

## 新規作業班による素材生産の生産性とコスト

## Productivities and costs of logging operations by a new work party

田中 亮太<sup>1</sup>・小池 舜<sup>1</sup>・劉 純暉<sup>1</sup>・上村 僚<sup>1</sup>・有賀 一広<sup>1</sup>Ryota TANAKA<sup>1</sup>, Shun KOIKE<sup>1</sup>, Chunhui LIU<sup>1</sup>, Ryo UEMURA<sup>1</sup>, Kazuhiro ARUGA<sup>1</sup><sup>1</sup> 宇都宮大学農学部森林科学科 〒 321-8505 宇都宮市峰町 350Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University,  
350 Mine-machi, Utsunomiya, Tochigi, 321-8505, Japan

## 要 旨

本研究では新規作業班による間伐作業と皆伐作業の時間観測調査を行い、N 森林組合の比較的林地条件に近い間伐、皆伐データと比較検討した。N 森林組合と比較すると、生産性は低く、コストは高いものの、全国平均と比べると生産性は高く、コストは低いことがわかった。N 森林組合とのコストの差は7月に行われた間伐作業よりも、11月に行われた皆伐作業のほうが小さくなった。この要因として、作業人数が間伐は3人、皆伐は2人であったことから労務経費が削減されたことが考えられる。ただし、間伐作業と比べて皆伐作業では、待機時間が増加した。待機時間の増加は、林業機械を有効活用できていないことを示す。今後、待機時間を削減し、効率的に機械を活用していくことが課題である。

キーワード：間伐作業、皆伐作業、生産性、コスト、作業班

## ABSTRACT

This study conducted time studies of thinning and clear cutting operations conducted by a new work party, and compared productivities and costs of thinning and clear cutting operations with similar stand conditions conducted by N Forest Owner's Co-operative. As a result, productivities and costs of thinning and clear cutting operations conducted by the new work party were lower and higher than those conducted by the Co-operative. However, those were higher and lower than average values in Japan. Furthermore, the decreased member of the new work party from three workers of the thinning operation in July to two workers of the clear cutting operations in November reduced the differences of costs between the new work party and the Co-operative from the thinning operation in July to the clear cutting operation in November. However, waiting times were increased from the thinning operation in July to the clear cutting operation in November. The increased waiting times caused lower operating rate of forestry machinery. In order to increase operational efficiencies, it is crucial to reduce waiting times and increase operating rate of forestry machinery.

Keywords: Thinning, Clear cutting, Productivity, Cost, Work party

## 1. はじめに

2012年7月に再生可能エネルギーの固定価格買取制度が開始され、木質バイオマス発電、特に固定価格が税抜32円/kWhと高値となった未利用木材を燃料とする発電施設が全国で、多数計画されている。ただし、出力5MWで年間6万トン程度が必要とされる未利用木材を買取期間20年間、安定して調達できるかが懸念されている。

栃木県北地域においては、2014年10月、県北木材協同組合那珂川工場併設の那珂川バイオマス発電所が売電を開始した。県北木材協同組合那珂川工場は森林資源のフル活用と地域振興を目指し、2012年4月に

稼働を始めた月間2,400m<sup>3</sup>のABC材を一括で受け入れる新工場である。また、発電所は木質専焼で、燃料の3割を製材副産物、7割を未利用木材で賄うとし、年間5万m<sup>3</sup>の燃料材が必要となる(2)。

未利用木材は2012年8月4日に立ち上げられた地域の森林組合と素材生産業者からなる那珂川バイオマス協議会が主に供給する。その中のS社は一人親方含め素材生産10組と契約を結び、社長を含め3人、トラック4台で年間18,000m<sup>3</sup>の素材を集荷する卸業者で、県北木材協同組合那珂川工場の素材需要量の約6割を毎月卸している業者であるが、発電所に安定的に燃料材の供給を行うべく、県北木材協同組合の主体である

T 社や自社で購入した林地，立木や国有林の立木を生産する 3 人 1 組の作業班が，2014 年 4 月に立ち上げられた。作業員は K 氏(38 歳)，F 氏(43 歳)，A 氏(47 歳)であり，K 氏は森林組合で主にチェーンソーによる伐倒を，F 氏は碎石場で重機の操縦を，A 氏は森林組合や一人親方として素材生産を行っていた経歴を持つ。

本研究では，このような新規に結成された作業班がどの程度の生産性をあげることができるのか，また，今後，効率的に素材生産を行うために必要となる条件を検討するため，間伐作業と皆伐作業の時間観測調査を行い，年間素材生産 29,000m<sup>3</sup>と栃木県内では屈指の素材生産量を誇り，発電所へ燃料材を供給する森林組合の中では，燃料材の 5 割以上を占める N 森林組合で行われた過去の調査結果(3, 4, 5)と比較検討した。

## 2. 調査概要

間伐作業の調査地は栃木県大田原市須賀川の民有林 8 林班ウ 1 小班である(表-1, 写真-1, 図-1)。皆伐作業の調査地は茨城県常陸大宮市高部の民有林 216 林班 85 小班である(表-1, 写真-2, 図-2)。間伐作業地，皆伐作業地の主な樹種はスギであるが，間伐調査プロット内には 3%のヒノキが含まれ，皆伐作業地では作業道作設地の樹種はヒノキであった。2 対象地を比べると，間伐作業地が林齢 57 年であり，皆伐作業地が 38 年と間伐作業地の方が高齢であるが，成長量の違いが著しく，皆伐作業地の平均幹材積は間伐作業地の 2 倍近くになる(表-1)。

