

# 枝打ち機械の作業工程について (1)

—上昇速度の増加—

竹内 典之・寺川 仁・瀧本 義彦  
藤井 禧雄・山本 俊明・佐々木 功

On the operational efficiency of a pruning machine

—Increase of climbing speed—

Michiyuki TAKEUCHI, Hiroshi TERAKAWA, Yoshihiko TAKIMOTO,  
Yoshio FUJII, Toshiaki YAMAMOTO and Isao SASAKI

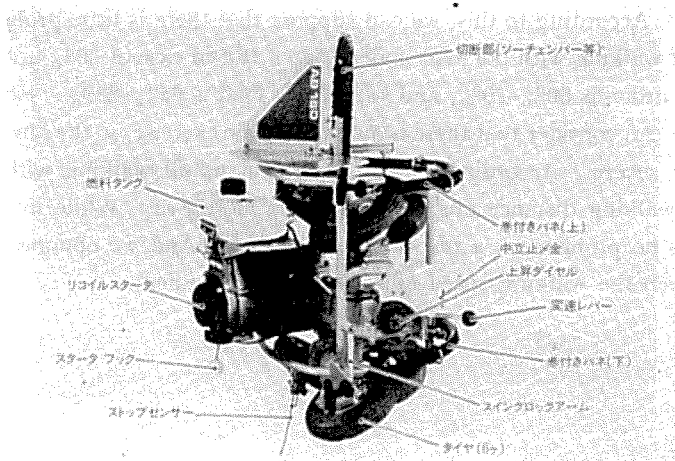


写真1 自登式枝打ち機械 (取扱説明書より)

## 要 旨

近年わが国でも、数種類の自登式枝打ち機械が製作・販売されるようになり、われわれもS社製の枝打ち機械について工程調査を行った<sup>1)</sup>。その後、上昇時間を短縮するために、駆動系の減速比を変えることにより駆動輪の回転数を従来より25%、39%、53%増加させた試作機を製作し、それらについて前回と同じく京都大学和歌山演習林のヒノキ、スギを対象としてタイムスタディにより作業時間等の変化を調べた。その結果、約1.6 m/分であった実測上昇速度が最高2.5 m/分にまで増加し、ほぼ駆動輪の回転数の増加に見合った上昇速度の増加がみられた。また、トラブルの増加や枝打ちによる上昇速度の低下は特にみられなかったので、この範囲での速度増加は

作業工程を向上させるためには有効だと考えられる。

同時に、遊動輪の数を増加させた仕様のものについても調べた結果、従来ほど太い幹径での上昇速度の低下がみられず、比較的太い木には有効であると思われた。また、機械の取り付け、取り外し、移動に要する時間は、林分の状況によって差があることがわかった。そして、材質に大きな影響を及ぼすと考えられる幹削りが全体の24%に生じており、今後の大きな課題である。

## はじめに

わが国の1千万 ha に及ぶ人工林は、約9割が35年生以下の成育途上の森林であり、その大半がすでに枝打ちの適期を迎えている。しかし材価の低迷、人件費の高騰、労働力の不足等の林業をとりまく諸条件の悪化により枝打ちは十分に行われているとはいえない。また、枝打ち作業は高所で刃物を振るう、危険かつ高度な技術を要する作業であり、労働者の高齢化とあまって枝打ちの実施を難しくしている。

そこで近年、作業の安全化と、さらには労働生産性の向上をめざして自登式枝打ち機械（枝打ちロボット、自動枝打機とも呼ばれている）が国内でも製作・販売されるようになってきた。この自登式枝打ち機械は、樹幹外周を螺旋状に回転上昇しながらチェーンソー等で枝を切断していく機械であり、当初は西ドイツにおいて針葉樹に対する伐倒前の枝払い・剥皮用に開発されたかなり大きな機械であった。その後わが国で国内の枝打ちの現状に合うように小型・軽量化され、さらに改良が重ねられ現在に至っている。

われわれは、昨年S社が新しく開発した枝打ち機械の試作機について、京大和歌山演習林のヒノキ、スギを対象として工程を調査し、同時に調査した手作業による枝打ちの工程と比較した<sup>1)</sup>。しかし上昇速度の増加を望む声が多く、その後駆動系の減速比を変えることによって駆動輪の回転数を増加させたいいくつかの型の機械を試作した。今回同演習林でそれらについて調査を行ったのでここに結果を報告する。

この他に、遊動輪やソーチェーンについても改良が試みられたので、これらも調査に組み込んだ。

### 1. 供試機について

#### (1) 仕様

この機械の仕様を表1に、主な付属品を表2に示した。エンジンは51.6 cc、最高出力は2.3 PSである。ミッションオイルを含めた本体乾燥重量は29.5 kgであるが（4輪仕様）、燃料・オイルを満たすと31.3 kgとなりかなりの重量である。さらに、主な付属品として、機械を運搬する時に使用する背負台、機械を木にセットする時に使用する架台が二つ、高所でのトラブル処理のため操作棒がある。燃料・オイルを満たした本体を背負い、付属品を持つと、合計37.0 kgに達し、その上に燃料タンク、ナタ、弁当等を持つとかなりの負担である。

従来のタイプについて昨年10月に工程調査を行ったが、その後、上昇速度を増加させるために駆動系の減速比を変えることによって駆動輪の回転数を表3のように25%、39%、53%増加させたものを試作し、それらについて調査した。

駆動輪は3輪で、空気圧式のトレッド付ゴムタイヤである。遊動輪の内1輪は駆動輪と同じタイヤでエンジン側下部にあり、他は、巻付きフレームに装備されている。巻付きフレームには二つの仕様があり、一つは駆動輪と同じ空気圧式ゴムタイヤの遊動輪が二つ取り付けられているもの（2輪仕様と呼ぶ）で、もう一つは遊動輪が非空気圧式の硬質ゴムタイヤが二つ取り付けられ

表1 仕様表

形 式		AB 160	備 考
機 体 寸 法	全 長 (mm)	540	
	全 幅 (mm)	590	
	全 高 (mm)	795	
本体乾燥重量 (kg)		29.5	4輪仕様, 実測 ミッションオイルを含
本体装備重量 (kg)		31.3	ガソリン, オイル満
エ ン ジ ン	形 式	TD 51	電子エンジン
	最大出力 (PS)	2.3	
	排気量 (cc)	51.6	
	始動方式	リコイルスターター	
駆 動 輪		空気圧式3輪ソフトタイヤ	2.00-4
鋸 断 装 置		チェーンソー方式	
停 止 装 置		センサーによるオートストップ	
注 油 方 式		完全自動注油	チェーンソー専用オイル

