

## ハーベスタによる伐木造材作業\*

酒井秀夫\*\*\*\*\*・南方 康\*\*

### Felling, Bucking, and Delimiting by a Harvester\*

Hideo SAKAI\*\*\*\*\* and Yasushi MINAMIKATA\*\*

#### I はじめに

近年, 集材作業の機械化, 林道の高密化に伴い, 伐木造材の工期は集材工期に比して相対的に低下している。今後の林業労働力の高齢減少化, 産業存立の前提としての生産性向上を考えると, ツリーフェラー等の伐倒機やプロセッサによる伐木造材工程の本格的機械化は是非とも実現しなければならない。伐木造材機械の導入は, まず平坦・緩斜地形において可能であるが, 現に北海道のいくつかの作業現場では, 小型ハーベスタがカラマツ間伐木の能率的処理に実用化されている。ここではその作業結果を分析し, まず平坦・緩斜地間伐林における伐木造材作業について, 高度機械化の可能性を実証してみる。平坦・緩斜地での成功は急峻地用の機械開発にとっても大きな第一歩となりうると考える。

#### II 資 料

供試機はフィンランド製マッケリ 34 T ハーベスタである。本機の仕様, 概要については既に紹介されているが<sup>9)</sup>, 直径 25 cm までの立木を運転手 1 人で伐木, 枝払, 玉切, 林内はい積まで一括して連続処理することができ, 処理能力の目安は皆伐で 1 日 500 本, 間伐で 300 本位である<sup>1)</sup>。本機は, 全木集材後林道端で枝払, 玉切, 巻立を行う型のプロセッサに対して, 林内作業型プロセッサともいえる。

資料は北海道旭川市郊外の I 社のカラマツ間伐林作業現場で収集した。試験地の詳細なデータは未測定であるが, 作業の状況を図-1 に掲げる。オペレータは本機について, 実働 829.5 時間の経験があり, スムースに作業を行っていた。

#### III 結果と考察

##### 1. 要素作業

作業順序は, 「伐倒木へのハーベスタヘッドのあてがい」, 「伐倒木切断」, 「造材場所確保のため, あるいははいのところまで, 材を保持しながら後進」, 「倒木 (ハーベスタヘッドを伏せる。車両の真下に伏せることも, 車両に直角に倒すこともできるが, 伏せながら横向にし, はいに横付けすると, その後の作業が能率的となる)」, 「枝払・玉切・はい積」, 「梢端処理」, 「移動」に分

\* 本研究の一部は文部省科学研究費奨励研究 No. 60760112 による。

\*\* 東京大学農学部林学科 Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

\*\*\* (現勤務先) 宇都宮大学農学部林学科

(Present address) Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University.



図-1 作業の状況 (1985年10月14日)

Fig. 1. A scene of the experiment (Oct. 14, 1985).

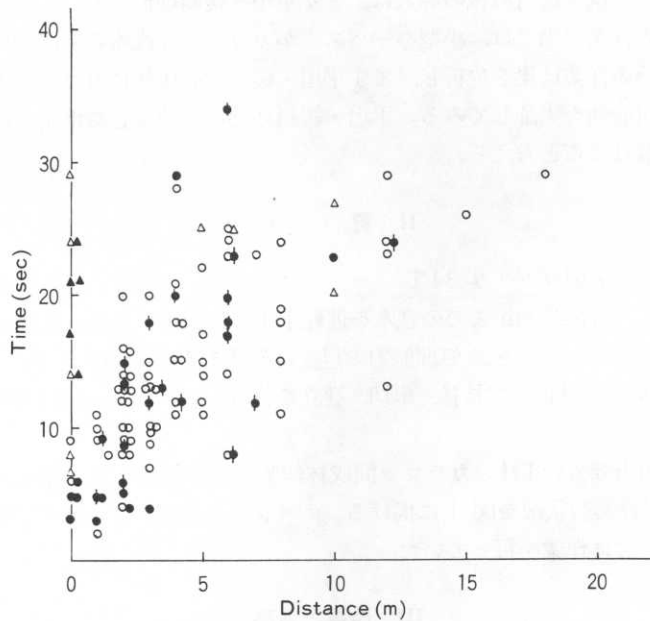


図-2 移動距離と移動時間

Fig. 2. Distance and time of moving

White dots, forward; black dots, backward;  $\triangle$ , turn;  $\bullet$ , holding a tree (backward).