また，平均樹高，平均胸高直径，平均幹材積，立木密度，蓄積は調査地内に設置した 1 箇所のプロット調

査より求めた。間伐作業の平均素材材積はプロセッサ造材時に得られた平均玉数と平均丸太材積より算出した。皆伐作業の平均歩留まりは調査できなかったため，今回は水庭ら(4)と同じ値を用いた。材積式は林野庁が作成した材積表調整業務資料の前橋営林局表日本・裏日本スギ立木幹材積調整表，前橋営林局ヒノキ立木幹材積調整表に掲載されている材積式を利用した(1)。

間伐作業は 2014 年 7 月に 3 人 1 組で行われた。作業道作設は 2 人 1 組で，チェーンソーによる支障木伐倒を K 氏が，グラップル付バックホウ(ベースマシン：日立建機 ZAXIS40U，グラップルヘッド：イワフジ GS-50LJV，ウィンチ：イワフジ TW-1S)の操縦を F 氏が行う(写真-3)。そして，伐倒木を A 氏がもう 1 台のグラップル付バックホウで集積し，プロセッサ(ベースマシン：日立建機 ZAXIS75USL，イワフジ GP-25A)で造材する(写真-4)。作業道作設後は，K 氏がチェーンソーで間伐，F 氏がグラップル付バックホウで集積し，A 氏がプロセッサ造材，フォワーダ(モロオカ MST-650VDL)で短幹材を搬出し，土場でもう 1 台のグラップル付バックホウにより極積みする。間伐作業に使用された作業機械の内，チェーンソー以外はレンタルである。

皆伐作業は 2014 年 11 月に 2 人 1 組で行われた。作業道作設は 2 人 1 組でチェーンソーによる支障木伐倒を K 氏が，グラップル付バックホウ(ベースマシン：CAT308ECR，グラップルヘッド：南星 BHS10GMR-6)の操縦を F 氏が行う。支障木は作設した道に向かって伐倒するため，伐倒中は F 氏が土場近くまで戻りハーベスタ(ベースマシン：CAT308ECR，ハーベスタヘッド：KETO51Supreme)に乗換，集積，造材，フォワー

表-1 調査地の概要

	間伐作業地				皆伐作業地		
	本研究		N 森林組合(5)		本研究	N 森林組合(4)	
施業年度	2014 年度		2010 年度		2014 年度	2013 年度	
小班名	8 林班ウ 1 小班		10 林班オ 2 小班		216 林班 85 小班	39 林班ア 15 小班	
樹種	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	スギ	スギ
樹種比率(%)	97	3	-	-	-	-	-
林齢(年)	57		53		38	58	
小班面積(ha)	0.92		3.09		0.15	1.23	
平均林地傾斜(°)	30		15		30	28	
路網密度(m/ha)	256		311		267	482	
平均胸高直径(cm)	19	15	32	27	34	25	33
平均樹高(m)	21	17	19	20	20	24	25
平均幹材積(m <sup>3</sup> /本)	0.37	0.21	0.70	0.63	0.82	0.64	1.00
立木密度(本/ha)	2,000	67	1,000	1,200	800	1,600	800
蓄積(m <sup>3</sup> /ha)	740	14	700	756	656	1,024	797
伐採木平均胸高直径(cm)	18	14	26	19	29	31	30
伐採木平均樹高(m)	22	15	16	17	19	23	23
伐採木平均幹材積(m <sup>3</sup> )	0.43	0.08	0.40	0.25	0.59	0.63	0.89
平均素材材積(m <sup>3</sup> /本)	0.28	-	0.32	0.20	0.47	0.57	0.80
平均歩留まり(%)	64	-	-	79	-	90	90
本数間伐率(%)	46	19	30	42	25	-	-
材積間伐率(%)	53	7	17	16	18	-	-
伐採材積(m <sup>3</sup> /ha)	392	1	120	125	118	1,024	711
出材量(m <sup>3</sup> /ha)	251	0	-	96	-	922	639

