントロールトラクタの集材作業性能

機 種		リモートコントロールトラクタ		従来のクローラトラクタ (CT35)		
作 業 人 員		運転手兼荷掛手 1人		運転手1人 荷掛手1人		
集 材 法		カラマツ, 直径10~25cm, 材長10~18m				
集 材 距 離		150 ~ 200m				
林 地 傾 斜		5 ~ 10°				
1 回 当 り 集 材 本 数		10 ~ 15本				
1本当り集材材積(平均)		0.15 m³/本				
要素作業時間分析 (平均)	空 車 上 山	荷おろし準備	48"	3.4%	} 1'58"	97%
		方向転換	46"	3.2		
		上山	4'10"	17.6	2'38"	12.9
		小 計	5'44"	24.2	4'36"	22.5
	木 寄 せ	スリングかけ	7'15"	30.6	7'02"	34.5
		木 寄 せ	1'32"	6.5	1'53"	9.2
		トラクタ移動	20"	1.4	1'09"	5.6
		荷直し, 障害物除去	2'20"	9.9	40"	3.3
		手 待	36"	2.5	21"	1.7
		小 計	12'03"	50.9	11'05"	54.5
	積 車 下 山	下山	4'04"	17.2	3'20"	16.3
		ウインチ操作	23"	1.6	58"	4.7
		荷直し, 障害物除去	58"	4.1	25"	2.1
		手 待	29"	2.0	—	—
		小 計	5'54"	24.9	4'43"	23.1
	合 計		23'41"	100	20'24"	100
1人1日あたり 作 業 性 能		25.35 m³/人日		14.63 m³/人日		

備考 1日作業時間8時間，実働率0.6，実働時間4.8時間

5-4 リモートコントロールトラクタの集材経済性能

上述してきた試験結果をもとに、リモートコントロールトラクタの経済性に検討をくわえた結果は、表 8 のとおりである。

リモートコントロールトラクタに対して、その集材ウインチの機構のみを無線遠隔操作ができるようにリモートコントロール化し、空車上山、集材走行は運転手1名が乗車しておこない、集材索のばし、スリング掛け、木寄せ集材等は、運転手が荷掛手を兼ねて1名でおこない、機械償却費の軽減ができるようにかんがえたセミリモートコントロールトラクタによる集材の場合も想定して、従来のトラクタによる集材の場合の経済性能について比較をおこなった。

これによると、トラクタライフ 6000 時間のとき、セミリモートコントロールトラクタによる1人集材作業の場合のカラマツ人工林50年生地帯における単位集材材積あたり集材経費は5987円/ m^3 で、従来のトラクタによる2人1組集材作業の場合の6171円/ m^3 より有利となる。

したがって、集材経済性能に関しては、この辺の機械開発が当面の実用化目標となるものと推定されよう。

もっとも、前章で論述したリモートコントロールトラクタの土工作業では、労働生産性のみならず労働安全を期待できるので、このトラクタの装備重量にみあった急峻山地における林道および作業道作設経済性能は、条件次第で好結果を期待できるものとおもわれる。

表8 集材作業経費 (草津署カラマツ人工造林地50年生)

(4711)

種 別	ト ラ ク タ			賃 金		作 業 性 能					1 日 の 集 材 経 費			集 材 材 積 当 り 経 費 円 / m³
	価 格 (万 円)	耐 用 年 数	機 械 費 (円 / h r)	円 / 人 日	所 要 人 数 × 日 当	集 材 サ イ ク ル	集 材 本 数 本 / 回	1 日 集 材 回 数 回 / 日	1 日 集 材 本 数 本 / 日	1 日 の 集 材 材 積 m³ / 日	機 械 費 円	人 件 費 円	計 円	
普通集材トラクタ	365	$\frac{6000 \text{ hr}}{5 \text{ 年}}$	1536	3000	$3000 \times 2 \text{ 人}$ = 6000 (運 転 手 + 荷 掛 手)	分 秒 2024	$8316 =$ 138 本 / 回	14	1933	290	12288	6000	18288	6171
普通集材トラクタ + ウインチリモコン	445	$\frac{6000 \text{ hr}}{5 \text{ 年}}$	1728	3000	$3000 \times 1 \text{ 人}$ = 3000 (運 転 手)	2024	138	14	1933	290	13784	3000	16784	5787
							113	14	1582	237	#	#	#	7082
リモートコントロール トラクタ	600	$\frac{7500 \text{ hr}}{6 \text{ 年}}$	1801	3000	$3000 \times 1 \text{ 人}$ 3000 (運 転 手)	2341	$136 / 12 =$ 11.3 本 / 回	12	135.8	204	14408	3000	17408	9004
	伐 木 本 数 本 / h a	1 日 集 材 本 数 本 / 日	所 要 日 数 日	1 日 当 り 円 / 日	円 / h a	材 積 m³ / h a	(1) 普通集材トラクタ+ウインチリモコンは、普通集材トラクタおよび、リモートコントロールトラクタの作業性能の両方について計算した。							
普通集材トラクタ	1000	1933	5.17	17896	92522	150	(2) 集材地の条件 傾斜 5 ~ 10 度 下げ荷全幹材集材							
普通集材トラクタ+ ウインチリモコン (セミリモートコントロール トラクタ)	1000	1933 1582	5.17 6.32	16784	86773	150	集材距離	100 ~ 150 m						
					106075	集材木 直径	10 ~ 25 cm							
						長	10 ~ 18 m							
リモートコントロール トラクタ	1000	135.8	7.36	18368	135188	150	材積	0.1 ~ 0.2 m³ / 本						

(1) 普通集材トラクタ+ウインチリモコンは、普通集材トラクタおよび、リモートコントロールトラクタの作業性能の両方について計算した。

(2) 集材地の条件 傾斜 5 ~ 10度 下げ荷全幹材集材
集材距離 100 ~ 150 m
集材木 直径 10 ~ 25 cm
長 10 ~ 18 m
材積 0.1 ~ 0.2 m³/本