けることができる。

「倒木」は、枝払のスペース確保も兼ねるが、「倒木」しながら、移動、枝払することも可能である。「枝払」はローラの回転によって材を送り出しながら行うが、半分位枝払して材の一端が着地して安定すれば、ローラを回転させながら車両を前進させることにより枝払時間を短縮することができる。この場合、わずかではあるが移動距離も稼ぐことができる。枝払と同時に玉切・はい積することができ、枝払後、ハーベスタヘッドに保持されたままの梢端部や枝払された枝のか

表-1 平均処理時間<sup>1)</sup>Table 1. Time expenditure of felling, bucking, and delimiting<sup>1)</sup>

Preparation	6.5 sec/tree	9.6%
Felling	0	0
Moving (backward)	12.0	17.7
Tilting a felled tree	5.5	8.2
Delimiting	17.7	26.1
Bucking	0.1	0.1
Topping	5.2	7.7
Moving (turn)	2.6	3.9
Moving (forward)	15.6	23.0
Arranging	0.2	0.3
Loss	2.3	3.4
Total	67.8	100.0

<sup>1)</sup> Ninety-four trees were processed.

たまりをはいの近くに捨てながら移動する。捨てた枝の上を走行すれば、林床保護にもなる。

「移動」は、伐倒木とはいとの間の頻繁な移動と、はいから次のはいまでの移動がある。これらの移動距離ははい間隔によって決まるが、はい間隔ははいの大きさと立木密度によって決まる。伐倒木とはいとの間の移動は、通常伐倒木からはいまでの後進とはいから伐倒木までの前進からなる。そしてこの距離が長くなると、次の新しいはいまで移動する。試験地の移動距離の分布は図-2 から知ることができ、2~6 m から十数 m である。カタログ値の無負荷走行速度は 4.5 km/時であるが、実際の作業時の移動速度は図-2 から、約 1.8 km/時であった。移動速度は後進も前進も同じであり、伐倒木を抱えても変わらない。旋回場所が広ければ、旋回の影響もない。

試験地における要素作業時間は表-1 のとおりである。平均処理時間はロスタイムも含めて 67.8 秒/本であった。構成割合は、後進、前進あわせた移動時間が約 4 割で最も多く、枝払そのものは 26% である。伐倒木切断は 1 秒とかかからないほど極めて短時間である。ロスタイムの内訳は障害木、溝の乗越え、操作ミス等であったが、極めて僅かである。

## 2. チェーンソー作業との比較

表-1 の結果を従来のチェーンソー間伐作業と比較してみる。チェーンソー作業は東京大学演習林における試験結果<sup>9)</sup>を参考にした。

### a. 伐木工程

チェーンソーによる間伐材伐木作業、特に初回間伐では、かかり木発生が大きな障害となっており、かかり木処理に要する時間は伐木作業の 20~50% をも占めている<sup>9)</sup>。しかし、本機によれば、伐倒木を垂直のまま抱えて移動することができるのと、ハーベスタヘッドに保持したまま油圧で押倒することができるので、かかり木は全く発生しない。またチェーンソー作業ではかかり木が発生しないものとして、間伐木 1 本伐倒するのに 120~230 秒は要するが<sup>9)</sup>、これに対して本機ではハーベスタヘッドの立木へのあてがいに平均 6.5 秒を要したが、切断は 1 秒とかかからないほど短時間である。退避時間もなく、立木間の移動速度も人力歩行の約 10 倍である<sup>9)</sup>。また伐根がチェーンソー作業に比べて低いので、その後の集材車両の林内走行にとっても有利である。な

おチェーンソー作業ではかかり木防止等のため、段取に数秒要するが<sup>6)</sup>、ハーベスタでは枝払いしながら車内で次の処理木の段取をすることができる。

#### b. 枝払工程

チェーンソー作業では、枝払能率は材の表面積に比例し、樹種にも左右されるが<sup>6)</sup>、本機は送りローラで枝をしごくので、枝払い長による。ローラの送り速度は 1.6 m/秒であるが、前記のように半分位枝払して材の一端が着地して安定すれば、ローラを回転させながら車両を前進させることにより枝払時間を短縮することができる。チェーンソー作業では胸高直径 20 cm 位で 120～400 秒/本要するが<sup>6)</sup>、試験地では 17.8 秒/本で、チェーンソー作業と最も差のつくところであった。

#### c. 玉切工程

チェーンソーでは鋸断時間が切口断面積に比例し、直径によっては数十秒要するのに対して<sup>6)</sup>、本機では 1 秒とかからない。また本機によれば、枝払と同時に玉切・はい積するので、玉切だけのための玉切材に沿った移動やはい積のための木寄を除去することができる。

#### d. 集材工程

本機で枝払・玉切・はい積した後、フォアワダやトラクタで集材していく方法と、全幹材のはいを形成しておいて、トラクタ等で集材し、林道や土場で集中処理する方法が考えられる。本機の造材機能を十分活かして林内で玉切・はい積した後、フォアワダでこれを効率よく集材していけば、省力化による高効率作業が期待できる。一方、チェーンソーで林内玉切し、これをウインチ木寄したりすると、はい積や玉掛の移動にも多くの手間を要し、造材工程に加えてさらに不利となる。