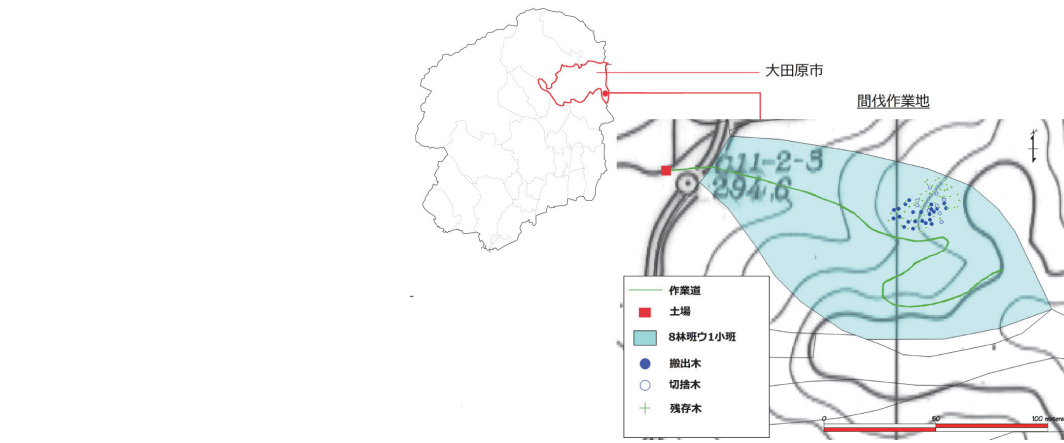


図-1 間伐調査地

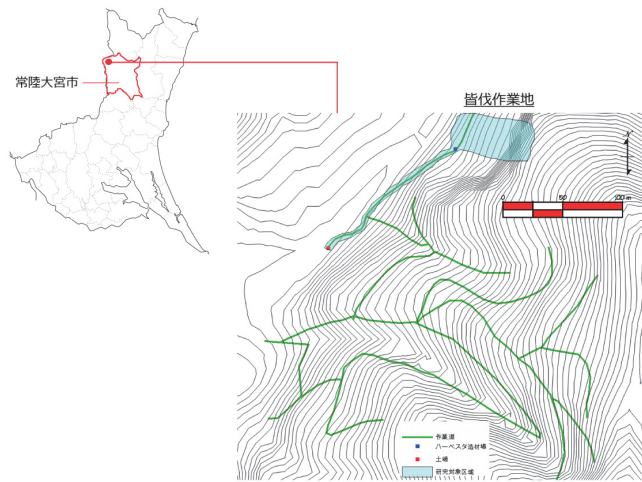


図-2 皆伐調査地



写真-1 間伐作業地の作業前（左）と作業後（右）



写真-2 皆伐作業地の作業前（左）と作業後（右）

ダ（モロオカ MST-650VDL）への積み込みを行う（写真－5）。支障木伐倒後、F氏はグラップル付バックホウに乗換、作業道作設を再開する。F氏が作業道作設中、支障木伐倒は行えないため、K氏は待機時間となる。皆伐作業は2人作業となったため、集積、造材を同時に行うことができず、K氏に長時間の待機時間が生じていた。作業道作設後はK氏による伐倒、F氏によるハーベスタ集積、造材、積み込み、K氏によるフォワーダ搬出、土場でグラップル付バックホウ（ベースマシン：CAT305ECR、グラップルヘッド：南星機械

BHS10GMR-6、ウィンチ：イワフジ TW-1S）により短幹材を極積みする。皆伐作業に使用された作業機械は平成 26 年度森林整備加速化・林業再生基金事業の補助を受け、購入されたものである。

これらの作業工程についてビデオカメラを用いた時間観測調査を行い、搬出距離等の作業条件を測定した。また、これらのデータを解析し、得られた結果を N 森林組合の比較的林地条件の近い間伐、皆伐データと比較した（3, 4, 5）。



写真－3 間伐作業の作業道作設（左：支障木伐倒、中：グラップル付バックホウによる掘削、右：グラップル付バックホウによる集積）



写真－4 間伐作業の造材作業



写真－5 皆伐作業のハーベスタによる木寄せ・造材・フォワーダへの積み込み

3. 結果と考察

3.1 サイクルタイム・生産性

3.1.1 間伐作業

間伐作業の現地調査は2014年7月16日(1時間26分48秒)、22日(4時間32分33秒)の計2日間行い、観測時間の合計は5時間59分21秒であった。

(a) グラップル付バックホウ作業道作設

グラップル付バックホウによる作業道作設の時間観測により得られたサイクルタイムを表-2に示す。観測時間は7月16日の1時間26分48秒(5,208秒)であり、観測時間内の作設距離は17.26mであったことから生産性は11.97m/時、2人1組で作業が行われたため、労働生産性は5.99m/人時であった。N森林組合(5)の労働生産性は14.9m/人時より、今回の労働生産性は低かった。なお、この作業道は既設作業道を修繕したものであり、幅員は2.5mである。要素時間のワイヤーは伐倒木を後方へ移動させる時に、グラップル付バックホウのワイヤーを伐倒木に掛けている時間である。主にバケットの上に伐倒木を乗せ、後方へ運ぶことが困難なときに使用された。

グラップル付バックホウの材積あたりの生産性  $P_z$  (m<sup>3</sup>/人時)、サイクルタイム  $CT_z$  (秒/本)は、間伐作業地の伐採材積  $S$  (392.2m<sup>3</sup>/ha)、造材歩留まり  $y$  (0.64)、作業面積  $A$  (0.92ha)、mあたりの生産性  $P_{ZM}$  (5.99m/人時)、作業道作設距離  $L_m$  (234.5m)、伐採木平均幹材積  $V_n$  (0.43m<sup>3</sup>/本)より次式で求められる。

$$P_z = \frac{SyAP_{ZM}}{L_m} = \frac{392.2 \times 0.64 \times 0.92 \times 5.99}{234.5} = 5.90 \text{ m}^3/\text{人時} \quad (1)$$

$$CT_z = \frac{3,600yV_n}{P_z} = \frac{3,600 \times 0.64 \times 0.43}{5.90} = 168 \text{ 秒/本} \quad (2)$$

(b) チェーンソー伐倒

チェーンソーによる伐倒作業の時間観測により得られたサイクルタイムを表-3に示す。観測時間は7月22日の2時間9分39秒(7,779秒)である。

22日の時間観測結果により、平均サイクルタイム1分41秒/本、平均幹材積0.32m<sup>3</sup>/本により、生産性は11.41m<sup>3</sup>/人時であった。伐倒時、搬出木と切捨木の伐倒方法が異なっていたため、サイクルタイムは搬出木、切捨木にそれぞれ分類した。搬出木が受口を作って伐倒しているのに対して、切捨木は追口のみで伐倒していたため、要素作業も少なくサイクルタイムも短い。造材作業の枝払い・玉切りは伐倒した切捨木が作業の邪魔にならないように玉切りした時間である。その他は燃料補給である。

