

機械化造材作業の時間分析と造材作業機械化の可能性

Possibility of improving operational efficiency
in timber processing based on the time study of
mechanized timber processings

南方 康*, 仁多見 俊夫*, 酒井 秀夫*, 伊藤 幸也**

Yasushi MINAMIKATA*, Toshio NITAMI*, Hideo SAKAI*, Koya ITO**

要 旨

わが国の木材生産作業の改善に資するため、今後の改善の余地が残されている造材工程の時間分析を行い、人力による作業と機械化された作業を比較した。その結果、人力林内造材作業の生産性を100とすると、間伐作業においては、わが国で開発されたプロトタイプテーブルプロセッサの造材作業の生産性は、その機構を若干改良することによって306となり、ブームプロセッサは1098となった。また、主伐作業においては、それぞれ313, 1792であった。

さらに、これらの結果をもとに導入しうる機械のコストを検討した。造材工程を機械化する際に、木材生産単価を適正なものとするためには、テーブルプロセッサのように生産性が3倍上がる場合には1500万円程度、ブームプロセッサのように17倍にも向上する場合には2300万円もの高価な機械であっても理論的に導入可能であるとの結論を得た。

Summary

The efficiency of mechanization of the work in timber processing was analyzed by comparing mechanized operation with the manual operation through the time study of the work. When the index of productivity of the manual timber processing on felling site was assumed to 100, in the thinning operation, the index of productivity of the prototype table

* 東京大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo

** 東京大学農学部附属秩父演習林

University Forest at Chichibu, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

-processor, which had been recently developed in Japan, was 306, and that of boom-processor was 1098. In the final felling operation, they were 313, 1792 respectively.

And the allowable machine cost was also analyzed. When we mechanize the timber processing operation, the machine, which costs 15 million yen, could be available, if the productivity would be raised to three times as that of before the mechanization. Then we could estimate that the machine of 23 million yen would be available if the productivity was raised to so much as 17 times as that of before the mechanization.

I. はじめに

木材生産作業は、1) 伐木・造材、2) 集材、3) 運材の3工程に大きく区分することができる。これらの作業の機械化は、集材工程においては集材機や集材用トラクターの導入によって進展し、運材工程においてはトラックが導入されて進展してきた。また、伐木・造材工程においては、まず、小型携帯型のチェーンソーが導入されて作業現場から手鋸の使用をほとんど駆逐し、労働強度を軽減させるとともに労働生産性を向上させた。さらに、林内で造材作業を行わず、伐倒木を全木集材した後に、土場に作設した盤台上で造材作業をすることによって、作業の安全と工期を向上することができた。

しかしながら、伐木・造材作業はいまなおチェーンソーが主となっており、作業者が機械を携帯して林地を歩行しながら作業を行うものであるために、その作業工期を高めるためには人間がいかに迅速に作業を行いうるかということが要点とならざるをえない。その点、全木集材作業を導入することによって、造材作業工程を林内から人力作業でも比較的効率よく行いうる土場へ移したことは、画期的なことであったと言えよう。しかし、伐木・造材工程の作業コストが他の2つの工程とほぼ同程度である(2)のは、一重に、この工程が人力作業に依存した、労働多投型の工程であるためである。

そこで、本論文では、造材能力を有する機械による木材処理作業の作業時間分析を行い、あわせて既往の研究結果をもとに、わが国における造材作業の機械化の有利性、およびその可能性について検討を行った。

II. 機械による造材作業時間

伐木・造材工程における作業時間を、機械化作業について分析した。作業は、伐倒能力も有するハーベスタ1機種を含む3機種の作業時間を分析した。また、作業の機械化水準を計る際に基となる人力作業の作業時間を既往の研究から推定した。人力作業は、山地で伐倒・造材作業を行う普通集材作業および山地において伐倒した後全木で集材し、土場で造材を行う全木集

材作業に区分した。

1. 機械による作業

造材機能を有する3種類の機械を用いて造材作業の時間分析を行った。ここでテーブルプロセッサと略称する機械は、林野庁の林業用新機種開発事業によって開発されたものであり、正式名称は「玉切（枝払）積込集材機」である。本機の枝払い装置は、材を乗せたテーブルがスライドする形式であることから、テーブルプロセッサと呼ぶこととする。また、ブームプロセッサは、林業用または土工用の車両が有するブームの先端に、造材用のユニットを取り付けたものであり、当ユニットの名称はプロセッサ KP40である。小型ハーベスタは、車両の前面に伐木・造材作業用のユニットを備えた、マケリ33Tという小型の車両機械である。

1-1. テーブルプロセッサ

a. テーブルプロセッサの概要

図-1のように枝払い・玉切り作業用のテーブル状のユニットを有する他に、積み込み作業用のクレーン・集材用の小型2胴1エンドレス集材機を有する。今回の試験時においては、集材作業を車両系機械を用いて行ったので、集材機は用いず、本機の造材機能だけを用いた。

b. 間伐試験の概要

東京大学農学部秩父演習林において、昭和60年8・10月に行った間伐作業試験において、間伐林分の下方の林道の上にテーブルプロセッサを置き、林内作業車で林道脇まで搬出・集積した全木材を造材処理させた（図-2）。間伐林分はスギ・ヒノキ混交の22年生林分であり、間伐木の平均胸高直径は12.5cmであった。

c. テーブルプロセッサの作業時間

本機による造材作業は以下の手順で行われた（図-3参照）。

- 1 「材のくわえこみ」：林道端に積まれた全木材を、ブームグラップルで掴み、造材用ユニットの枝払い用腕に噛ませて、テーブル上へ乗せる。
- 2 「枝払い」：造材用ユニットの枝払い腕で全木材をしごきながら枝を払う。
- 3 「玉切り」：チェンソーによって玉切る。

本機による造材作業は、上記の3要素作業のほかに、造材された玉材をテーブルから落下させる工程等の補助・付帯作業をまとめ「その他作業」の時間を加え、4要素作業に分解することができる。1本の木の造材処理作業を1サイクルとして、本機による造材作業は、表-1に示すような時間が必要であった。各要素作業の平均時間は、材のくわえこみ90.2秒、枝払い25.0秒、玉切り17.2秒、その他65.3秒であった。玉材の直径と枝払い・玉切り時間との間には、図-4に示すように、相関関係はみられなかった。これは、枝払い作業においては、枝払い用の