注) 重量以外は取扱説明書より

表3 減速比

表2 主な付属品		表3 減速比			
付 属 品	摘 要	減速比型	減速比	エンジン8000rpm時駆動輪回転数 (rpm)	駆動輪回転数比 (%)
背 負 台	1.7 kg, ロープで固定	1 型	1/936	8.55	100
架 台	1.0 gk×2, 鎖で木に固定	2 型	1/748	10.70	125
操 作 棒	2.0 kg, 収納時 1.5 m, 伸長時 6 m	3 型	1/674	11.87	139
		4 型	1/610	13.11	153

たもの(4輪仕様と呼ぶ)であり、互換可能である。これら2通りの巻付きフレーム仕様に関しても調査を行った。

## (2) 特 徴

この供試機の特徴として

- 駆動輪, 遊動輪(2輪仕様のみ)とも空気圧式の大径ソフトタイヤ(直径 20 cm)を使用し、タイヤ圧着による幹へのダメージを小さくしている。
- 駆動系は完全密閉のメンテナンスフリー。
- セットした位置から高さ 4 m までの上昇中は木の曲りに対して、幹から切断部を離して上昇するスイングロック方式。
- 上昇ダイヤルでセットされた上昇を終えると、自動的に下降ギヤに変速されると同時にエンジンはアイドル時回転数(5000 rpm)に下げられ下降する。そして機械の下方に突出しているストップセンサーに何か触れることによってエンジンが停止する。
- 幹径約 20 cm から 6 cm までの範囲の枝打ちが可能。最大切断可能枝径は、ヒノキ 3 cm, スギ 3.5 cm 程度である。

○チェーンソーの先端が枝の付け根に食い込んでエンストを起すのを防ぐために、バーの先端にガードを取り付けるとともに、過負荷がかかると切断部が下に沈み込む機構を備えている。したがってバーの先端に枝が来ると、ガードにかかる力の垂直分力で切断部が押し下げられ、一旦枝を避けて幹の周囲をさらに一周してからバーの中央付近でその枝を切断するように工夫されている。

○蝶番状の一体式で、2本のコイルバネの力を用いて木に巻付く機構をとっている。等がある。

## 2. 調査方法

### (1) 調査方法

調査は和歌山有田郡清水町にある、本学和歌山演習林で行った。樹種の違いによる工期の差を明らかにするために、ヒノキ・スギの調査プロットを設定した。調査プロットの概要は表4に示す。

作業は、同演習林の職員・作業員の方々計3人をお願いした。作業者は、調査に入る前に枝打ち機械使用の練習を2日間しており、手作業による枝打ちも表5のとおり10年以上の経験を積んでいる。

表6で示すように、1984年10月1日から5日までは、標準1型・2輪仕様の枝打ち機械A、Bの2台を供試機として、ヒノキ1、スギ1の調査プロットで機械による枝打ち作業を行うと同時に、同様の条件でのナタによる手作業枝打ちを行い、タイムスタディを実施した。この間は、午前・午後それぞれ1.5～2.5時間の作業について調査した。その後、前述したように、駆動系の歯車を取り替えることによって減速比を変えて駆動輪回転数を増加したものが試作され、12月20日以後順次調査を行った。さらに、脱輪を防ぐためと、幹の曲りや表面の凹凸に対処するため等の目的で、4輪仕様が開発されたのでこれについても調査を行った。また、切刃の刃数を従来のもの（シングル刃と呼ぶ）の2倍にしたソーチェーン（ダブル刃と呼ぶ）も調査に組み込んだ。12月20日以後は、1回あたり15本程度の枝打ち作業について調査した。

なお、2台の枝打ち機械を3人の作業員で操作することも検討したが、普通の林地では1台を1人で扱えると判断したので行わなかった。

機械作業の場合、10月の調査ではほとんど選木を行わず、少々曲りがある木に対しても枝打ち

表4 調査プロットの概要

調査プロット	ヒノキ 1	ヒノキ 2	スギ 1
場 所	京大和歌山演習林11林班	同 10林班	同 7林班
標 高	880～960 m	1000～1030 m	690～760 m
平均 DBH	12.4 cm	16.3 cm	14.0 cm
立木密度	4000本/ha	1900本/ha	2800本/ha
平均傾斜	34°	10°以下	32°
林地の状況	高さ1mくらいの下層木が疎生。また下層木の切株がある。部分的に急傾斜があり歩きにくい。	尾根上であり傾斜は緩い。下層木も少なく歩き易い。	枝打ち前の林地は極めて暗いので林内植生はほとんどなし。枝打ち後は多量の落枝のためやや歩きにくい。枝はかなり枯れ上がっている。

表5 作業者

作業者	A	B	C
年齢	38才	44才	45才
身長・体重	166 cm 52 kg	167 cm 53 kg	162 cm 60 kg
森林作業の経験	13年	28年	21年
枝打作業の経験	13年	16年	10年

表6 調査日時

日付	回	調査プロット	機械 A				機械 B				手作業	備考
			作業者	減速比	巻付きフレーム	刃	作業者	減速比	巻付きフレーム	刃		
10. 1	1	ヒノキ1	A	1型	2輪	S	B	1型	2輪	S	C	晴
〃	2	〃	C	〃	〃	〃	A	〃	〃	〃	B	晴
10. 2	1	ヒノキ1	B	1型	2輪	S	C	1型	2輪	S	A	晴 機械B不調 スリップ多
〃	2	〃	—	〃	〃	〃	—	〃	〃	〃	B	晴
10. 3	1	スギ1	B	1型	2輪	S	C	1型	2輪	S	A	晴
〃	2	〃	A	〃	〃	〃	B	〃	〃	〃	C	晴のち雨 機械B 不調, 途中で中止
10. 4	1	スギ1	C	1型	2輪	S	A	1型	2輪	S	B	晴
〃	2	〃	A	〃	〃	〃	B	〃	〃	〃	C	晴
10. 5	1	{スギ1 ヒノキ1	—	—	—	—	C	1型	2輪	S	B	曇
〃	〃	〃	—	—	—	—	—	—	—	—	A	曇
12. 20	1	スギ1	A	2型	2輪	S	C	4型	2輪	D	—	晴
〃	2	〃	C	〃	〃	D	A	〃	〃	S	—	晴
〃	3	〃	C	〃	4輪	〃	A	〃	〃	〃	—	晴
12. 21	1	ヒノキ2	C	2型	2輪	D	A	4型	2輪	S	—	曇
〃	2	〃	A	〃	〃	S	C	〃	〃	D	—	曇
1. 25	1	スギ1	A	3型	4輪	S	B	3型	4輪	S	—	晴
3. 1	1	スギ1	A	3型	2輪	S	C	3型	2輪	S	—	曇