なお、チェーンソー伐倒について搬出木1本が伐倒されるサイクルタイム  $CT_c$  (秒/本)は作業時間(7,779秒)、搬出木の本数(22本)を用いて次式より求められる。

$$CT_c = \frac{7,779}{22} = 354 \text{ 秒/本} \quad (3)$$

生産性は造材歩留まり  $y$  (0.64)、伐採木平均幹材積  $V_n$  (0.43m<sup>3</sup>/本)を用いて、以下の式より算出した。

$$P_c = \frac{3,600yV_n}{CT_c} = \frac{3,600 \times 0.64 \times 0.43}{354} = 2.80 \text{ m}^3/\text{人時} \quad (4)$$

N森林組合(5)と比較すると、N森林組合(5)では作業時間の多くを造材時間が占めていることが分かる。そこで、枝払い・玉切り、その他、休息を除いたチェーンソー伐倒のみの作業時間を比較すると、間伐木の中には胸高直径の小さいものが多かったため、合計のサイクルタイムはN森林組合(5)と比べて短く

表-2 間伐作業におけるグラップル付バックホウの作業道作設時間と占有率(%)

支障木処理	21"( 7.1 )
掘削	75"( 25.1 )
伐根処理	56"( 18.6 )
整地	16"( 5.3 )
走行・移動	46"( 15.3 )
材移動	44"( 14.7 )
ワイヤー	13"( 4.3 )
待機時間	14"( 4.8 )
停止時間	14"( 4.8 )
合計	5'01"(100.0)
伐倒処理本数(本)	9
観測作設距離(m)	17.26
生産性(m/人時)	5.99
サイクルタイム(秒/本)	168
生産性(m <sup>3</sup> /人時)	5.90

表-3 間伐作業におけるチェーンソー伐倒のサイクルタイムと占有率(%)

	本研究		N森林組合(5)	
	搬出木	切捨木	合計	調査地③
移動・選木・足場作り	47"( 21.7 )	26"( 45.7 )	32"( 31.7 )	65"( 15.3 )
受口切り	48"( 22.4 )	- ( - )	20"( 20.3 )	26"( 6.1 )
追口切り	31"( 14.6 )	10"( 17.3 )	8"( 8.5 )	38"( 9.0 )
くさび打ち	23"( 10.8 )	- ( - )	6"( 6.3 )	15"( 3.5 )
退避	1"( 0.3 )	- ( - )	0"( 0.2 )	- ( - )
掛かり木処理	- ( - )	- ( - )	- ( - )	5( 1.2 )
伐倒作業	2'31"( 69.7 )	37"( 63.0 )	1'08"( 66.9 )	2'29"( 35.1 )
枝払い・玉切り	- ( - )	6"( 9.6 )	4"( 4.0 )	4'36"( 64.9 )
付帯	- ( - )	- ( - )	- ( - )	- ( - )
造材作業	- ( - )	6"( 9.6 )	4"( 4.0 )	4'36"( 64.9 )
その他	4"( 2.5 )	2"( 2.2 )	2"( 2.4 )	- ( - )
休息	49"( 27.8 )	19"( 25.1 )	27"( 26.7 )	- ( - )
合計	3'24"(100.0)	1'02"(100.0)	1'41"(100.0)	7'05"(100.0)
測定サイクル数(本)	22	55	77	19
平均幹材積(m <sup>3</sup> /本)	0.43	0.08	0.32	0.47
伐倒生産性(m <sup>3</sup> /人時)	7.15	5.31	11.41	3.98

なった。一方、搬出木については、N 森林組合 (5) とほぼ同じ時間を示した。N 森林組合 (5) と比べて、本研究では移動・選木・足場作りが短く、伐倒時間が長かった。今回は樹種の違い、立木幹材積ごとのサイクルタイムを測定することができなかつたため、今後、この点について比較検討する必要がある。

#### (c) グラップル付バックホウ集積

グラップル付バックホウによる集積作業の時間観測により得られたサイクルタイムを表-4に示す。観測時間は7月22日の38分47秒(2,327秒)である。

22日の時間観測結果により、平均サイクルタイム2分25秒/本、平均素材材積0.28m<sup>3</sup>/本により、生産性は6.81m<sup>3</sup>/人時であった。なお、N森林組合(5)はグラップル集積の時間観測を行っていないため比較は行っていない。

表-4 間伐作業におけるグラップル付バックホウ集積のサイクルタイムと占有率(%)

木寄せ・枝払い	1'09"( 47.2 )
極積み	48"( 33.0 )
集積場片付け	15"( 10.8 )
走行	13"( 9.0 )
合計	2'25"( 100.0 )
測定サイクル数(本)	16
平均幹材積(m <sup>3</sup> /本)	0.43
生産性(m <sup>3</sup> /人時)	10.62
平均素材材積(m <sup>3</sup> /本)	0.28
生産性(m <sup>3</sup> /人時)	6.81

#### (d) プロセッサ造材

プロセッサによる造材作業の時間観測により得られたサイクルタイムを表-5に示す。観測時間は7月22日の49分31秒(2,971秒)である。

表-5 間伐作業におけるプロセッサ造材のサイクルタイムと占有率(%)