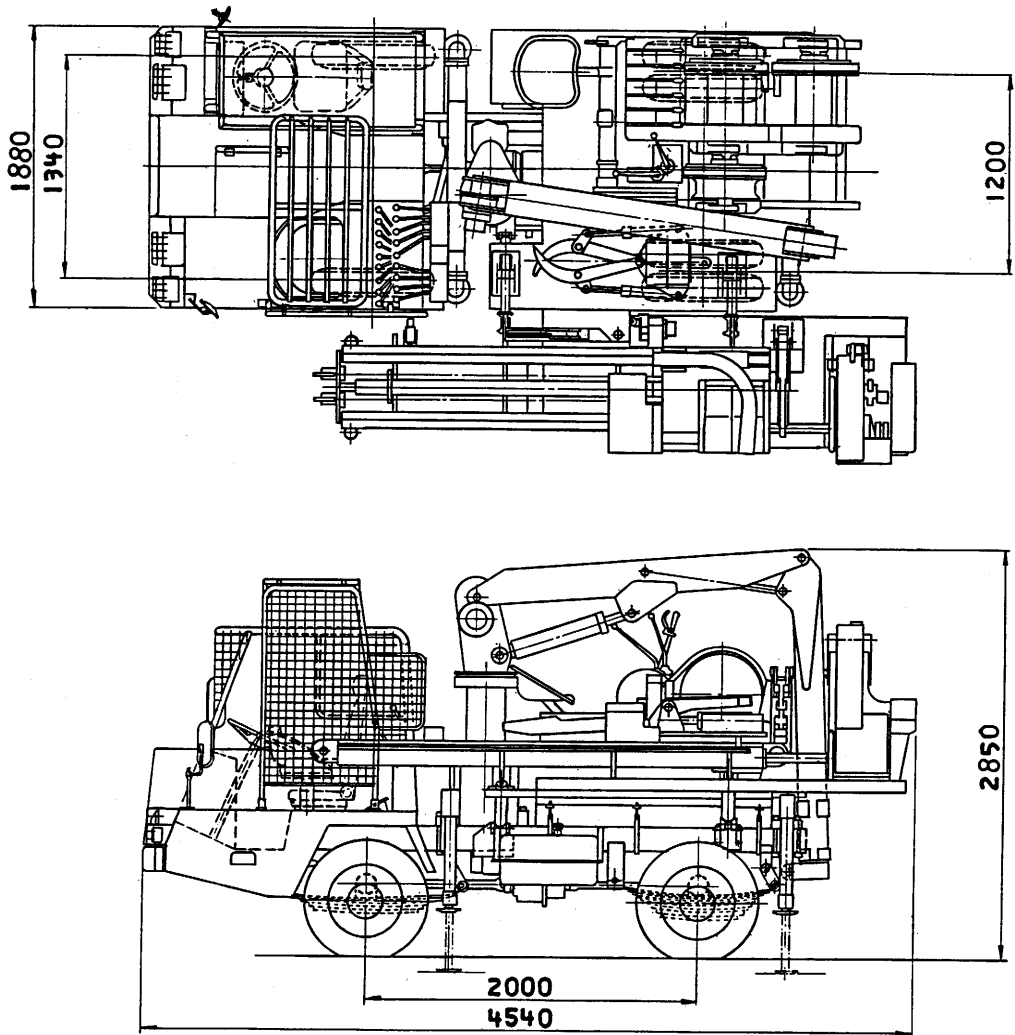


図-1. テーブルプロセッサの概観

Fig. 1. The table-processor

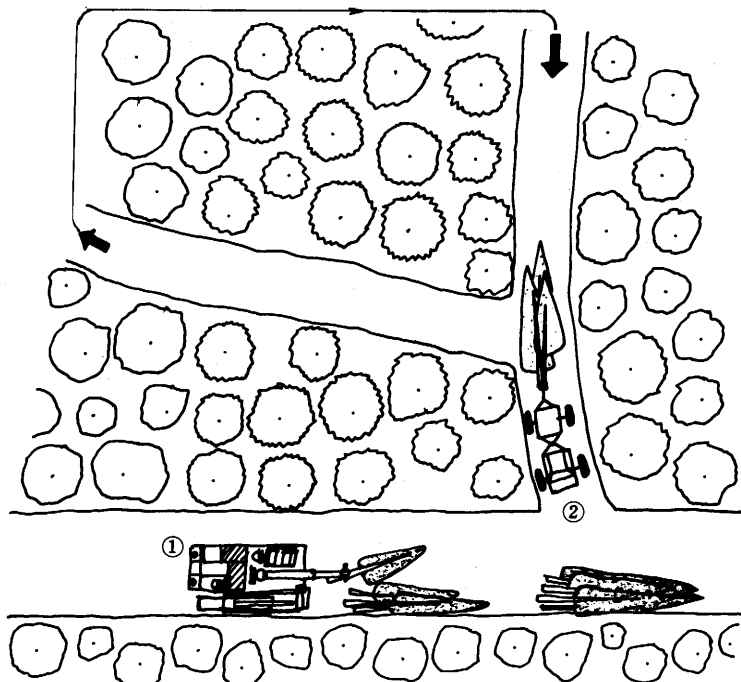


図-2. テーブルプロセッサによる間伐材処理試験の概要

Fig. 2. A view of the experiment of timber processing by the table-processor

- | | | |
|---|--------------------|--|
| ① | テーブルプロセッサ | table-processor |
| ② | 林内作業車 | small logging tractor |
| ← | 林内作業車の走行方向 (環状) | hauling direction of small logging tractor (circulated) |

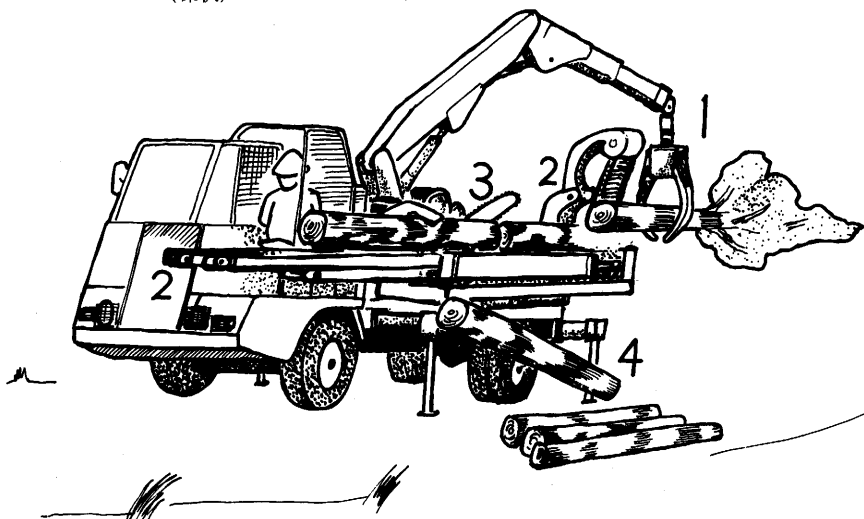


図-3. テーブルプロセッサによる造材作業の手順

Fig. 3. Timber processing sequence of the table-processor

- | | | | |
|---|---------------|---|-----------------|
| 1 | 材のくわえこみ | 2 | 枝払い |
| | feeding | | delimiting |
| 3 | 玉切り | 4 | 材を落とす |
| | cross-cutting | | drop the timber |

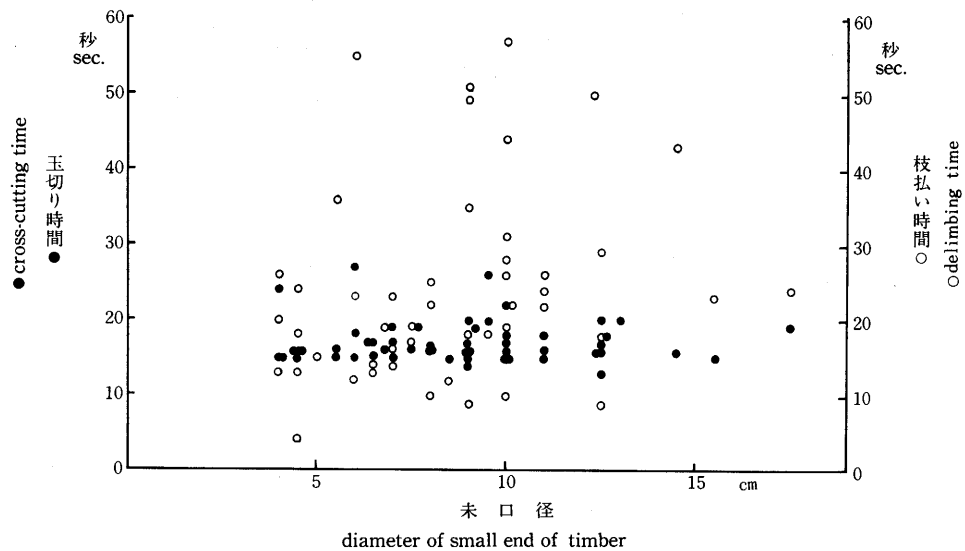


図-4. 玉材の末口径とテーブルプロセッサによる枝払い・玉切り時間

Fig. 4. Diameter of small end of timber and time of delimiting and cross-cutting by the table processor

テーブルの移動スピードが固定されているために、材の直径が多少変化しても、玉切る長さが同じならば、枝払い時間はほぼ同じ値となるためであり、玉切り作業においては、玉切り用チェーンソーの振りおろし速度が固定されているために、材の直径の大小に関わらずほぼ一定であるためである。また、本機の枝払機構はテーブルをスライドさせて行うものであるために、玉材の長さが長ければ枝払い時間は比例して長くなることが予測される。玉材の長さとか枝払いにかかった時間は、図-5のように、玉材長が2 m前後に集中したために明瞭な関係は見られなかったが、これは、間伐した材に曲がり大きいものが多かったことによる。すなわち、玉材長が2.5m以下で枝払い時間が40秒以上かかったものは、テーブル上で曲がった材を掴み直しながら枝払い作業を行ったものである。そこで、適正な枝払い作業が行われたデータを用いて、本機による枝払い作業時間 t_d (秒) を玉材の長さ l_1 (m) に回帰すると、

$$t_d = a \cdot l_1 \quad (1)$$

$$a = 10.66$$

と表すことができた。

材を造材用テーブルへ載せる作業は、ブーム先端のグラップルによってほぼ材の重心部を掴んで材を持ち上げ、枝払い部へ材の端を適切にくわえさせる作業をおこなう。しかし、機械の機構上、この作業は容易ではなく、本機のオペレータ1人の他に1名の補助作業員が必要であ

る場合もあり、1本の材のくわえこみ作業だけに5分以上の時間を必要とすることもあった。これは、材のくわえこみ・造材作業時に操作するレバーが、グラブ用にて7本、枝払い・玉切り作業用に8本もあるために、オペレータの機械操作の習熟が難しかったこともあるが、全木材を掴む位置や掴み上げた際の材の状況をオペレータの座席から確認することが難しく、オペレータがしばしば座席から立ち上がって確認作業を行ったために時間がかかったものである。