を行ったが、12月20日以後は、トラブルのもとになる曲り等のある木は除外した。また、手作業についても、機械作業についても、打上げ高は各作業者に一任した。手作業では、ヒノキの枝打ち作業には2mの1本梯子、スギの枝打ち作業には4mの1本梯子が用いられた。枝打ち木の順番は、林分の上から下へジグザグにとっていった。

このような枝打ち作業中に、後に述べる1サイクルの時間の内訳をタイムスタディで、また、終了後に枝打ち木の枝打ち後枝下高を測桿で、胸高直径を直径巻尺で測定した。

この他に、スギ1調査プロットのすでに機械で枝打ちした胸高直径約12cmの立木にいくつかのタイプの枝打ち機械を上昇させて、枝打ちをしない時の上昇速度（空上昇速度）を測定するための空上昇テストを行った。

## (2) 1サイクルの内訳

この種の枝打ち機械はまだあまり普及していないので、この枝打ち機械を用いた一般的な作業の手順と、タイムスタディで計測した1サイクルの時間の内訳を図1で説明する。図1の上段が枝打ち機械の動き、中段が計測した時間、下段が作業者の主な作業である。

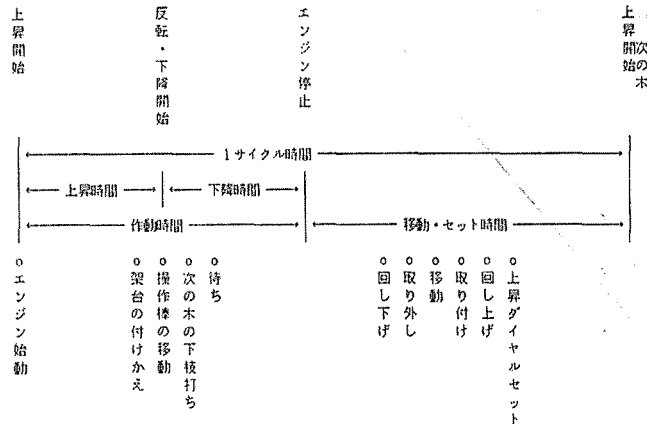


図1 1 サイクルの内訳

エンジンを始動して枝打ち機械が上昇を始めた時を1サイクルの開始とする。上昇ダイヤルでセットした高さだけ機械が上昇すると自動的に反転して下降を始め、ストップセンサーが架台に触れるか、もしくは作業者がストップセンサーに触れることによりエンジンが停止する。ここまでの上昇時間と下降時間の合計、すなわちエンジンが動いている時間を作動時間とする。この間作業者は、架台の付けかえ、操作棒の移動、そして枝打ち前の枝下高が低い林分（約2m以下）の場合は立木に枝打ち機械をセットしにくいのであらかじめ下枝をナタ等で打っておく下枝打ち等を行う。時間が余れば、機械がおりてくるまで待ち時間となる。エンジンが停止してからは、回し下げ、取り外し、次の木への移動、取り付け、機械を木になじませるためとエンジンをかけ易い高さにするための回し上げ、上昇高をセットするための上昇ダイヤルセット等作業者が行う。そして、次の木のエンジン始動までで1サイクルが完了する。このエンジン停止から次の木でのエンジン始動までを移動・セット時間とする。

### 3. 結果及び考察

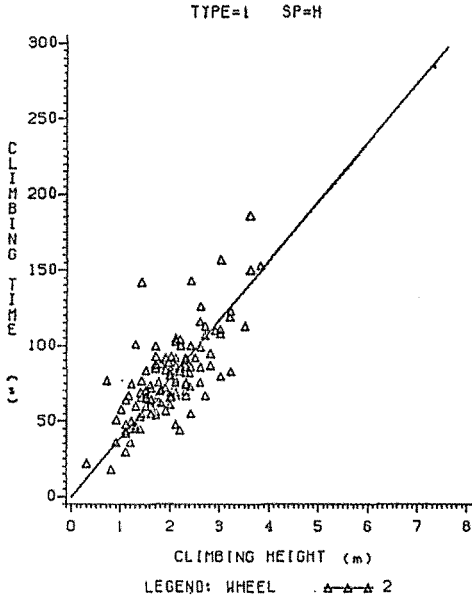
手作業枝打ちに関する結果はすでに報告してあるので<sup>1)</sup>ここでは省略し、機械作業についてのみ検討する。枝打ち機械作業についての調査結果を減速比、調査プロット、巻付きフレーム仕様、ソーチェーンの刃ごとの平均で示したのが表7である。

しかし、それぞれ条件や要因がまちまちなので、1サイクルを図1で示した上昇時間、下降時間、移動・セット時間、トラブル時間に分割して、それぞれについて検討していく。

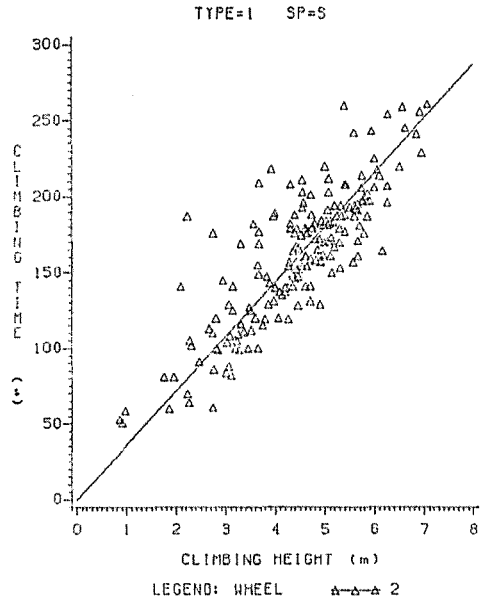
#### (1) 上昇時間

上昇時間と上昇高の関係を図2に示す。上昇高とは、枝打ち機械が上昇を開始した時のチェーンソーの先端の高さから上昇を終えた時の高さ、すなわち枝打ち後枝下高までの垂直距離である。図2の各図に示されるように、それぞれのタイプでは上昇時間と上昇高はほぼ正比例している。これは、枝打ち機械の上昇速度が機械のタイプによってほぼ一定なためである。表8には、減速比、調査プロット、巻付きフレーム仕様ごとの上昇速度の平均、空上昇テストより求めた空上昇速度、そして1型の平均上昇速度にそれぞれの駆動輪回転数比をかけた期待上昇速度を表した。なお、上昇速度はm/分単位で表すことにする。