	本研究	N森林組合(5)
移動	-( - )	6"( 3.4 )
材掴み	40"( 20.2 )	20"( 11.4 )
枝払い・玉切り	1'19"( 39.4 )	64"( 36.6 )
極積み	42"( 21.3 )	63"( 36.0 )
残材処理	29"( 14.9 )	22"( 12.6 )
その他	8"( 4.2 )	-( - )
作業時間	3'18"( 100.0 )	2'55"( 100.0 )
測定サイクル数(本)	15	32
平均丸太材積(m <sup>3</sup> /玉)	0.07	-
平均玉数(玉/本)	4	-
平均素材材積(m <sup>3</sup> /本)	0.28	0.59
造材歩留まり(%)	64	-
生産性(m <sup>3</sup> /人時)	5.00	12.14

22日の時間観測結果により、平均サイクルタイム3分18秒/本、平均素材材積0.28m<sup>3</sup>/本により、生産性は5.00m<sup>3</sup>/人時であった。その他はチェーンソーによる造材である。N森林組合(5)と比較すると、生産性は半分以下であり、材掴み、枝払い・玉切りにおいて10秒以上の差が認められた。この原因として、伐倒木が集積された場所が考えられる。作設した作業道は谷沿にあり、作業道脇は2m程の窪みとなっていた。

そこへ伐倒木が集積されていたため、作業道上へ材を移動する際に、掴み直しが多かったためではないかと考えられる。

#### (e) フォワーダ搬出

フォワーダによる搬出作業の時間観測により得られたサイクルタイムを表-6に示す。観測時間は7月22日の54分36秒(3,276秒)である。

22日の時間観測結果により、集材時間54分36秒/回、平均積載量4.47m<sup>3</sup>/回により、生産性は4.91m<sup>3</sup>/人時であった。平均実車速度、平均空車速度が低いが、この原因は作業道入口付近の泥濘である。作業道が作られたことにより、それまで水の通り道だった箇所が埋められたため、この現象が起きたと考えられる。この箇所には作業終了後、排水施設が設置された。

集材時間  $T_F$  (3,276秒/回)、造材歩留まり  $y$  (0.64)、伐採木平均幹材積  $Vn$  (0.43m<sup>3</sup>/本)、平均積載量  $Vl$  (4.47m<sup>3</sup>/回) を用いて、次式により1本あたりのフォワーダ搬出のサイクルタイム  $CT_F$  (秒/本) が求められる。

$$CT_F = \frac{T_F y Vn}{Vl} = \frac{3,276 \times 0.64 \times 0.43}{4.47} = 202 \text{ 秒 / 本} \quad (5)$$

プロセッサ造材とフォワーダ搬出はA氏により、1人で作業が行われたため、N森林組合(5)と比較して、平均積載量はほぼ同じであったが、集材時間は長く、生産性は低かった。その他の原因としては走行速度が低かったこと、全体的に、各要素作業時間が長く、荷下ろしについては90秒程の差が出たことである。この原因として平均幹材積の違いから、平均丸太材積の違い、積み込む丸太数も違ったことが考えられる。なお、荷下ろしは本研究ではグラップル付バックホウ、N森林組合(5)はフォワーダに搭載されたグラップルによるものである。

また、フォワーダの搬出距離  $L$  (m/回) を変数とし、集材時間及び生産性の推定式を算出する。フォワーダの集材時間  $T_F$  (秒/回) の推定式は、空走行速度  $v_1$  (0.46m/s)、実走行速度  $v_2$  (0.50m/s)、走行時間を除いたサイクルタイムの合計  $\alpha$  (3,050秒/回) を用いて、次式で表される。また、N森林組合(5)の集材時間推定式(7)を併せて示す。

$$T_F = \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)L + \alpha = \left(\frac{1}{0.46} + \frac{1}{0.50}\right)L + 3,050 = 4.17L + 3,050 \text{ 秒 / 回} \quad (6)$$

$$T_F = 1.50L + 1,236 \text{ 秒 / 回} \quad (7)$$

一方、生産性  $P_F$  (m<sup>3</sup>/人時) の推定式は平均積載量  $Vl$  (4.47m<sup>3</sup>/回) を用いて、以下の式で表される。また、N森林組合(5)の生産性推定式(9)を併せて示す(図-3)。

$$P_F = \frac{3,600Vl}{T_F} = \frac{3,600 \times 4.47}{4.17L + 3,050} = \frac{16,092}{4.17L + 3,050} \text{ m}^3/\text{人時} \quad (8)$$

$$P_F = \frac{15,804}{1.50L + 1,236} \text{ m}^3/\text{人時} \quad (9)$$

今回の生産性は搬出距離によらず、N森林組合(5)の生産性より低い値を示した。このことから、搬出1回に含まれる走行以外の作業効率を上げることが課題であることが分かる。

表-6 間伐作業におけるフォワーダ搬出のサイクルタイムと占有率(%)

	本研究	N森林組合(5)
空走行	1'58"( 3.6 )	2'12"( 8.8 )
積み込み・荷下ろし準備	1'38"( 3.0 )	1'32"( 6.2 )
積み込み・プロセスサ造材	38'47"( 71.0 )	- ( - )
積み込み	- ( - )	10'30"( 42.3 )
積込移動	30"( 0.9 )	1'21"( 5.4 )
実移動	1'48"( 3.3 )	1'47"( 7.2 )
荷下ろし	9'55"( 18.2 )	7'28"( 30.1 )
合計	54'36"( 100.0 )	24'50"( 100.0 )
測定サイクル数(回)	1	6
平均積載量(m <sup>3</sup> /回)	4.47	4.34
平均搬出距離(m)	53.80	155.2
平均空車速度(m/秒)	0.46	1.24
平均実車速度(m/秒)	0.50	1.39
生産性(m <sup>3</sup> /人時)	4.91	10.56