表-1. テーブルプロセッサの造材作業時間

Tab. 1. Processing time by the table-processor

| サイクル cycle | 要素作業 (秒) element work (sec) | | | |
|---------------|--|---|---|--|
| | 材のくわえこみ feeding | 枝払い delimiting | 玉切り (回数) cross-cutting (time) | その他 etc. |
| 1 | 198 | 117 | 57(3) | 51 |
| 2 | 110 | 164 | 56(3) | 35 |
| 3 | 187 | 71 | 31(2) | 27 |
| 4 | 139 | 108 | 58(3) | 43 |
| 5 | 200 | 219 | 52(3) | 60 |
| 6 | 80 | 124 | 65(4) | 61 |
| 7 | 80 | 75 | 45(3) | 45 |
| 8 | 197 | 110 | 53(3) | 35 |
| 9 | 155 | 77 | 50(3) | 50 |
| 10 | 99 | 73 | 41(2) | 22 |
| 11 | 87 | 100 | 67(4) | 73 |
| 12 | 351 | 81 | 74(4) | 71 |
| 13 | 79 | 59 | 48(3) | 80 |
| 14 | 75 | 85 | 66(4) | 85 |
| 15 | 105 | 60 | 65(4) | 80 |
| 16 | 260 | 38 | 37(2) | 38 |
| 17 | 94 | 43 | 57(4) | 108 |
| 18 | 93 | 67 | 66(4) | 64 |
| 平均 average | 90.2* ¹ 90.2* ¹ | 25.0/回* ² 25.0/time* ² | 17.2/回* ³ 17.2/time* ³ | 65.3* ⁴ 65.3* ⁴ |

ウインチ引き作業有り：サイクル3, 4, 9, 12, 16

with winching work: cycle 3, 4, 9, 12, 16

クレーン作業やり直し有り：サイクル5, 8

with retrieval of feeding: cycle 5, 8

枝払いナイフの材への割り込み有り：サイクル5

with trouble of delimiting knife: cycle 5

*1：サイクル (cycle) 2, 6, 7, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18

*2：サイクル (cycle) 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18

*3：サイクル (cycle) 1~18

*4：サイクル (cycle) 1~18

その他作業としては、玉切り後に材が自動落下せず、テーブル上に残った材をオペレータが手で落とす作業時間が主となっている。本機には、玉切り後に、材を固定するクランプを解放すると材が自動的に車体の左側へ落下する機構がついていたが、その作動角が不十分であり人力による補助が必要であったためである。

以上のような実験結果から玉切り回数を n 、玉材の長さを l_i として、1本の全木材を造材処理するためには、

$$T_t = 90.2 + 17.2 \times n + a \sum_{i=1}^n l_i + 65.3 \quad (2)$$

で表される T_t 秒のサイクルタイムが必要である。

1-2. ブームプロセッサ

測定の対象にしたブームプロセッサは、オーストリアにおいて開発されたものであり、本機については山本の報告(5, 6, 7)がある。本節で用

いたデータは、同氏がVTRに撮映したブームプロセッサによる造材作業の録画を、同氏の了解のもとに時間分析を行って得たものである。本機の概要は、図-6のような玉切り用丸鋸・材送り出し用爪付きクローラ・枝払い用ナイフ・測尺用センサーを有する造材ヘッドであり、これを林業用トラクタや土工用バックホウのブームの先端に取り付けたものである。試算によれば、1日60~140m³の材を造材処理することが可能(6)である。

本機による造材作業は、地形が急なところにおいては、林道端または土場に集材架線・トラクタ等によってあらかじめ集積された全木材を、以下の手順によって処理する。地形が緩やかなところにおいては、本機が自走して林内へ進入し、林内のところどころに集積された伐倒木を移動しつつ処理する。ここで行った時間分析は、前者の場合のものである。主な作業は、

- 1 「旋回・把握・木寄せ」：ブームを延ばしてプロセッサヘッドにくわえる、
- 2 「枝払い・玉切り」：くわえた材を、プロセッサヘッド内の爪付きクローラによって送り出しつつ、ヘッドに取り付けられたナイフで枝払いを行い、測尺用センサーで玉材の長さを計測して、所定の長さに丸鋸で玉切りする、

であるが、これ以外に、材の集積点への機械の「移動」、玉材の「はえ整理」、あるいは、枝払い作業によって機械の周囲に集積する「枝条の整理」などの副作業がある。ブームプロセッサの造材作業を、以上の「」内の5つの要素作業に分解して時間観測を行った。表-2に時間

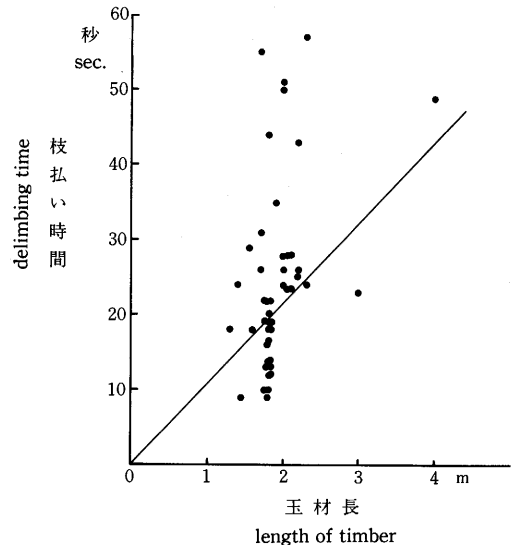


図-5. テーブルプロセッサによる枝払い作業における玉材長と枝払い時間

Fig. 5. Length of timber and time of delimiting by the table-processor

観測の結果を示す。造材した全木材は、胸高直径のメジアンが約16cmのものであり、材の大きさはそろっていた。また、作業時間のばらつきは小さかった。各要素作業の作業時間の平均値は、「旋回・把握・木寄せ」19.3秒(T_{k1})、「枝払い・玉切り」18.7秒(T_{k2})、「移動」1.5秒(T_{k3})、「はえ整理」0.5秒(T_{k4})、「枝条整理」2.9秒(T_{k5})であった。1本当りの造材作業のサイクルタイム T_k (秒)は、全ての要素作業時間の平均値の和として、

$$T_k = \sum_{i=1}^5 T_{ki} = 43 \quad (3)$$

と表すことができた。

1-3. 小型ハーベスタ

本機は、フィンランドで開発されたものであり、小型の車体の前部に伐木・造材作業用ヘッドを有している。わが国には、昭和60年10月時点で、北海道の民有林へ2台ほど導入されており、平地林のカラマツの間伐作業に用いられている。

a. 小型ハーベスタの概要

本機は、図-7に示すように、小型のクローラ式車両をベースとし、その前面に伐木・造材用ヘッドを備えている。車両重量は約3.8t、35馬力の空冷エンジンを搭載し、走行・作業ヘッドの操作などの全ての動作は油圧によって駆動される。車体が小型であるために、haあたり2000本程の立木密度の林分においても、立木に損傷を与えることなく林内を走行することができる。林内を自走し、伐倒木にヘッドをあてて伐倒し、原則として木を車体右側面に進行方向と平行に横倒しにして造材作業を行う。小型であり、傾斜安定性がそれほど高くないので、急傾斜地における林内走行は不可能であって、本機を開発したフィンランドの森林のような平地林において使用される。海外においては、車両に取り付けたブームの先端に伐木・造材作業用のヘッドを付けて、林内を走行移動する場合においても車両は伐倒木の間近へは接近することなく、

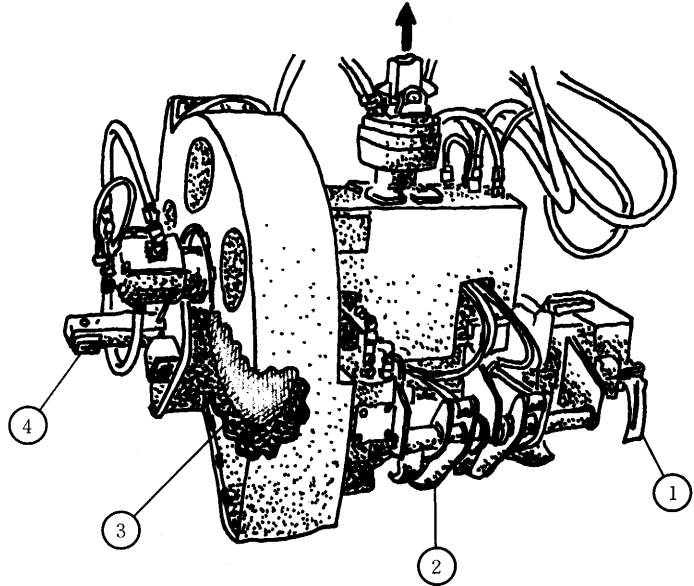


図-6. 造材作業用ヘッド KP40

Fig. 6. Processing head KP40

- | | | |
|---|---------|------------------------------------|
| ① | 枝払い用ナイフ | delimiting knife |
| ② | グラップル腕 | grapple |
| ③ | 丸鋸歯 | circular saw |
| ④ | 測尺用センサー | sensor for measuring timber length |