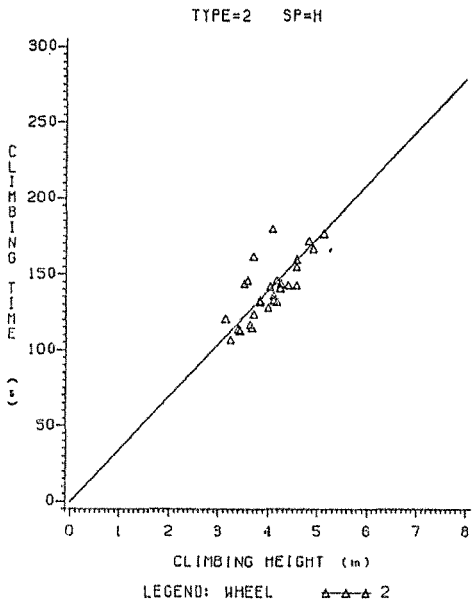
上昇速度に影響を及ぼす因子として、減速比、対象林分の樹種、巻付きフレーム仕様、ソーチ



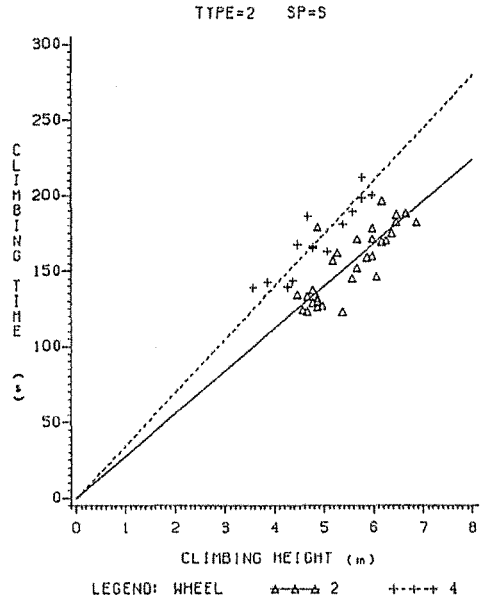
(1) 減速比1型 ヒノキ



(2) 減速比1型 スギ



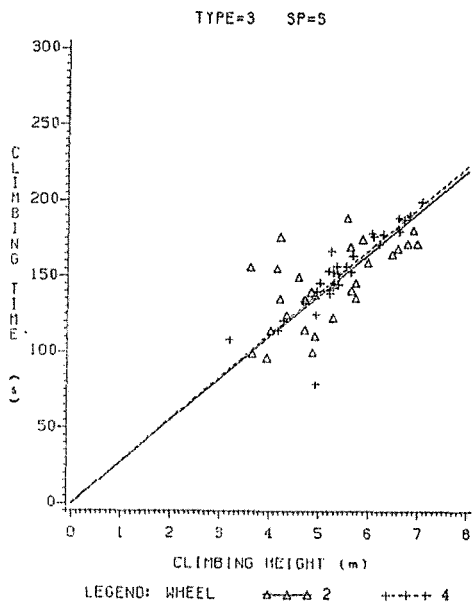
(3) 減速比2型 ヒノキ



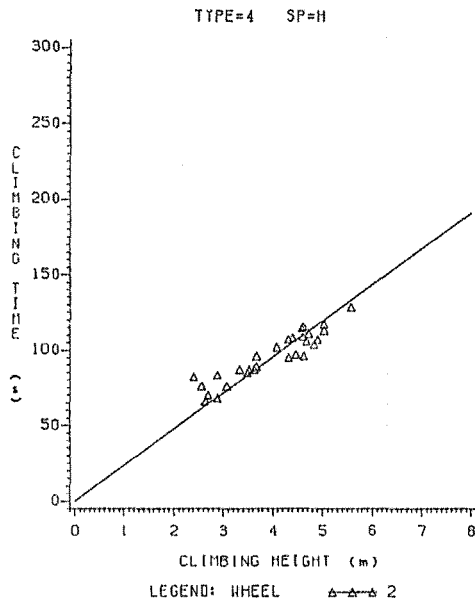
(4) 減速比2型 スギ

エーの刃、胸高直径が考えられる。そこで、要因を整理するために、これらを因子とし上昇速度を従属変数とし共分散分析をした結果が表9である。これによれば、減速比、樹種、胸高直径が1%水準で、巻付きフレーム仕様が5%水準で有意であった。刃については、ダブル刃の方がシングル刃よりやや早いものの、5%水準でも有意ではなかった。

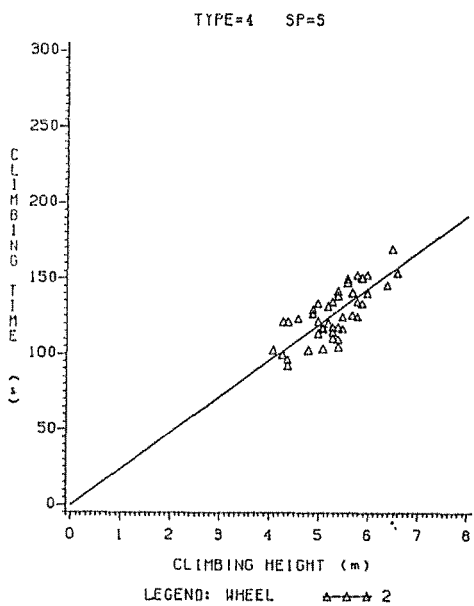
この他に、枝切断抵抗による上昇速度の通減が考えられるが、表8の空上昇速度と比較すると、



(5) 減速比3型 スギ



(6) 減速比4型 ヒノキ



(7) 減速比4型 スギ

図2 上昇時間と上昇高の関係  
直線は、原点から引いた。  
 $\triangle$  : 巻付きフレーム2輪仕様  
+ : 4輪仕様

4型ではやや後者が劣るものの、一定の傾向は認められない。また、上昇速度と、上昇時間に対する枝打ちをしながら上昇する時間の割合（枝打ち上昇時間率と呼ぶ）との関係を図3に示した。しかしばらつきがかなり大きく、一定の関係は認められなかった。なお、枝打ち機械AとBの上昇速度の差は、A型がやや速いものの、1型についてt検定した結果、5%水準でも有意とはいえなかった。