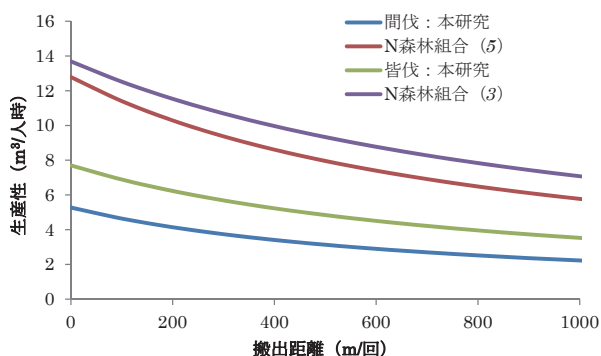


図-3 フォワーダ搬出の生産性比較

(f) 作業システム全体

グラップル付バックホウ作業道作設(2人)のサイクルタイム  $CT_Z$  (168秒/本), チェーンソー伐倒(1人)のサイクルタイム  $CT_C$  (354秒/本), グラップル付バックホウ集積(1人)のサイクルタイム  $CT_G$  (145秒/本), フォワーダ搬出(プロセスサ造材, グラップル付バックホウ積込含む1人)のサイクルタイム  $CT_F$  ( $0.257L + 188$ 秒/本)の合計を用いて, 作業システム全体のサイクルタイム  $CT_A$  (秒/本)が次式より算出できる。

$$CT_A = CT_Z + CT_C + CT_G + CT_F = 0.257L + 855 \text{ 秒/本} \quad (10)$$

また, 作業人数を考慮した作業システム全体のサイクルタイム  $CT_N$  (人秒/本)から作業システム全体の労働生産性  $P_A$  (m<sup>3</sup>/人時)を算出する。

$$P_A = \frac{3,600yVn}{CT_N} = \frac{3,600 \times 0.43 \times 0.64}{0.257L + 1,023} = \frac{991}{0.257L + 1,023} \text{ m}^3/\text{人時} \quad (11)$$

以上より, 1人1日あたりの作業システム全体の労働生産性  $P$  (m<sup>3</sup>/人日)を, 1日の実働時間  $tw$  (6時間)を用いて, 次式より算出する(図-4)。

$$P = tw \times P_A = 6 \times \frac{991}{0.257L + 1,023} = \frac{5,946}{0.257L + 1,023} \text{ m}^3/\text{人日} \quad (12)$$

平均搬出距離  $L$  (53.80m)から求められる作業システム全体のサイクルタイムは869秒/本, 生産性は0.96m<sup>3</sup>/人時, 1人1日あたりの生産性は5.73m<sup>3</sup>/人日である(表-7)。

生産性は, 2008年間伐作業の全国平均3.45m<sup>3</sup>/人日(13), 高性能林業機械を導入している間伐作業4.35m<sup>3</sup>/人日(13), 2009年間伐作業の全国平均3.45m<sup>3</sup>/人日(14)と比較して高い値である。ただし, 全国平均の生産性は素材生産量を投下労働量の従事日数で除した値であり, 作業現場間の林業機械の移動や段取り等も含めた年間を通じた平均値であることに注意を要する。また, 林野庁の低コストで効率的な素材生産を行っている林業事業体の活動事例報告の栃木県内の事例の2006年5~8m<sup>3</sup>/人日(7), 2007年7m<sup>3</sup>/人日(8), 2008年5~8m<sup>3</sup>/人日(9), 2010年4~6m<sup>3</sup>/人日(11), 2011年5~7m<sup>3</sup>/人日(12)と比べると, 同程度であることがわかる。ただし, 今回の生産性は10年後の目標として示されている8~10m<sup>3</sup>/人日(14)にはN森林組合(5)とは異なり達していない。

N森林組合(5)も含めて, 各作業の生産性を表-7に示す。なお, N森林組合(5)の作業道作設, 集積は, 時間観測を行っていないため, 作業日報から求めた値を使用している。比較の結果, 造材, 搬出時に生産性が大きく下回ることがわかった。しかし, 合計で比較した場合, N森林組合(5)はそれぞれ作業を独立して行っているのに対して, 本研究の搬出には造材, 積込時間が含まれているため, 作業システム全体の生産性に大きな差は生じなかった。

N森林組合(5)のグラップル付バックホウ(1人)のサイクルタイム  $CT_Z$  (225秒/本), チェーンソー伐倒(1人)のサイクルタイム  $CT_C$  ( $136Vn + 111$ 秒/本), グラップル付バックホウ集積(1人)のサイクルタイム  $CT_G$  (225秒/本), プロセスサ造材(1人)のサイクルタイム  $CT_P$  ( $89yVn + 114$ 秒/本), フォワーダ(1人)のサイクルタイム  $CT_F$  ( $0.112L + 92$ 秒/本)の合計を用いて, 作業システム全体のサイクルタイム  $CT_A$  (秒/本)が次式より算出できる。

$$CT_A = CT_Z + CT_C + CT_G + CT_P + CT_F = 136Vn + 89yVn + 0.112L + 767 \text{ 秒/本} \quad (13)$$

また、作業人数を考慮した作業システム全体のサイクルタイム  $CT_N$  (人秒/本) から作業システム全体の労働生産性  $P_A$  ( $m^3$ /人時) を算出する。

$$P_A = \frac{3600yVn}{CT_N} = \frac{3,600yVn}{136Vn+89yVn+0.112L+767} m^3/\text{人時} \quad (14)$$