↑ ブームへの取付方向 direction to attach this unit to the boom

表-2. ブームプロセッサによる造材作業時間 (秒)

Tab. 2. Processing time by the boom-processor (sec.)

| サイクル cycle | 旋回・把握・木寄せ turning · grasp · hauling | 枝払い・玉切り Processing | 移 動 move | は え 整 理 pile arrangemt | 枝 条 整 理 slash disposal |
|----------------|---|-----------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 24 | 17 | | | |
| 2 | 26 | 7 | | | |
| 3* | 40 5 | 24 4 | | | |
| 4 | 21 | 11 | | | |
| 5 | 24 | 41 | | | |
| 6 | 7 | 5 | | | |
| 7* | 14 4 | 34 4 | | | |
| 8 | 26 | 5 | | | |
| 9 | 8 | 33 | 11 | | |
| 10 | 6 | 8 | 32 | | 50 |
| 11* | 13 6 | 17 9 | | | |
| 12 | 10 | 2 | | | |
| 13 | 33 | 6 | | | |
| 14 | 13 | 19 | | | |
| 15 | 24 | 7 | | | |
| 16 | 16 | 52 | | | |
| 17* | 13 7 | 10 19 | | | |
| 18* | 11 5 | 8 11 | | | |
| 19 | 13 | 18 | | | |
| 20 | 9 | 5 | | | |
| 21 | 21 | 15 | | | |
| 22 | 24 | 27 | | | |
| 23 | 15 | 28 | | | |
| 24* | 11 6 4 | 8 1 8 | | 14 | |
| 25 | 6 | 16 | | | |
| 26 | 20 | 17 | | | |
| 27 | 21 | 23 | | | |
| 28 | 34 | 4 | | | 31 |
| 平 均 average | 19.3 | 18.7 | 1.5 | 0.5 | 2.9 |

* 1本の材の造材作業の途中で玉切った材を集積する位置を変えたために、旋回・把握・木寄せ、枝払い・玉切りの作業が複数に分かれている。

* A work of 'turning · grasp · hauling', 'processing' is divided into few works, due to the change of pile to stack up the timber.

ブームを延ばしてヘッドを伐倒木へ当てて作業を行うという機構のものが多く開発されている。しかし、本機は、車体を小型にして、林内における機動性を向上させ、伐倒木の間近まで接近して作業を行わせることによって、ブーム等を省いて機構を簡単にしたものである。

b. 小型ハーベスタの伐木・造材作業手順

林道から林地内へ進入した本機は、
 図-8に示すように、林道と直角方向あるいは植列に沿って進み、車両前面にとらえた間伐木をヘッドの油圧ナイフで伐倒した後、ヘッドを回転して伐倒木を車体側面で横倒しにして抱え、ヘッド内の爪付きローラーによって送りだしつつ枝払いナイフで枝を払い、適切な材長のところで再び伐倒用ナイフで玉切りする。したがって、丸太材は、車両が間伐作業を行いながら前進するストリップロードの脇に、5～10本ずつ、適切な間隔で集積される。通常ストリップロードとなる1列を伐採し、このストリップロードから左右2～3列までは機械が踏み込む形で間伐が可能である。これを1伐4残の間伐作業などと呼ぶ。1本のストリップロードによる間伐・造材作業が終われば、車両は次のストリップロードへ移動し、同様の作業を繰り返すことになる。

c. 間伐試験の概要

本機を用いた間伐作業試験は、北海道旭川市近郊の民有林において1伐5残の列状・定性併用の作業方法で行った。間伐林分はカラマツの15年生林分であり、間伐木の平均胸高直径は約11cmであった。林地は5%程の勾配があるが、大きな凹凸のない緩斜面であった。なお、オペレータは、機械を所有するI木材株式会社の社員であり、フィンランドの製作会社から派遣されたオペレータから操作・作業方法について指導を受けた熟練作業員である。

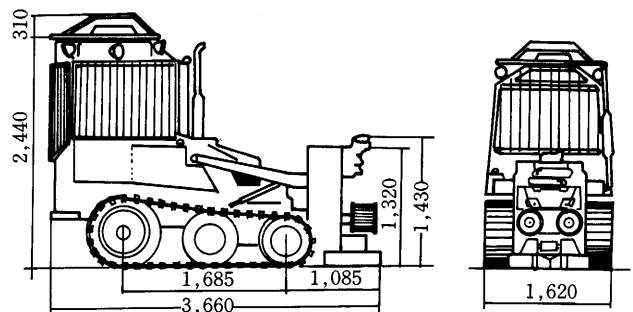


図-7. 小型ハーベスタの概観

Fig. 7. Small harvester

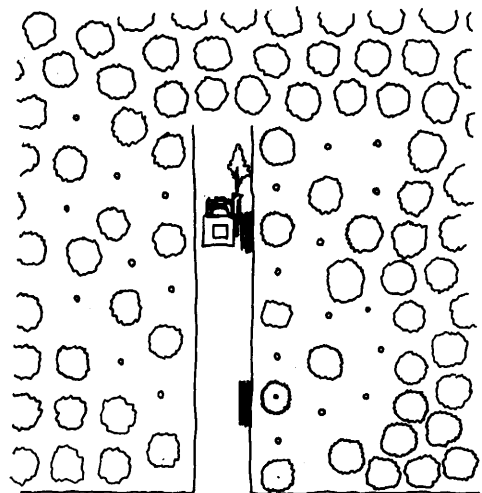


図-8. 小型ハーベスタによる間伐作業手順

Fig. 8. Sequence of the thinning operation by the small harvester

d. 小型ハーベスタの作業時間

本機を用いた間伐作業は、以下の5つの要素作業に分解できる。

- 1 「伐採」：伐倒・造材用ヘッドを間伐木にあてがい、ナイフで伐採する。
- 2 「木倒し」：ヘッドの向きを回転させながら、伐採した間伐木を横倒しにし、車体右側側面で材を保持する。この場合、次項の造材作業を、その後の搬出に便ならしめるため、十本程度同一場所で行うので、車両の若干の移動が伴う。
- 3 「造材」：ヘッドにくわえた材を2ケのスパイク付きローラーで送りながら枝払いを行い、伐倒用のナイフで玉切る。その際、車両を適切な距離だけ前進させながら枝払いを行うと、次の移動時間を大幅に短縮することができる。
- 4 「移動」：伐倒・造材用ヘッドに溜った枝条や梢端を捨てた後、次ぎに伐採する間伐木まで移動する。
- 5 「車両位置調整」：間伐木をヘッドで掴むために、車体位置を若干調節する。

これらの要素作業によって、本機による間伐作業の時間観測は表-3のような結果となった。

要素作業毎の作業時間は、伐採4.4秒 (T_{h1})、木倒し11.0秒 (T_{h2})、造材24.7秒 (T_{h3})、移動13.0秒 (T_{h4})、車両位置調整4.9秒 (T_{h5})となり、これらを合計した間伐木1本当りのサイクルタイムの平均値 T_h (秒) は、

$$T_h = \sum_{i=1}^5 T_{hi} = 58 \quad (4)$$

となった。

伐採・木倒し・造材作業は間伐作業の主作業、移動および車両位置調整作業は副作業と見なそうが、作業時間は主作業に69% (40.1秒)、副作業に31% (17.9秒) という比率になっており、ひじょうに効率の良い作業であると言えよう。

1-4. 人力作業の既往のデータ

a. 普通集材作業における伐倒・造材作業

普通集材作業を行う場合には、林内において伐倒作業および造材作業を行う。この作業方法における伐倒作業は、伐倒後の造材作業のしやすさ等を考慮する必要があるために、障害除去や付帯作業に時間がかかり、作業時間が長い。さらに、造材作業は、足場の悪い林内で行われるために、作業時間は全木集材作業を行う場合に比べて長い。作業時間の推定に関する辻らの研究(4)によれば、これらの作業にかかる時間は表-4のようにまとめることができる。

表-4から、普通集材作業において、人力作業による伐倒作業にかかる時間 S_{fa} 、造材工程にかかる時間 S_{fb} は、

表-3. 小型ハーベスタによる間伐作業の作業時間(秒)

Tab. 3. Time of thinning operation by the small harvester (sec.)