#### e. 総合評価

いま間伐材の平均的な大きさを 0.08 m<sup>3</sup>/本として、従来のチェーンソー作業と伐木造材能率 (m<sup>3</sup>/人時) を比較すると、本機は人力作業の 2.5～6 倍になる<sup>9)</sup>。さらに、はいの形成次第で効率よい車両集材が可能である。またチェーンソーの振動や重筋労働からの解放、キャビン内作業のため寒冷時においても安全快適な作業環境の確保といった直接評価できない長所も大きい。

### 3. 伐木造材費用と作業規模

本機の労務費単価  $P$  (円/m<sup>3</sup>)、機械費  $M_p$  (円/m<sup>3</sup>)、燃料油脂費  $F_u$  (円/m<sup>3</sup>) および諸数値は次式に従うものとする<sup>2)</sup>。

$$P = w / Y_s \quad (1)$$

$$M_p = P_s (0.5(1+k)CR_s + M_s + MT_s + k \cdot MY_s \cdot LY_s) / Y_s \cdot LY_s \cdot D_0 \quad (2)$$

$$= 0.00156 P_s / Y_s \quad (3)$$

$$F_u = FV_s \cdot FC_s \cdot (1+e) / Y_s \quad (4)$$

ただし、

$w$ : 賃金 (円/人日, 保険料も含む), 12000

$Y_s$ : 1 日の工期 (m<sup>3</sup>/日)

$k$ : 年間標準実働日数/年間標準供用日数, 0.9

$CR_s$ : 機械の償却費率, 0.9

$D_0$ : 年標準実働日数 (日), 270

- $LY_s$ : 機械の耐用年数 (年), 5  
 $M_s$ : 機械の定期整備費率, 0.75  
 $MT_s$ : 機械の現場修理費率, 0.21  
 $MY_s$ : 機械の年間管理費率, 0.065  
 $P_s$ : 機械の価格 (円)  
 $e$ : 油脂費その他の燃料費に対する比率, 0.2  
 $FV_s$ : 機械の燃料消費量 (l/日)  
 $FC_s$ : 機械の燃料単価 (円/l), 80

作業実績から軽油 60 l/日 (オイル 0.5 l/日) 消費とし, 機械価格  $P_s$  を 1850 万円,  $Y_s=15$  とすれば,  $P=800$ ,  $M_p=1924$ ,  $F_u=384$ , 計 3108 円/m<sup>3</sup> となる。

一方, チェーンソーの伐木造材費を, 交替で 1 日機械を稼働させるものとし, 例えば北海道で機械持ちで  $w=16000$ <sup>3)</sup> とし,  $Y_s=5\sim 3$ <sup>7)</sup> とすると, 3200~5333 円/m<sup>3</sup> となる。このようにハーベスタは機械価格が高くて生産性が高いため, 従来のチェーンソー作業に比して採算が取れ, 今後の人件費上昇に対して益々有利に対処していくことができる。

年間作業量は 4000~7000 m<sup>3</sup> とされているが<sup>1)</sup>, いま, 間伐を対象として 300 本/日, 15 m<sup>3</sup>/日処理, 年間 170 日稼働, 平均立木本数 1200~1500 本/ha, 間伐率 20~30% とすると, 本機を十分活用するには 180~340 ha/年の間伐林を必要とし, 50 年伐期, 本機により 3 回間伐とすると 3000~5600 ha の人工林が目安として与えられる。

#### 4. 路網計画

本機の所要最少限の路網密度  $D$  (m/ha) を, 1 日の作業限界から次のようにして求めることができる。作業仕組は, 本機で伐木・枝払・玉切・はい積した後, フォアワードでこれを集材していくものとする。

処理能力を  $V$  (m<sup>3</sup>/時) とし, 林道から林内に進入し, 再び林道に戻るまでの往復行程を作業するものとする。処理材積の分布密度を  $V_w$  (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>), 1 方向の作業幅  $a$  (m), 進入距離  $x$  (m), 1 日  $h$  (時間) 作業とすると, 1 日の作業面積

$$2ax = hV/V_w \quad (5)$$

より,

$$x = hV/2aV_w \quad (6)$$

となり,

$$D = 5000/x \quad (7)$$

より, 路網密度が与えられる。

立木本数と林内進入路間隔の指針はすでに与えられているが<sup>1)</sup>, ここでは列状植栽を想定して, 立木本数 1200~1500 本/ha, 2 列ずつ処理するものとして,  $a=5.5$ , 0.05 m<sup>3</sup>/本, 間伐率 30% とし,  $V_w=0.002$ ,  $V=15/6$  とすると,  $x=682$  となり, 路網間隔 1364 m, 路網密度 7.3 m/ha となる。しかるに, このような進入可能距離はわが国では少なく, この程度の路網密度ならば, 集材作業のための集材車両の所要路網密度に包含することができるので<sup>5)</sup>, とくに路網密度を考慮する必要はないものとして与えることができる。