以上より、1人1日あたりの作業システム全体の労働生産性  $P$  ( $m^3$ /人日) を、1日の実働時間  $tw$  (6時間) を用いて、次式より算出する (図-4)。

$$P = tw \times P_A = 6 \times \frac{3,600yVn}{136Vn+89yVn+0.112L+767} = \frac{21,600yVn}{136Vn+89yVn+0.112L+767} m^3/\text{人日} \quad (15)$$

本研究の造材歩留まり  $y$  (0.64)、伐採木平均幹材積  $Vn$  ( $0.43m^3$ /本)、平均搬出距離  $L$  (53.80m) から求められる作業システム全体のサイクルタイムは 856 秒/本、生産性は  $1.16m^3$ /人時、1人1日あたりの生産性は  $6.94m^3$ /人日となり、本研究と近い値となった。

表-7 間伐作業の生産性 ( $m^3$ /人時) 比較

調査地	本研究	N 森林組合 (5)
作業道作設	5.90	5.19
伐倒	2.80	3.14
集積	6.81	5.19
造材	5.00	12.14
搬出	4.91	10.56
合計	0.96	1.34
( $m^3$ /人日)	5.73	8.05

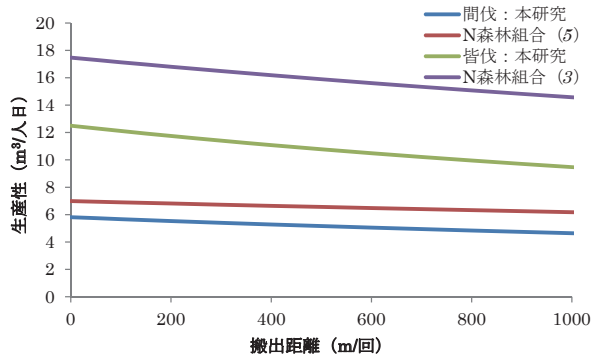


図-4 作業システムの生産性比較

### 3.1.2 皆伐作業

皆伐作業の現地調査は 2014 年 11 月 13 日 (4 時間 10 分 9 秒), 19 日 (5 時間 39 分 3 秒) の計 2 日間行い、観測時間の合計は 9 時間 49 分 12 秒であった。

#### (a) グラップル付バックホウ作業道作設

グラップル付バックホウによる作業道作設の時間観測により得られたサイクルタイムを表-8に示す。観測時間は 11 月 13 日の 1 時間 24 分 43 秒 (5,083 秒) であり、観測時間内の作設距離は 38.90m であったこ

とから生産性は  $27.55m^3$ /時、2人1組で作業が行われたため労働生産性は  $13.78m^3$ /人時であった。なお、この作業道は新設されたものであり、幅員は 3.0m である。支障木処理 (その他) は竹や小径木の処理である。また、その他は打ち合わせである。

表-8 皆伐作業におけるグラップル付バックホウの作業道作設時間と占有率 (%)

	本研究	N 森林組合 (4)
支障木処理	14" ( 11.0 )	1'15" ( 38.5 )
支障木処理(その他)	8" ( 6.1 )	- ( - )
掘削	38" ( 28.7 )	35" ( 18.0 )
伐根処理	13" ( 9.9 )	30" ( 15.5 )
土落とし	- ( - )	7" ( 3.7 )
整地	29" ( 22.3 )	17" ( 8.6 )
走行・移動	17" ( 13.1 )	7" ( 3.4 )
材移動	5" ( 3.9 )	22" ( 11.0 )
その他	1" ( 3.2 )	- ( - )
待機時間	2" ( 1.8 )	2" ( 1.1 )
合計	2'11" ( 100.0 )	3'15" ( 100.0 )
伐倒処理本数(本)	7	30
観測作設距離(m)	38.90	29.00
生産性( $m^3$ /人時)	13.78	18.42
サイクルタイム(秒/本)	119.00	45.00
生産性( $m^3$ /人時)	17.18	64.54

グラップル付バックホウの材積あたりの生産性  $P_Z$  ( $m^3$ /人時)、サイクルタイム  $CT_Z$  (秒/本) は伐採材積  $S$  ( $1,024m^3/ha$ )、造材歩留まり  $y$  (0.90)、作業面積  $A$  (0.15ha)、mあたりの生産性  $P_{ZM}$  ( $13.78m^3$ /人時)、作業道作設距離  $L_m$  (110.85m)、伐採木平均幹材積  $Vn$  ( $0.63m^3$ /本) より次式で求められる。

$$P_Z = \frac{SyAP_{Zb}}{L_m} = \frac{1,024 \times 0.90 \times 0.15 \times 13.78}{110.85} = 17.18 m^3/\text{人時} \quad (16)$$

$$CT_Z = \frac{3,600yVn}{P_Z} = \frac{3,600 \times 0.90 \times 0.63}{17.18} = 119 \text{秒/本} \quad (17)$$

N 森林組合 (4) の労働生産性は  $18.42m^3$ /人時より、本研究の労働生産性より高かった。ただし、本研究の作業道作設は新規作設であるが、N 森林組合 (4) は既設作業道の拡幅であり、N 森林組合 (4) の拡幅は新規作設の 2 倍の生産性であるとの記述がある。N 森林組合 (4) において新規作設を想定すると生産性は半分になるため、本研究の m あたりの生産性は高いことが分かる。なお、N 森林組合 (4) ではグラップル付バケットを使用していた。