| サイクル cycle | 伐採 cut | 木倒し upset | 造材 processing | 移動 move | 車両位置調整 head adgust | サイクル cycle | 伐採 cut | 木倒し upset | 造材 processing | 移動 move | 車両位置調整 head adgust |
|---------------|-----------|--------------|------------------|------------|-----------------------|----------------|-----------|--------------|------------------|------------|-----------------------|
| 1 | 5 | 2 | 25 | 7 | 2 | 28 | 5 | 24 | 26 | 19 | 5 |
| 2 | 6 | 7 | 24 | 7 | 10 | 29 | 2 | 12 | 29 | 6 | 7 |
| 3 | 5 | 10 | 29 | 9 | 7 | 30 | 1 | 7 | 37 | 11 | 7 |
| 4 | 12 | 3 | 17 | 20 | 0 | 31 | 1 | 15 | 29 | 15 | 20 |
| 5 | 5 | 9 | 29 | 10 | 4 | 32 | 10 | 28 | 29 | 13 | 11 |
| 6 | 7 | 17 | 23 | 13 | 6 | 33 | 8 | 2 | 38 | 19 | 6 |
| 7 | 18 | 12 | 11 | 6 | 6 | 34 | 3 | 42 | 40 | 19 | 5 |
| 8 | 3 | 3 | - | 4 | 7 | 35 | 3 | 10 | 24 | 13 | 19 |
| 9 | 2 | 4 | 20 | 12 | 6 | 36 | 4 | 6 | 31 | 9 | 0 |
| 10 | 2 | 10 | 20 | 7 | 5 | 37 | 13 | 2 | 32 | 29 | 6 |
| 11 | 2 | 8 | 34 | 6 | 0 | 38 | 2 | 16 | 31 | 12 | 5 |
| 12 | 5 | - | - | 6 | 6 | 39 | 3 | 12 | 25 | 15 | 8 |
| 13 | 4 | 5 | 4 | 6 | 4 | 40 | 2 | 14 | 29 | 26 | 4 |
| 14 | 5 | 3 | 17 | 7 | 4 | 41 | 2 | 27 | 25 | 23 | 4 |
| 15 | 6 | 7 | 11 | 3 | 0 | 42 | 1 | 20 | 35 | 18 | 5 |
| 16 | 2 | 0* | 26 | 7 | 4 | 43 | 1 | 7 | 19 | 6 | 4 |
| 17 | 7 | 0* | 11 | 10 | 5 | 44 | 2 | 9 | 27 | 7 | 4 |
| 18 | 2 | 3 | 25 | 5 | 5 | 45 | 2 | 8 | 19 | 9 | 10 |
| 19 | 2 | 8 | 13 | 16 | 9 | 46 | 4 | 9 | 21 | 12 | 3 |
| 20 | 10 | 17 | 32 | 18 | 4 | 47 | 3 | 9 | 19 | 11 | 5 |
| 21 | 4 | 15 | 23 | 27 | 8 | 48 | 1 | 12 | 23 | 9 | 5 |
| 22 | 3 | 13 | 31 | 28 | 0 | 49 | 4 | 5 | 61 | 34 | 0 |
| 23 | 14 | 9 | 19 | 19 | 0 | 50 | 2 | 8 | 23 | 11 | 3 |
| 24 | 6 | 19 | 26 | 12 | 0 | 51 | 3 | 19 | 16 | 11 | 4 |
| 25 | 2 | 13 | 16 | 11 | 0 | 52 | 3 | 16 | 21 | 7 | 4 |
| 26 | 4 | 12 | 24 | 21 | 5 | 53 | 3 | 18 | 26 | 15 | 0 |
| 27 | 1 | 15 | 24 | 9 | 0 | | | | | | |
| | | | | | | 平均値 average | 4.4 | 11.0 | 24.7 | 13.0 | 4.9 |

*造材作業を行いながら木を倒したものであり、造材時間へ含めた。

* In this cycle, a tree is processed at the same time of being upset, so that this time is included in the processing time.

$$S_{fa} = \sum_{i=1}^9 S_{fi} \quad (5-1)$$

$$S_{fb} = \sum_{i=10}^{24} S_{fi} \quad (5-2)$$

によって得られる。また、伐倒・造材工程全体でかかる時間 S_r は、

$$S_r = S_{fa} + S_{fb} \quad (6)$$

である。

b. 全木集材作業における伐倒・造材作業

この場合の木材処理作業は、林地内で造材せず、全木で集材した後に盤台で造材作業を行うので、造材時間は短く、また、伐倒時間もかからない。これらの作業時間は表-5のとおりで

表一 4 . 普通集材作業における伐倒・造材作業時間 (秒)

Tab. 4. Time of felling and processing of the short wood logging (sec.)

| | |
|-------------------------------------|--|
| 1 伐倒方向検討 felling direction check | $S_{r1} = 0.0036825D^2 + 0.286745D + 4.0495$ $D \leq 74$ $= 0.419D + 9.0$ $D \geq 75$ |
| 2 障害除去1 exclude obstacles 1 | $S_{r2} = 92.02$ |
| 3 受口・追口付帯 felling appurtenant | $S_{r3} = 0.0031D^2 - 0.632D + 1.513$ |
| 4 根張切り root swelling cut | $S_{r4} = 5.8$ |
| 5 矢打ち felling wedge setting | $S_{r5} = 0.4756D + 9.686$ |
| 6 受口・追口切り under and felling cut | $S_{r6} = 0.0434D^2 - 0.4729D + 18.30$ |
| 7 合図 signaling | $S_{r7} = 7.0$ |
| 8 退避 go to safety place | $S_{r8} = 14.0$ |
| 9 道具取りまとめ straighten | $S_{r9} = 5.17$ |
| 10 移動作業 move | $S_{r10} = \sqrt{A_1/n_1}/v_1$ |
| 11 測尺 scaling | $S_{r11} = 38.0nt + 0.67\theta + 1.67$ |
| 12 始動・停止 engine start/stop | $S_{r12} = 37.8$ |
| 13 玉切歩行 processing walk | $S_{r13} = 0.00845H + 0.2795\theta - 7.6375$ |
| 14 玉切付帯 processing appurtenant | $S_{r14} = 0.001975D^2 + 0.0065D$ |
| 15 サルカ切り timber swelling cut | $S_{r15} = 0.021D^2 - 0.32D + 0.633\theta + 10.22$ |
| 16 化粧がけ finishing | $S_{r16} = 0$ $D < 30$ $= 35.0 \times 0.35$ $D \geq 30$ |
| 17 障害除去2 exclude obstacles2 | $S_{r17} = 7.98$ |
| 18 捨切り cut of extra parts | $S_{r18} = 0$ |
| 19 枝先切り cut of branch end | $S_{r19} = 0$ $D \leq 20$ $= (0.02D + 0.016) \times 38$ $20 < D \leq 70$ $= 38$ $D > 70$ |
| 20 枝払い delimiting | $S_{r20} = 12.71D + 5.60\theta - 316$ |
| 21 枝払い付帯 delimiting appurtenant | $S_{r21} = 1.595D - 1.28$ |
| 22 枝払い手直し second delimiting | $S_{r22} = 0$ |
| 23 玉切り cross-cutting | $S_{r23} = 0.037d^2 - 1.012d + 4.89A_{s1} + 10.5$ |
| 24 玉切り段取り cross-cutting arrangement | $S_{r24} = 4.29$ |

D: 胸高直径 (cm), nt: 採材玉数, H: 樹高 (m), θ : 斜面傾斜 ($^\circ$)

A_1 : 作業対象地の面積 (m^2), n_1 : 対象地内の立木本数, v_1 : 歩行速度 (m/s)

A_{s1} : 足場の良否 (良: 1, 中: 2, 悪: 3), d: 末口平均径 (cm)

D: D.B.H. (cm), nt: number of logs, H: tree length, θ : inclination ($^\circ$)

A_1 : area of work site (m^2), n_1 : number of trees in the site,

v_1 : speed of walk (m/s), A_{s1} : site condition (good: 1, medium: 2, bad: 3)

d: average diameter of small end of timber (cm)

ある。

表一 5 から, 全木集材作業において, 人力作業による伐倒作業にかかる時間 S_{za} , 造材工程にかかる時間 S_{zb} は,

$$S_{za} = \sum_{i=1}^9 S_{z1} \quad (7-1)$$

$$S_{zb} = \sum_{i=10}^{24} S_{z1} \quad (7-2)$$

表一 5 . 全木集材作業における伐倒・造材作業時間 (秒)

Tab. 5. Time of felling and processing of the full tree logging (sec.)