表7 調査結果

減速比	調査プロット	巻付フレーム	刃	枝打ち木本数	1サイクル時間(s)	枝打ち木本数/h	上昇時間(s)	下降時間(s)	作動時間(s)	移動・セッット時間(s)	トラブル時間(s)	上昇速度(m/min)	下降速度(m/min)	枝打ち後枝下高(m)	胸高直径(cm)
1型	H1	2輪	S	133	250.4	14.4	77.9	31.9	109.8	120.1	22.4	1.55	4.77	3.65	12.4
//	S1	//	//	188	311.4	11.6	162.5	59.4	221.9	82.4	12.4	1.67	5.31	6.22	14.4
2型	H2	2輪	S	13	302.3	11.9	134.5	64.2	198.9	88.6	16.2	1.69	4.10	5.68	16.8
//	//	//	D	15	314.6	11.4	145.2	65.8	211.0	84.6	17.5	1.76	4.63	6.34	16.9
//	//	//	S+D	28	309.0	11.7	140.3	65.1	205.6	86.4	17.0	1.73	4.39	6.03	16.9
//	S1	//	S	16	333.8	10.8	164.3	83.9	248.3	70.1	10.6	2.17	5.03	7.63	13.5
//	//	//	D	15	280.1	12.9	147.1	47.9	195.0	76.2	9.3	2.14	7.03	6.77	13.3
//	//	//	S+D	31	307.9	11.7	156.0	66.5	222.5	73.0	10.0	2.16	6.00	7.21	13.4
//	//	4輪	D	14	331.7	10.9	170.7	60.9	231.6	74.4	25.7	1.71	5.40	6.54	13.3
3型	S1	2輪	S	30	258.7	13.9	146.8	53.0	199.7	58.1	0.0	2.17	6.64	6.97	14.4
//	//	4輪	S	30	292.2	12.3	154.4	59.9	214.3	77.3	2.0	2.17	6.30	7.18	13.8
4型	H2	2輪	S	15	233.1	15.4	89.6	46.1	135.7	87.7	12.3	2.45	5.50	5.44	16.1
//	//	//	D	15	257.6	14.0	102.7	55.0	157.7	77.4	24.4	2.50	5.72	6.41	15.5
//	//	//	S+D	30	245.4	14.7	96.4	50.7	147.1	82.6	18.2	2.47	5.61	5.91	15.8
//	S1	//	S	30	265.9	13.5	127.2	68.0	195.3	67.4	4.0	2.47	4.99	6.90	14.4
//	//	//	D	15	286.3	12.6	119.7	59.6	179.6	83.8	21.8	2.61	5.74	6.96	14.4
//	//	//	S+D	45	272.4	13.2	124.7	65.4	190.3	72.6	9.8	2.52	5.23	6.92	14.4

注) 調査プロット H1:ヒノキ1 H2:ヒノキ2 S1:スギ1  
刃 S:シングル刃 D:ダブル刃

表8 上昇速度

減速比	1型	2型	3型	4型
ヒノキ 2輪仕様	1.55	1.73 (1.94)	— (2.15)	2.47 (2.37)
スギ 2輪仕様	1.67	2.16 (2.09) [2.03]	2.17 (2.32) [2.13]	2.52 (2.56) [2.75]
スギ 4輪仕様	—	1.71 [1.89]	2.17 [2.16]	—

注) 単位は m/分  
裸数字は調査値, ( ) 内は期待上昇速度, [ ] 内は空上昇速度

表9 上昇速度分散分析表

SOURCE	SS	DF	MS	F
減速比	53.637	3	17.879	213.25**
樹種	2.122	1	2.122	25.31**
巻付フレーム仕様	0.501	1	0.501	5.97*
刃	0.035	1	0.035	0.41
胸高直径	4.941	1	4.941	58.94**
ERROR	43.011	513	0.084	
TOTAL	104.247	520	0.200	

注) \*\* は1%水準で有意  
\* は5%水準で有意

表10 上昇速度の樹種間差 t 検定

(1) 1型 2輪仕様

樹種	N (データ数)	MEAN	STD DEV	
ヒノキ	131	1.54	0.386	
スギ	185	1.67	0.281	t = -3.17**

(2) 2型 2輪仕様

樹種	N (データ数)	MEAN	STD DEV	
ヒノキ	28	1.73	0.153	
スギ	31	2.16	0.182	t = -9.73**

(3) 4型 2輪仕様

樹種	N (データ数)	MEAN	STD DEV	
ヒノキ	28	2.47	0.233	
スギ	44	2.52	0.239	t = -0.76

注) \*\* は1%水準で有意

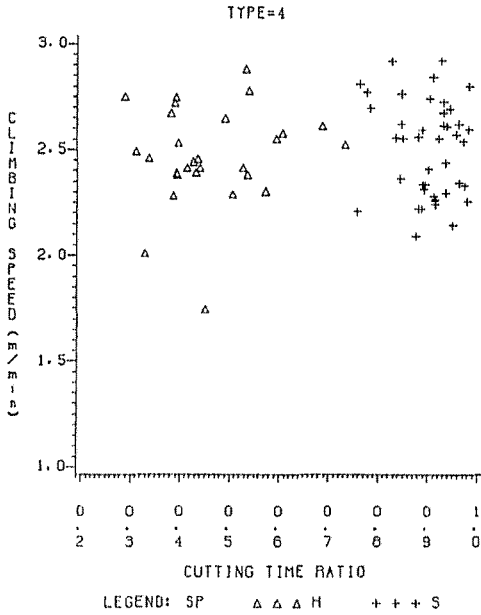
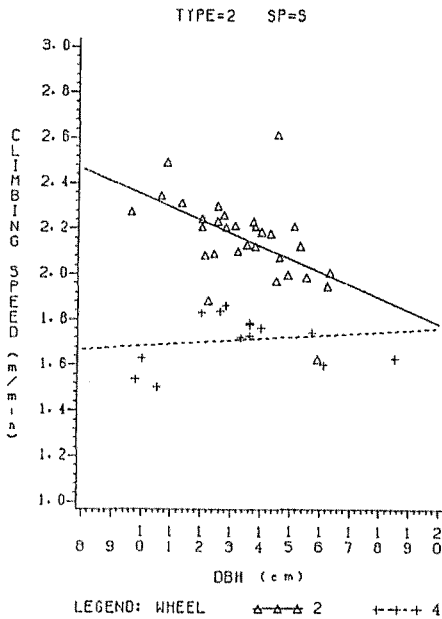


図3 上昇速度と枝打ち上昇時間率の関係  
減速比4型 △:ヒノキ +:スギ

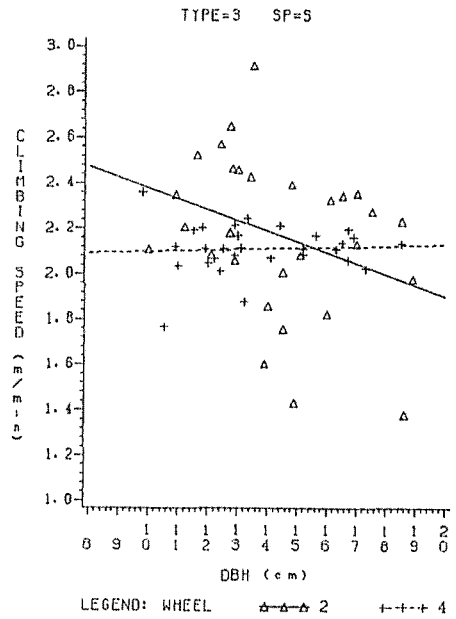
まず、表8により減速比の違いによる上昇速度の差をみると、駆動輪回転数比が大きくなるほど上昇速度は向上しており、期待上昇速度と比べても遜色がない。最高は、4型(53%増)の約2.5m/分である。従って、この程度までの範囲では、駆動輪回転数を上げた方が上昇時間の短縮には有効である。