なお, 万一, 伐倒機械の所要路網密度が集材作業を前提とした路網密度を超過した場合には,

超過した密度はその道路費用の分だけ割引しなければならない。すなわち、超過した密度を伐倒機械の林内進入距離増加に換算して、この費用と超過分の道路費用とが釣りあう密度が実際に増設可能密度となる。

立木本数と所要路網密度との関係については、立木本数が仮に 500 本/ha ほど増えても、立木間の移動時間は 0.8 秒程度の減少にしかならず、むしろはい間隔に左右されるので、結果的には、(7) 式で得られた結果とそれほど変わらないものと思われる。しかし、立木の平均直径が林内走行には不利に働くので、今後、傾斜とも関連させながら、立木本数ごとに実際の走行実験を行い、検討の余地がある。

#### IV おわりに

平坦・緩斜地であれば小型ハーベスタの導入は極めて有効であり、今後林業労働力が減少し、人件費が上昇していけば、益々有利となる。急峻地に対しては、同等の機械の導入は早急には困難であろうが、当面はすでに外国でみられるように、履帯長が長く、長いブームを持つフェラーバンチャーや、高密度な林道・作業道を利用した 1 人作業の集材車両、林道端で作業する枝払・玉切機などの組合せが有効であるものと思われる。

なお資料収集にあたっては、株式会社岩間木材店岩間昭三氏ならびにオペレータの米山勇三氏、長田淳氏の好意によるところが大きく、ここに謝意を表する。

#### 要 旨

マッケリハーベスタによるカラマツ間伐実験の結果、平均処理時間は 67.8 秒/本であった。枝払と同時に玉切・はい積できるので、無駄な移動は全くないが、要素作業の時間構成では移動時間が約 4 割で最も多く、枝払そのものは 26% であった。伐木、玉切は 1 秒とかかからない。また間伐でもかかり木は全く発生しない。枝払能率は 17.8 秒/本で、チェーンソー作業と最も差のつくところである。本機の造材機能を十分活かして林内で玉切・はい積した後、フォアワードでこれを効率よく集材していけば、省力化による高能率作業が期待できる。間伐木の伐木造材の作業能率は従来のチェーンソー作業の 2.5~6 倍になる。この伐木造材費用は 3108 円/m<sup>3</sup> となり、機械価格が高くて生産性が高いため、チェーンソー作業に比して採算が取れ、今後の人件費上昇に対しては益々有利となる。本機を十分活用するためには 180~340 ha/年の間伐林を必要とし、3000~5600 ha の人工林が目安として与えられる。本機の所要路網密度は、1 日の作業限界から、7.3 m/ha となるが、集材作業のための集材車両の所要路網密度に包含することができる。

#### 引 用 文 献

- 1) Makeri Co.: The Standplanner's Manual.
- 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), 1983.
- 3) 林野庁監修: 林業統計要覧 1986 年版. 林野弘済会, 東京, 1986.
- 4) 酒井秀夫: MAKERI ハーベスタに 21 世紀を見た. 機械化林業 364, 1984.
- 5) 酒井秀夫: 合理的集運材方式に基づく長期林内路網計画に関する研究. 東大演報 76, 1987.
- 6) 酒井秀夫・伊藤幸也・石原 猛: チェーンソーによる間伐木の伐木造材作業, 日林誌投稿中.
- 7) 梅田三樹男・辻 隆道・井上公基: 標準功程表と立木評価. 日本林業調査会, 東京, 1982.

(1986 年 12 月 26 日受理)

### Summary

Average processing time of a MAKERI harvester 35 T was 67.8 sec/tree from our experiments of thinning larch. It can fell, delimb, buck, and pile simultaneously which also makes moving time a minimum. Time expenditure is 40% for moving, 26% for delimiting, and almost 0% for felling and bucking. There were no hang-ups even in thinning operations. Productivity of delimiting was 17.8 sec/tree which is the greatest difference from chain-saw operations. The combination of forwarders and this harvester will bring high productivity to one-man operations. Total productivity of this machine is as much as 2.5~6.0 of that of chain-saw operations, and the cost is 3108 yen/m<sup>3</sup>. The harvester will overcome increasing labor costs because of its high productivity. It requires a thinning area of 180~340 ha per year or plantation forests of 3000~5600 ha per year. Although the minimum forest-road network for this machine is 7.3 m/ha calculated from the working area per day, this figure can be included in that for forwarders.