| | | |
|-------------------------------------|---|----------------------------|
| 1 伐倒方向検討 felling direction check | $S_{z1} = 0.0048185D^2 + 0.142886D + 0.846$ $= 0.419D + 9.0$ | $D \leq 78$ $D \geq 79$ |
| 2 障害除去 1 exclude obstacles 1 | $S_{z2} = 78$ | |
| 3 受口・追口付帯 felling appurtenant | $S_{z3} = 0.0183D^2 - 0.685D + 19.22$ | |
| 4 根張切り root swelling cut | $S_{z4} = 0.6$ | |
| 5 矢打ち felling wedge setting | $S_{z5} = 0.1638D + 1.365$ | |
| 6 受口・追口切り under and felling cut | $S_{z6} = 0.0986D^2 - 2.7637D + 56.31$ | |
| 7 合図 signaling | $S_{z7} = 7.0$ | |
| 8 退避 go to safety place | $S_{z8} = 8.0$ | |
| 9 道具取りまとめ straighten | $S_{z9} = 4.5$ | |
| 10 移動作業 move | $S_{z10} = \sqrt{A_1/n_1}/v_1$ | |
| 11 測尺 scaling | $S_{z11} = 20.26nt + 23.02$ | |
| 12 始動・停止 engine start/stop | $S_{z12} = 25.2$ | |
| 13 玉切歩行 processing walk | $S_{z13} = 0.05842H - 2.9996$ | |
| 14 玉切付帯 processing appurtenant | $S_{z14} = 0.00327D^2 + 0.00872D$ | |
| 15 サルカ切り timber swelling cut | $S_{z15} = 0.0067D^2 + 0.947D - 0.579$ | |
| 16 化粧がけ finishing | $S_{z16} = 0$ $= 44.0 \times 0.32$ | $D < 20$ $D \geq 20$ |
| 17 障害除去 exclude obstacles 2 | $S_{z17} = 0$ | |
| 18 捨切り cut of extra parts | $S_{z18} = 14.8$ | |
| 19 枝先切り cut of branch end | $S_{z19} = (0.0123D + 0.016) \times 57$ $= 57$ | $D \leq 80$ $D > 80$ |
| 20 枝払い delimiting | $S_{z20} = 7.72D - 67.8$ | |
| 21 枝払い付帯 delimiting appurtenant | $S_{z21} = 1.881D - 13.12$ | |
| 22 枝払い手直し second delimiting | $S_{z22} = 4.06$ | |
| 23 玉切り cross-cutting | $S_{z23} = 0.0469d^2 - 0.971d + 14.6$ $= 0.0335d^2 - 0.744d + 13.17$ | (ヒノキ) (サワラ) |
| 24 玉切り段取り cross-cutting arrangement | $S_{z24} = 2.26$ | |

D : 胸高直径 (cm), nt : 採材玉数, H : 樹高 (m), v_1 : 歩行速度 (m/s)

A_1 : 作業対象地の面積 (m^2), n_1 : 対象地内の立木本数,

d : 末口平均径 (cm)

D : D.B.H. (cm), nt : number of logs, H : tree length, v_1 : speed of walk (m/s)

A_1 : area of work site (m^2), n_1 : number of trees in the site

d : average diameter of small end of timber (cm)

で与えられる。また、伐倒・造材工程全体でかかる時間 S_z は、

$$S_z = S_{za} + S_{zb} \quad (8)$$

である。

III. 作業仕組みと作業時間

前章において得られた、作業仕組みの違いによる伐木・造材作業時間について図示したものが図-9である。作業時間は、立木1本を処理するのに必要な作業時間である。同図aは、間伐作業を、bは主伐作業を想定したものである。

1. 間伐作業

間伐作業では、以下の条件を想定した。すなわち、立木密度を2200本/ha、間伐木平均胸高直径を15cm、樹高を10.5m、玉切り回数を2回、玉材長の和を7m、平均末口径を7cm、林内歩行速度を1.8km/時とする。

人力作業においては、普通集材作業における伐倒作業に184.0秒/本、林内における造材作業に471.2秒/本かかり、取り上げた作業方法の中では、当然ながら最も時間がかかる。作業時間が最も短かったのは、伐倒・造材作業の両方を機械化した小型ハーベスタによる作業であって、作業時間は人力作業の11分の1であった。すなわち、労働生産性は人力作業の11倍となる。

伐倒作業は人力で行うものとし、作業にかかる時間は(8)式によって求めた同じ値とした。

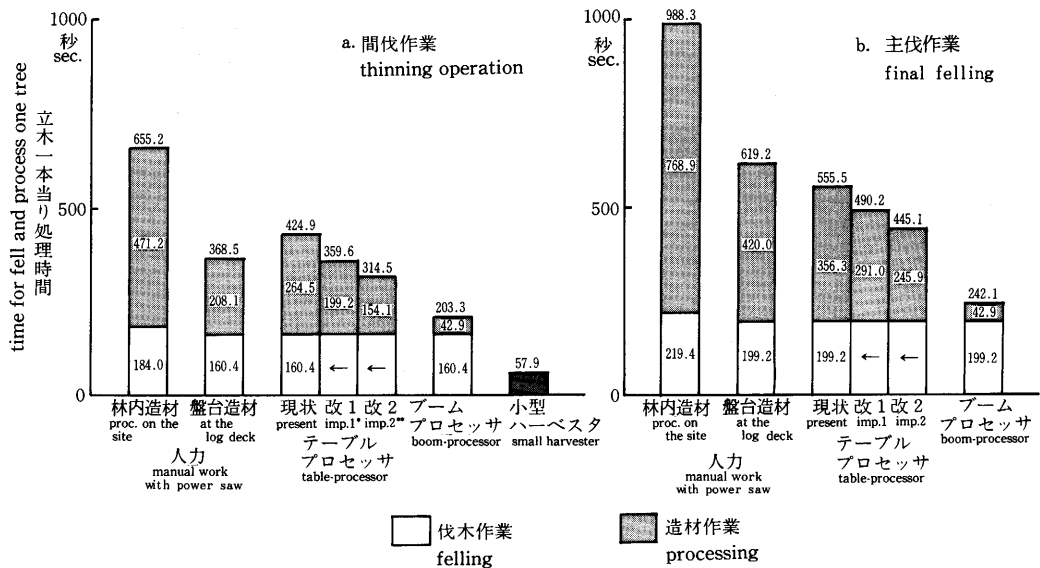


図-9. 作業仕組みと伐木・造材作業時間

Fig. 9. Method of timber harvesting and time of felling and processing

* improved to make no diffuse time

** improved to shorten the feeding time

全木集材作業による作業の内では、ブームプロセッサを用いた作業時間が最も短い。(2)式でもとめられるテーブルプロセッサの造材作業時間264.5秒は、人力盤台作業の208.1秒よりも長くなっており、次節で検討する主伐作業においては人力作業の作業時間よりも短いことを考えると、当機が小径木の処理には向かないと考えられる。しかし、機構の不完全さのために生じた「その他」作業の時間を完全に省略できるとすると、造材作業時間は199.2秒/本となり、人力盤台造材作業の作業時間よりも短くなる。さらに、グラップルブームによる材のくわえこみ作業時間を半減できるとすれば、造材作業時間は154.1秒/本となり、造材作業だけにおいては、人力盤台作業の1.4倍の生産性を示すこととなる。

上述の各種作業仕組みにおける造材作業の生産性を、人力林内作業における生産性を100として比較すると、人力盤台作業は226、テーブルプロセッサは178、「その他」作業時間を0とした場合のテーブルプロセッサ（「テーブルプロセッサ改1」とする）は237、さらに「材のくわえこみ」作業時間を実測値の1/2とした場合（「テーブルプロセッサ改2」とする）のテーブルプロセッサは306、ブームプロセッサは1098となる。ブームプロセッサは、人力林内作業の10倍以上の生産性を示し、テーブルプロセッサも機構を多少改善することによって、人力林内造材作業の3倍の生産性を示すことが示された。

また、伐倒作業・造材作業を一括した場合には、林内において人力造材作業を行った場合の生産性を100として、盤台において人力造材作業を行った場合が178、テーブルプロセッサが154、テーブルプロセッサ改1が182、同改2が208、ブームプロセッサが322となる。

2. 主伐作業

主伐作業においては、以下の作業条件を想定した。すなわち、立木密度を620本/ha、立木平均胸高直径を30cm、平均樹高を18m、玉切り回数を3回、玉材長の和を14m、平均末口直径を17cm、林内歩行速度を1.8km/時とする。

人力作業の普通集材作業における伐倒と林内造材作業には、それぞれ219.4秒、768.9秒かかり、合計して988.3秒（16分以上）かかる。また、盤台において人力造材作業を行う場合では、伐倒作業に199.2秒、造材作業に420.0秒かかり、合計619.2秒である。

テーブルプロセッサの造材作業に要する時間は、主伐作業においては現状のままで人力作業よりも短い356.3秒であり、伐倒時間を合わせると、555.5秒である。また、前節と同様に、テーブルプロセッサを改良した場合を想定すると、「改1」の状態では造材時間が291.0秒となり、伐木・造材時間では490.2秒となり、「改2」の状態では造材時間が245.9秒、合計時間は445.1秒となった。

ブームプロセッサの造材時間は、II章1-2で示したVTRの記録だけをもととしたものであり、そのVTRに記録された間伐作業と同じ値を用いることとしたが、材の送り出し速度、丸