次に、樹種の違いによる上昇速度の差を調べるために、2輪仕様について上昇速度の樹種間差を減速比ごとにt検定した結果が表10である(3型はヒノキのデータがないため欠如)。全般的にスギの場合の方がヒノキの場合に比べて上昇速度が大きい。1型の場合ではヒノキ・スギの差は1%水準で有意であるのに対し、2型、4型の場合では5%水準でも有意ではない。1型で樹種間の差が有意であった理由は、ヒノキの調査が行われたヒノキ1調査プロットのヒノキの胸高直径が小さかったり、幹表面の凹凸や曲りが大きかったうえ選木をしなかったことなどにより

上昇中に駆動輪が小さなスリップを頻発していたためと思われる。そして機械がやや不調であったことなどもあげられる。上昇速度は、幹の状態が同様であれば樹種の影響は受けな



(1) 減速比2型 スギ



(2) 減速比3型 スギ

図4 上昇速度と胸高直径の関係  
△:巻付きフレーム2輪仕様 +:4輪仕様

いはずだが、一般に通直で断面が真円に近いスギの方が枝打ち機械が登り易いといえよう。また、ヒノキの方は樹皮が剥がれ易いことも関係があるかも知れない。

そして、胸高直径と上昇速度の関係を、2型と3型について巻付きフレーム仕様ごとにシンボルを変えて示したのが図4である。平均は2輪仕様の方が速いが、より細かくみると、相関関係は強くないものの2輪仕様の場合は胸高直径が大きくなるに従って上昇速度が逓減している傾向があるのに対し、4輪仕様の場合では胸高直径が増加しても上昇速度はあまり変わっていない。その理由として、2輪仕様と4輪仕様では、遊動輪の数はもちろん、取り付け角度が微妙に異なるためだと考えられる。よって、普通の木には2輪仕様、太い木には4輪仕様というように使い分けると大きい上昇速度が得られるようである。この点については、さらに調査・検討を要する。

## (2) 下降時間

枝打ち機械が上昇を終えて下降し、ストップセンサーに架台が触れるか、作業者がストップセンサーに触ればエンジンが停止して下降が終了する。この下降終了時のチェーンソーの先端の地上からの高さを一律に1.3mとみなし、枝打ち後枝下高から1.3mを差し引いて下降高とする。下降時間とこの下降高の関係をプロットしたのが図5である。そして、これらから1分間あたりの下降高を求めて下降速度とする。全体の平均は、5.3m/分である。表7に減速比、樹種、巻付きフレーム仕様、刃ごとに下降速度を示した。この下降速度に影響を与えると思われる因子は、樹種、巻付きフレーム仕様等が考えられる。減速比については、下降時の減速比は全て共通なので下降速度の因子とはなり得ない。

まず、巻付きフレーム仕様の違いによる下降速度の差を調べるために、2型と3型についてt検定を行った結果が表11である。これによれば、全体にやや2輪仕様の方が下降速度が大きいようであるが、5%水準で有意であるとは言えない。そして図6に下降速度と胸高直径の関係を3型について巻付きフレーム仕様をシンボルとして示した。このように、直径が大きくなるに従って速度が逓減する傾向があるが、上昇速度の時ほどはっきりしておらず、巻付きフレーム仕様間の傾向の違いもない。

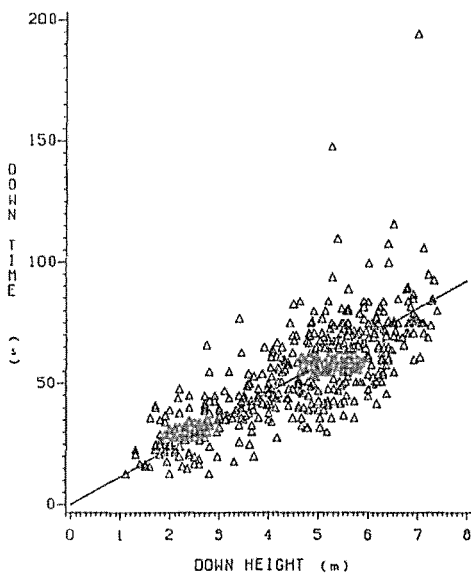


図5 下降時間と下降高の関係  
直線は、原点から引いた。

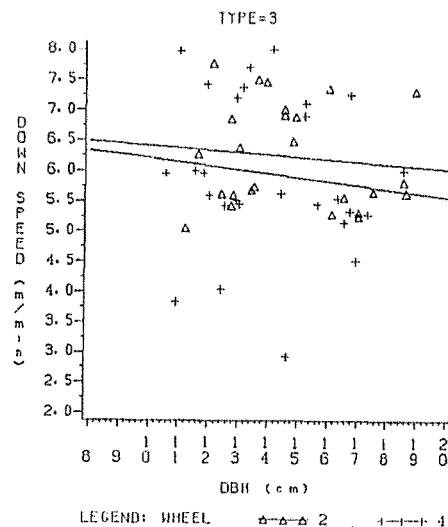


図6 下降速度と胸高直径の関係  
減速比3型 △：巻付きフレーム  
2輪仕様 +：4輪仕様

表11 下降速度の巻付きフレーム仕様間差 t 検定

## (1) 2型 スギ

巻付きフレーム	N (データ数)	MEAN	STD DEV	
2 輪仕様	31	6.00	1.563	
4 輪仕様	14	5.40	0.957	$t = -1.31$

## (2) 3型 スギ

巻付きフレーム	N (データ数)	MEAN	STD DEV	
2 輪仕様	30	6.64	1.208	
4 輪仕様	30	6.30	1.658	$t = -0.88$

表12 下降速度の樹種間差 t 検定

## (1) 1型 2輪仕様

樹種	N (データ数)	MEAN	STD DEV	
ヒノキ	121	4.77	1.436	
スギ	182	5.31	1.333	$t = -3.31^{**}$

## (2) 2型 2輪仕様

樹種	N (データ数)	MEAN	STD DEV	
ヒノキ	27	4.39	0.451	
スギ	31	6.00	1.563	$t = -5.46^{**}$

## (3) 4型 2輪仕様

樹種	N (データ数)	MEAN	STD DEV	
ヒノキ	28	5.61	0.565	
スギ	44	5.23	0.590	$t = 2.71^{**}$

注) \*\* は 1%水準で有意

そして、下降速度の樹種間差を2輪仕様のものについて減速比ごとに t 検定した結果が表12である(3型はヒノキのデータがないため欠如)。1型と4型ではその差は5%水準で有意ではないが、2型についてはヒノキの値が小さく差は1%水準で有意である。この理由ははっきりしない。また、1型と2型についてはスギの方が速いのに、4型ではヒノキの方が速い。これらのことから、下降速度の樹種間差は特に考える必要はなさそうである。