鋸の鋸断速度は変化しないと考えられるので、想定した主伐作業においても、必要とする作業時間は間伐作業と大きくかけ離れたものとなることはないと考えられよう。

小型ハーベスタは、主に間伐作業用として開発されたものであり、最大処理直径が25cmであるので、主伐作業における検討には含めない。

さて、造材作業だけを考え、人力林内造材作業における生産性を100として他の作業仕組みの生産性と比較すると、人力盤台作業では183、テーブルプロセッサは216、同「改1」は264、同「改2」は313、ブームプロセッサは1792となる。したがって、テーブルプロセッサは、主伐作業においては、現状では人力作業の約2.2倍の生産性を示し、機構を改良することによって、2.6倍、3.1倍もの生産性を示す可能性がある。ブームプロセッサは人力作業の17倍もの生産性を示す。

伐倒作業の時間を含めた、伐木・造材作業の生産性は、林内において人力によって造材作業を行う場合を100として、人力盤台造材作業を行う場合は160、テーブルプロセッサは178、同「改1」は202、同「改2」は222、ブームプロセッサは408となった。伐倒に1本3分以上の時間がかかるにしても、造材作業の能率を高めることによって、テーブルプロセッサを用いた作業においては、人力によって林内において行う作業の2.2倍、ブームプロセッサによっては約4倍の生産性を示すことがわかる。

IV. 造材作業機械の機構と作業時間の改善

造材作業を機械化するには、様々な方法が考えられ、II章において作業時間分析を行った機械もそれぞれ枝払い作業においてはテーブル式とグラップル式機構によって作業を行うものであった。一般に現存する枝払い作業用機械は、枝払い機構を1) 車体に取り付けられたブームの先端にもつもの (single-grip processor/harvester) と、2) 車体上にもつもの (two-grip processor/harvester) とに二分される。

1)のブーム先端に作業ヘッドを取り付けた型の機械は、かなり重量のある作業ヘッドをブームで吊り上げることが前提になるので、作業ヘッドを極端に大きくすることは不可能であり、直径の大きな材を処理するには不向きである。しかし、ブームによる材の取扱いや造材作業との連続・関係作業が効率よく行われるという利点がある。

2)の造材作業ヘッドを車体上に有する型の作業ヘッドは、形はブーム型の作業ヘッドとほぼ同じであるが、作業ヘッドの重量や大きさをブーム型ほど考慮しなくてよいために、大径材処理用の比較的大型のものが多。しかも、この型の機械には造材作業ヘッドへ材をフィードさせる必要があるために、材を把握して吊上げ、木寄せ等を行うグラップル付きブームが装着されている。

テーブルプロセッサは、本体据え付け型の1つであるが、積込み用ブームとの連係が悪く、その結果作業時間が長くなるをえなかったと言える。この機械の作業能率を向上させるためには、造材作業部への材のくわえこみ作業を容易にすることが必要である。例えば、枝払い用の腕の開口部を上に向けて、材をそこへ落とし込むことも1つの方法であり、ブームの先端のグラップルで材を掴む位置・状態が容易に視認できるように、オペレータの操作席と作業ヘッドの位置関係を適切なものに改善しなければならない。このようにすることによって、材を造材作業部へくわえこませる時間は少なくとも半減できる可能性がある。さらに造材作業部においては、枝払いを行うために、材端に板状のクランプを食い込ませて材を引き抜いているが、材にクランプを食い込ませるのは樹皮だけの損傷にとどまらず、材質の破損、劣化をまねくので、この点の改良も不可欠である。玉切り用チェーンソーの動作速度が終始一定であり、バーが材に到達するまでの空転時におけるバーの振り下ろし速度を高速に改善する必要がある。

造材作業に要する時間を処理木の胸高直径に関連してテーブルプロセッサを用いた場合と人力盤台作業の場合を比較すると、作業に要する時間は図-10のようになる。すなわち、胸高直径が小さい材の処理は人力盤台作業の方がはやく、テーブルプロセッサは現状のままでは胸高直径が19cm以上の材の処理の際に用いるのが有効であると言えよう。しかし、改1の状態では12cm、改2の状態では6cm以上の材の処理においてテーブルプロセッサによる作業の方が人力作業よりも効率的であることがわかり、機械の償却費を考慮しても間伐材程度の細い材を処理する現場においても十分に用いられる可能性がある。

テーブルプロセッサの造材作業部は、かなり太い材を処理できることをねらったものであり、全木材という重量物を完全に車両上で保持するという機構であるために各部分はひじょうに堅牢に作られているため、本機全体はひじょうに重く動きの鈍いものとなっているといえよう。

海外において、主伐材の造材作業を行う際に用いられる図-11のような作業ヘッドにおいては、材の一端を作業ヘッドにくわえ、他端は地上に接地させて材の重量を地面へ逃がすことによって造材ユニットに過大荷重がかからないような機構となってい

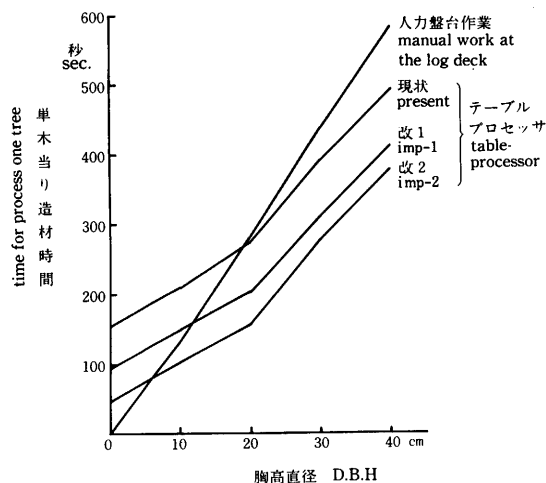


図-10. 処理木の胸高直径と造材時間

Fig. 10. D.B.H. of tree and processing time

るものが一般的となっている。この方式は、造材ユニットを比較的小型にすることが可能であり、車両に搭載した際も車両の機動性は損なわれない。

テーブル型式の造材ユニットは、将来的には、作業効率の面において不利な点が多いと考えられる。

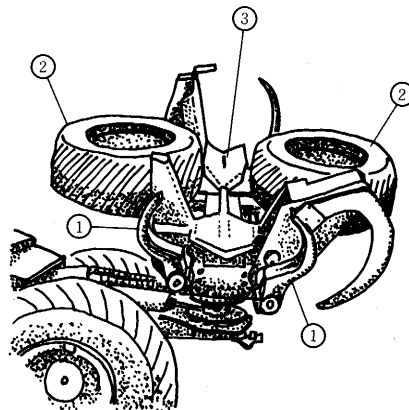


図-11. 車体に据付けられたローラー型のプロセッサヘッド

Fig. 11. A processing head mounted on the vehicle body

- ① 枝払い用ナイフ
delimiting knife
- ② 材送り用タイヤローラー
tyre roller for timber feeding
- ③ 測尺用センサー
sensor for measuring timber length

V. 作業機械化の不連続性と造材工程機械化の可能性

1. 作業機械化の不連続性

以上に述べた各種の機構は、主作業以外の付帯時間および余裕時間の長さによって左右される作業能率によって、機械化水準の高さを知ることができよう。また、人力作業からハーベスタによる機械化作業までの造材作業の進展の様子は、機械化水準の高さと作業の生産性の2つの指標によって、図-12のように表すことができよう。II章の間伐作業の検討において比較検討のために示した小径木処理用のハーベスタが、まだわが国においてほとんど用いられていないのは、この種の機械の価格が数千万円という高価なものであるためであり、そのような高額な機械を受け入れて十分に活用できるような作業基盤が、生産組織や生産規模あるいは就労慣行などいろいろな面で、ほとんど未だ形成されていないからである。この点は、造材作業の機械化を積極的に行う場合においても、大きな障害となることは明らかであり、以下に検討を加える。

ある作業の工程において、機械Aを導入することによって労働生産性が向上する場合、労働

生産性の上昇で軽減された労働コスト $P \cdot C_1$ によって機械Aの使用コスト C_m をまかなうことができれば、機械Aの導入は有効であるといえる。しかし、 $P \cdot C_1$ と C_m の差 $P \cdot C_1 - C_m$ が大きくない場合には、機械Aは積極的に導入されることはない。

SAMSET, I. は、労働コストの高騰によって作業の機械化水準が押し上げられる際には、 $P \cdot C_1 - C_m$ がある一定以上になった時に初めて機械化が促進されるという作業機械化の不連続進化の法則を唱え、自国ノルウェーにおける木材伐出作業の機械化水準の向上・変化のしかたを説明した(3)。

ここでは、伐出作業を伐木工程、造材工程、集材工程に分け、伐倒木を林道端または土場において玉材に加工し、運材工程へ渡すまでのコスト構成比率と作業の機械化水準を考えてみたい。

まず、伐出作業のコストを以下のように定める。

C_1 : 伐木工程のコスト (円/人工)

C_2 : 造材工程のコスト (円/人工)

C_3 : 集材工程のコスト (円/人工)

P : 労働生産性 ($\text{m}^3/\text{人工}$)

また、各コストは機械の償却費等のコストを含むものとする。

SAMSET, I. が例示した伐木集材工程の機械化の不連続的進化においては、集材工程の生産性の著しい向上によるところが大きい。まず、集材工程の機械化による影響を考えてみよう。

労働賃金の高騰によって低下した利益率を回復するために、不連続的に作業を機械化して労働生産性を向上させるとき、作業の新たな機械化によって達成された単位材積当りの作業コストが、従前の作業仕組みによる単位材積当りの作業コストに等しくなったとする。このとき、従前の状態における各工程ごとのコストを C_1, C_2, C_3 、労働生産性を P とし、機械化後におけるそれぞれの値を C_1', C_2', C_3', P' とすると、

$$\frac{C_1 + C_2 + C_3}{P} = \frac{C_1' + C_2' + C_3'}{P'} \quad (9)$$

なる関係が成立しなければならない。

ここで、 $P' = a \cdot P$ 、 $C_2 = b \cdot C_1$ 、 $C_3 = k \cdot (C_1 + C_2) = k \cdot (1 + b) \cdot C_1$ とおく。 a, b, k は係数。さらに、集材工程以外の工程においては作業方法の改善はなかったとすると、

$$C_1 = C_1', C_2 = C_2'$$

と表すことができる。これらの関係を(9)式に代入して C_3' について整理し、従前の集材コスト C_3 に対する C_3' の比率を求めると、

$$\frac{C_3'}{C_3} = \frac{1}{k} \cdot \{a(1+k) - 1\} \quad (10)$$

と表すことができる。ここで伐木コストと造材コストの和は、従来の事例から考えて、集材コストに等しいと見なすと、 $k = 1$ となり、

$$\frac{C_3'}{C_3} = 2a - 1 \quad (11)$$

となる。(11)式から集材工程の機械化後に、伐木・造材・集材全工程における生産性が2 (= a) 倍になったとき、集材工程の機械には、従前の集材方法でかかっていたコストの3倍のコストがかけられることがわかる。SAMSET, I.の例示においては、伐出作業の機械化が不連続進化した段階でaの値がほぼ2であったが、以上のことから、各進化の段階において集材作業のコストはほぼ3倍に増加したと見なすことができよう。換言すれば、集材作業工程の機械化に従前の作業コストの3倍のコストをかけることによって労働生産性を2倍に高め、全作業の素材生産単価は維持されたことになる。

次に、造材工程を機械化した場合について検討をしてみよう。

(10)式と同様に、 C_2'/C_2 は、

$$\frac{C_2'}{C_2} = (a-1) \left\{ \frac{1}{b} + k \cdot (1+b) \cdot b \right\} + a \quad (12)$$

と表すことができる。ここで、集材工程の機械化の場合と同様に $k = 1$ とおき、さらに、伐木コストと造材コストが同じであると仮定して $b = 1$ を(12)式に代入することによって、

$$\frac{C_2'}{C_2} = 4a - 3 \quad (13)$$

となる。

ある作業工程を極限まで合理化した場合を考えると、それは、当該工程の作業時間がゼロになった場合である。従来の作業法において、各工程の作業時間もコストに比例して伐木・造材・集材 = 1 : 1 : 2 であるとすれば、造材作業の合理化による全作業を通じた極限の生産性の向上比率は4/3となり、したがって $a = 4/3$ の場合の C_2'/C_2 は2.3となる。造材工程を機械化等によって合理化する場合にかけられるコストの極限值は、合理化する前のシステムに2.3倍までであることが示される。各工程の作業時間が、伐木・造材・集材 = 1 : 1 : 1 である場合、すなわち集材工程の機械化水準が相対的に高い場合にはaの極限值は3/2、 C_2'/C_2 は2.5となり、前記の場合よりも造材工程へ多くのコストをかけることが可能である。このことは、木材生産作業の生産性を高める際に、ネックとなっているような相対的に生産性の低い工程を、積極的に作業を機械化することが有効であることを示すものであり、その限界を知る有力な手がかりとなる。

すなわち、作業時間および検討する時点における作業コストの比率によって、作業の機械化へ投入しうる機械のコストは左右されることは留意すべきであるが、人件費の高騰によって高

くならざるをえない素材の生産単価の上昇に、作業の機械化によって積極的に対抗することがきわめて有効であることを示すものであり、また、その限界点を示すものである。

2. 造材工程の機械化に投入しうる機械コスト

本研究は、作業コストと生産性についての詳細な検討を行うものではないが、以上の、作業仕組みの違いによる作業時間の違いと作業コストの理論的検討結果をもとに、投入可能な機械のコストについて、以下に若干検討を行う。

チェーンソーの償却費・燃料費等を含む人力作業1人1日の作業コストを C_m とし、その作業を機械化するさいに負担可能であるコストが極限において C_m の b 倍であるとする。このとき、作業の機械化後、機械コスト C_k として支払われるものは、

$$C_k = (b-1)C_m$$

である。前節の検討において、極限状態においては、 b の値が2.3または2.5である場合が例示されたが、チェーンソー持込みの労働賃金または機械オペレータの賃金を $C_m = 15000$ 円/日とし、高額機械の償却費 C_{dd} が機械コストの60%であるとする(1, 2)、 $b = 2.3$ のときは、1日当たりの機械の償却費 C_{dd} は11700円となり、年間の機械の可動日数 D を270日、償却年数 Y を7年とすると導入可能な機械の購入価格 P_m は、

$$\begin{aligned} P_m &= C_{dd} \times D \times Y \\ &= (b-1) \cdot C_m \cdot 0.6 \times D \times Y \end{aligned} \quad (14)$$

によって計算され、2211万円となる。 $b = 2.5$ のときは、2551万円である。現実の作業においては、作業の合理化が極限状態まで進むことは不可能であるが、前章の検討におけるブームプロセッサのように、造材工程の作業時間が従前の作業時間の1/17になった場合を想定すると、作業時間が伐木・造材・集材 = 1 : 1 : 2のとき、上記の b の値は2.23、同じく1 : 1 : 1のときは、2.37となる。この b を用いるとすると、作業を機械化するさいに購入可能な機械の価格は、 $b = 2.23$ では2092万円、 $b = 2.37$ では2330万円となる。また、テーブルプロセッサのように、造材作業時間が従前の方法の1/3ほどになった場合には、 $b = 1.86$ ほどとなり、購入可能な機械の価格は1462万円となる。すなわち、伐木・造材工程が集材工程に比較して作業の機械化・合理化が遅れている現状においては、高価ではあるが高性能な機械を導入することによって積極的に作業の生産性の向上を図ることが有効であることがわかる。

VI. お わ り に

木材生産作業における作業の機械化を目指す場合に、機械化することによるコストの変化と生産性の変化が検討すべき点となる。しかしながら、以上の検討において作業の機械化を積極

的に行うことがひじょうに有効であることが示された。またその際、プロトタイプテーブルプロセッサにおいても、多少の改良を行うことによって、Ⅲ章で検討した際に示されたように、造材工程の生産性は3倍に向上することがわかり、3倍程度の生産性の向上があれば、1500万円程の高額な機械であっても実用化の可能性は高いことが明らかとなった。ブームプロセッサのようにひじょうに高能率の機械では2000万円以上の機械も導入可能である。

さらに、小型ハーベスタのように伐倒作業と造材作業を1つの工程の中に含めて処理できるような機械においては、Ⅲ章において検討した際の2つの工程を1つとすることができ、さらに短時間で処理することができるので、機械コストがさらに高くなってもその機械を用いて、より効率的な作業を行いうると言えよう。

本稿の作成にあたっては、機械化造材作業の時間観測を行う際に、(株)岩間木材・東洋運搬機械株式会社の方々にたいへんお世話になった。厚くお礼申し上げる。また、山本誠氏は、ブームプロセッサの作業状況を撮影した貴重なVTRを、作業時間観測へ用いることを快く許して下さいました。厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 伊丹康夫：機械化施工の計画と管理：p143, 山海堂, 1962
- 2) 南方 康：林業における作業機械化の可能性：森林文化研究4(1), p51~60, 1983
- 3) SAMSET, I.: Forestry Operations in a Dynamic Production Forestry, Illustrates by Examples from Norway: The H.R. MacMillan Lectureship in Forestry, Publication of the University of British Columbia, 1973
- 4) 辻 隆道他：伐木・造材・集材システムの最適化に関する研究(第I報)：林業試験場研究報告235, p1~205, 1971
- 5) 山本 誠：中欧の伐出技術(3)：機械化林業379, p32~39, 1985
- 6) —————：—————(4)：—————380, p51~58, 1985
- 7) —————：—————(5)：—————381, p48~56, 1985

(1986年5月31日受理)