表7を再びみると、何れの場合でもダブル刃の方がシングル刃よりも下降速度が大きい。この差は5%水準でも有意ではなく理由もはっきりしないが、ダブル刃の場合は枝打ち跡が滑らかであるためにスムーズに下降するのもも知れない。

この他に機械Aと機械Bの違いによる差も考えられるが、枝打ち機械の下降速度はその時のエンジンの調子の影響を強く受けるので把握するのが難しい。図6で下降速度がかなり大きいものが見られるが、これらの中には、下降ギヤに入らずにニュートラルで降りてきたり、下降時にエンジンが異常に高回転したのも含まれている。

表13 移動・セット時間分散分析表

SOURCE	SS	DF	MS	F
調査プロット	168623	2	84312	54.47**
作業者	3538	2	1769	1.14
ERROR	773974	500	1548	
TOTAL	946136	504	1877	

注) \*\* は1%水準で有意

### (3) 移動・セット時間

移動・セット時間は、作業員、季節・天候、使用する枝打ち機械の条件（重量、運び易さ、取り付け・取り外しの容易さ等）、移動順路の選び方、そして対象林分の状況（立木密度、林地の歩き易さ等）の影響を受けられる。このうち、枝打ち機械の条件はほぼどのタイプも同じであり、移動順路も林分の上から下へジグザグに降りていく順路をとっているのも同じである。従って、季節・天候を別にすれば、移動・セット時間に影響を及ぼす因子は、林分の状況と作業員である。そこで、移動・セット時間を調査プロットと作業員を因子として分散分析を行い、その結果を表13に示した。これによれば作業員は5%水準でも有意ではなく、調査プロットのみ1%水準で有意であった。よって、調査プロットごとの平均を表14に示した。各調査プロットの状況は、表3のとおりである。やはり歩行が難しいヒノキの調査プロットでは、立木密度が4000本/haと密なのに移動・セットに約2分もの時間がかかっている。ヒノキ2の調査プロットは傾斜が緩やかにもかかわらず、かえってスギの1の調査プロットより時間がかかっている。この理由として、ヒノキ2調査プロットの立木密度が1900本/haでスギ1の2800本/haに比べて疎で移動距離が大きかったことが考えられるが、移動が林分の上から下へと傾斜を利用して行われるので、かえってある程度の傾斜がある方が移動し易いということもあるかもしれない。

このようなことから、ある林分での移動・セット時間は、林分の状況を知ることによって、ある程度推し測ることができると考えられる。

### (4) トラブルについて

枝打ち機械による枝打ちの跡をみると、幹が通直かつ凹凸が少ない場合には写真2のようにほぼ幹に沿って切断されているが、幹に曲りがあったり、こぶや枝隆がある場合には、写真3のようにソー

表14 調査プロット別移動・セット時間平均

調査プロット	データ数	移動・セット時間（秒）
ヒノキ1	128	120.1
ヒノキ2	54	84.4
スギ1	323	77.4

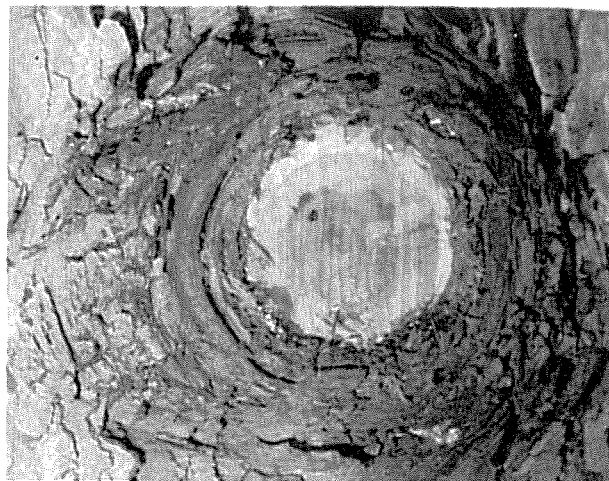


写真2 機械による枝打ちの跡（枝打ち後6ヶ月経過）



写真3 幹削り跡（枝打ち後6ヶ月経過）

ている。まず、幹削りについてみると、全体の24%に発生しており、スギよりヒノキに、そしてシングル刃よりダブル刃に多く発生している。ヒノキの方が発生頻度が高いのは、先に述べたよ

チェーンで幹を削ってしまうことがある。この幹削りは、枝打木の材質に大きな影響を与えることが予想され、この解決が枝打ち機械の大きな課題の一つである。

また、切断部が大きな切削抵抗を受けたり、幹表面に凹凸があった場合には、駆動輪が樹皮上でスリップする。このスリップは作業工程上のマイナスとなるだけでなく、剥皮による材質への影響という面でも懸念される。

そして、切断時にさらに大きな抵抗を受ると、エンジンが停止してしまい、いわゆるエンストが生ずる。

これらの主なトラブルの発生率を減速比、調査プロット、巻付きフレーム仕様ごとに表したのが表15である。また、表16には調査プロットごとに、表17には枝打ち機械ごとに集計したものを示した。なお、これらのトラブルは、あくまでも観測者が確認できた範囲のものに限られ

表15 ト ラ ブ ル 発 生 率

減速比	調 査 プロット	巻 付 き フレーム	刃	幹削り発生率	スリップ発生率	エンスト発生率
1 型	ヒノキ1	2	S	30 (0)	20 (2)	32 (8)
〃	スギ1	〃	〃	16 (0)	27 (2)	15 (2)
2 型	ヒノキ2	2	S	38 (23)	8 (0)	8 (0)
〃	〃	〃	D	47 (20)	20 (7)	20 (0)
〃	〃	〃	S+D	43 (21)	14 (4)	14 (0)
〃	スギ1	〃	S	31 (13)	0 (0)	0 (0)
〃	〃	〃	D	40 (20)	0 (0)	7 (0)
〃	〃	〃	S+D	35 (16)	0 (0)	3 (0)
〃	〃	4	D	64 (50)	0 (0)	7 (0)
3 型	スギ1	2	S	43 (20)	3 (0)	0 (0)
〃	〃	4	〃	13 (3)	3 (0)	0 (0)
4 型	ヒノキ2	2	S	0 (0)	40 (7)	13 (0)
〃	〃	〃	D	20 (0)	20 (0)	13 (7)
〃	〃	〃	S+D	10 (0)	30 (3)	13 (3)
〃	スギ1	〃	S	7 (0)	3 (0)	10 (0)
〃	〃	〃	D	20 (13)	7 (0)	27 (7)
〃	〃	〃	S+D	11 (4)	4 (0)	16 (2)

注) 発生率は百分率で表示した ( ) 内は1サイクル内で2度以上発生した率  
 巻付きフレーム 2:2輪仕様 4:4輪仕様  
 刃 S:シングル刃 D:ダブル刃

表16 調査プロット別トラブル発生率

調査プロット	幹削り発生率	スリップ発生率	エンスト発生率
ヒノキ1	30 (0)	20 (2)	32 (8)
ヒノキ2	26 (10)	22 (3)	14 (2)
スギ1	21 (6)	16 (1)	11 (3)

注) 発生率は百分率で表示した ( ) 内は1サイクル内で2度以上発生した率

表18 調査プロット別トラブル時間

調査プロット	データ数	トラブル時間平均(秒)	トラブル時間率平均(%)
ヒノキ1	129	22.4	7.3
ヒノキ2	55	17.6	5.6
スギ1	332	10.3	2.3

注)  $\text{トラブル時間率} = \text{トラブル時間} / 1 \text{ サイクル時間}$

表17 機械別トラブル発生率

機械	幹削り発生率	スリップ発生率	エンスト発生率
A	29 (7)	10 (0)	18 (4)
B	19 (3)	25 (3)	15 (3)

注) 発生率は百分率で表示した ( ) 内は1サイクル内で2度以上発生した率

うに、幹に曲りや凹凸が多いためだと思われるが、ダブル刃に幹削りが多い理由は不明である。表15によると、2型に幹削りが多発しており、4型の発生率が小さい。この理由は、表17をみればわかるように、A機の方がB機より幹削り発生率が高く、2型はA機に、4型はB機にセットしたためだと考えられる。A機とB機では枝切断時の幹とソーチェーンの間隔が微妙に異なり、A機の方が幹が通直な場合は残枝長が短くて好ましいが、少しの幹の曲りや凹凸があると幹削りを起してしまうのではないだろうか。それに対してB機では幹削りは少ないものの、そのかわり残枝長が大きく、そのためのスリップが多いと考えられる。トラブルの中で最も深刻な幹削りを避けるためには幹とソーチェーンの間隔を広くすればよいが、広すぎると残枝長が大きくなり登行が困難になる。また、残枝長が大きくなるに従って、巻込みに時間がかかることが知られている<sup>2)</sup>。よって最適の幹とソーチェーンの間隔に調整することが肝要である。

スリップしている時間や、エンストの処理に要する時間は、作業時間のロスであり、トラブル時間と呼ぶ。このトラブル時間の1サイクルあたりの平均は表7に示したとおりである。これを調査プロットを因子として分散分析をした結果、1%水準で有意であった。そこで表18に調査プロットごとの平均を示す。これをみれば、ヒノキで20秒で1サイクル時間の6~7%にあたり、スギで10秒前後で1サイクル時間の2%程度であった。なお、上昇高とトラブル時間の関係は明らかではなかった。

また、減速比を変えて駆動輪回転数を増加させても、トラブルの発生頻度やトラブル時間の増加は特にみられなかった。

## おわりに

駆動輪の回転数を増加させることにより期待どおりの上昇速度の向上がみられ上昇時間が短縮された。また、ヒノキとスギではスギの方がやや上昇速度が大きいものの、決定的な差はないと考えられる。巻付きフレーム仕様については、平均すると2輪仕様の方が速いものの太い木では4輪仕様を用いる方が速いようである。

上昇速度の向上はみられたものの、下降時の駆動輪回転数はそのままである。今後は下降速度の増加も考えられるべきであろう。そして、現在の本体重量は約30kgで急傾斜地での作業には不向きである。機械の軽量化や運搬をし易くすることによって、労働負担の軽減と移動・セット時間の短縮が図られるべきである。

もう一つの大きな課題は、幹削りの克服である。曲りのひどい木は別として、一見して通直と



思われるくらい曲りの小さい木に対しても幹削りを起していることは、実用に供する上で深刻な問題である。駆動輪のスリップによるものも含めた樹幹の損傷については、すでに藤森<sup>3)</sup>、平松<sup>4)</sup>らによって述べられている。やはり切断部と幹表面の間隔を常に一定に保つ機構が必要であろう。

また、心持正角柱材生産のための小型の枝打ち機械、複層林施業における上木の受光枝打ちや伐倒前の枝払い用の比較的太い木にも使用できる枝打ち機械の開発が提言され<sup>3,5)</sup>一、二のメーカーがシリーズ化を検討しているという<sup>4)</sup>。とりあえず、現在のS社製の枝打ち機械では

○人力では、作業しにくかったり危険であるような高所の枝打ち作業

○枝打ちによる上昇速度の低下がほとんどみられなかったので、一度の打上高が大きいような枝打ち作業、たとえば枯枝のドカ打ち

等に功程の面で有利であろう。

今後は、枝打ち機械による枝打ち跡の追跡調査や枝打木の材質調査、そしてこの枝打ち機械による枝打ち作業の標準功程の算出、手作業や他の枝打ち機械の功程との比較等に取り組んでいきたい。

なお、S社は駆動輪回転数比139%の3型そして4輪仕様を今後標準タイプとして市販することのことである。今後この枝打ち機械がどのように利用されていくのか、見守って行きたい。

計算には京都大学大型計算機センターの統計解析パッケージ(SAS)を用いた。

最後に、この調査で実際に作業に当たっていただいた京都大学和歌山演習林の方々、枝打ち機械を借用させて下さったセイレイ工業株式会社の方々に感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 寺川仁他：枝打ちの作業功程と生理的負担——枝打ちの作業功程——，第96回日林講，1985（投稿中）
- 2) 竹内郁雄他：枝打ち跡の巻込みに関する研究，林誌研報：292：161～180，1977
- 3) 藤森隆郎：枝打ち——基礎と応用——，日本林業技術協会：151～154，1984
- 4) 平松修：枝打ちロボット（自動枝打ち機）の開発現状，林試場報：237：4～7，1984
- 5) 佐々木功他：自動枝打ち機の将来性を探る——現状と具備すべき諸条件，農経しんぼう：33(2)：109～113，1985

## Résumé

In recent years, some kinds of pruning machines (climbing saws) have been developed in Japan. We studied the relation between climbing speed of pruning machine and its operation at Kyoto University Forest in Wakayama from October 1984 to March 1985. At that time, to examine the effect of lower reduction gear ratio than normal, we made a time study of pruning on Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) and Sugi (*Cryptomeria japonica*).

It is revealed from this study, that the increase of climbing speed from 1.6 m/min to 2.5 m/min by change of reduction gear ratio was effective and did not cause the increase of trouble.

This pruning machine sometimes barked or caused stems to be damaged, and that was the severest trouble and desirable to improve.