#### (b) チェーンソー伐倒

チェーンソーによる伐倒作業の時間観測により得られたサイクルタイムを表-9に示す。観測時間は 11 月 13 日の 1 時間 40 分 2 秒 (6,002 秒)、11 月 19 日の 2 時間 2 分 34 秒 (7,354 秒) である。

13 日、19 日の時間観測結果により、平均サイクルタイムがそれぞれ 12 分 01 秒/本、2 分 5 秒/本、平均幹材積  $0.50m^3$ /本、 $0.74m^3$ /本により、生産性は  $2.49m^3$ /人時、 $21.27m^3$ /人時であった。その他は打合せである。



11月13日の生産性が低いが、11月13日は作業道作設時の支障木伐倒で、待機時間が長かったためである。

(c) ハーベスタ造材

ハーベスタによる造材作業の時間観測により得られたサイクルタイムを表-10に示す。観測時間は11月13日の1時間5分43秒(3,924秒)、11月19日の57分20秒(3,440秒)である。

13日、19日の時間観測結果により、平均サイクルタイムがそれぞれ5分57秒/本、3分49秒/本、平均素材材積0.38m<sup>3</sup>/本、0.76m<sup>3</sup>/本により、生産性は3.85m<sup>3</sup>/人時、11.86m<sup>3</sup>/人時であった。

ハーベスタによる伐倒は1度だけ行われた。伐倒(その他)はハーベスタによる竹の伐倒である。また待機時間はK氏の伐倒を待っている時間、その他は打合せ、材長を測定している時間である。なお、材長計測は

19日のみ観測された。直径30cmを超える材は、造材時に滑り、造材が円滑に行えなかったため、チェーンソーで造材したためである。

13日は作業道作設時の支障木造材で、作業道に向かって倒した木を造材しやすい土場付近まで木寄せし、造材を行っていたため木寄せ時間が長い。また、13日はグラップル付バックホウとの乗り換えが多かったため、移動時間の割合が大きい。ただし、フォワーダ上で造材を行い、積み込みを行わず、そのまま短幹材を積載していることが多かったため、積み込み時間はその分短縮された。

N森林組合(4)と比較すると、サイクルタイムはN森林組合(4)を上回る結果となったが、造材のみにかかる作業時間を見るとN森林組合(4)よりも短い。したがって、その他にかかる時間を短縮することができれば、サイクルタイムは短くなることが示唆される。

表-9 皆伐作業におけるチェーンソー伐倒のサイクルタイムと占有率(%)

	本研究			N森林組合(4) 中傾斜地
	11月13日	11月19日	合計	
移動・選木・足場作り	44"( 6.1 )	22"( 17.5 )	24"( 12.5 )	51"( 17.3 )
受口切り	21"( 2.9 )	14"( 11.1 )	14"( 7.5 )	17"( 5.6 )
心切り	-( - )	-( - )	-( - )	5"( 1.7 )
追口切り	33"( 4.6 )	13"( 10.4 )	15"( 7.8 )	29"( 9.7 )
くさび打ち	30"( 4.2 )	6"( 4.5 )	8"( 4.4 )	16"( 5.2 )
退避	-( - )	-( - )	-( - )	9"( 3.1 )
切り株	-( - )	-( - )	-( - )	11"( 3.7 )
伐倒作業	2'08"( 17.7 )	55"( 43.5 )	1'01"( 32.2 )	2'17"( 46.4 )
枝払い・玉切り	-( - )	-( - )	-( - )	9"( 3.1 )
付帯	-( - )	-( - )	-( - )	4"( 1.2 )
造材作業	-( - )	-( - )	-( - )	13"( 4.4 )
待機	9'44"( 80.9 )	1'10"( 56.3 )	2'28"( 67.2 )	2'26"( 49.2 )
その他	10"( 1.4 )	0"( 0.2 )	1"( 0.7 )	-( - )
合計	12'01"( 100.0 )	2'05"( 100.0 )	3'14"( 100.0 )	4'56"( 100.0 )
測定サイクル数(本)	8	59	67	57
平均幹材積(m <sup>3</sup> /本)	0.50	0.74	0.71	0.93
伐倒生産性(m <sup>3</sup> /人時)	2.49	21.27	13.18	11.83

表-10 皆伐作業におけるハーベスタ造材のサイクルタイムと占有率(%)

	本研究			N森林組合(4) 中傾斜地
	11月13日	11月19日	合計	
材掴み	10"( 2.8 )	13"( 5.8 )	12"( 4.2 )	14"( 7.0 )
木寄せ	52"( 14.6 )	-( - )	22"( 7.8 )	-( - )
枝払い・玉切り	1'32"( 27.3 )	1'27"( 38.1 )	1'29"( 31.6 )	1'28"( 44.3 )
チェーンソー造材	10"( 2.9 )	11"( 4.9 )	11"( 3.8 )	-( - )
末木処理	13"( 3.6 )	11"( 4.7 )	12"( 4.1 )	10"( 4.8 )
桎積み	1"( 0.2 )	4"( 1.6 )	2"( 0.8 )	1'21"( 40.6 )
造材作業	2'58"( 51.4 )	2'06"( 55.1 )	2'28"( 52.3 )	3'13"( 96.7 )
伐倒	3"( 0.7 )	-( - )	1"( 0.4 )	-( - )
伐倒(その他)	13"( 1.4 )	-( - )	2"( 0.7 )	-( - )
積み込み	20"( 5.6 )	1'18"( 34.0 )	53"( 18.8 )	-( - )
土場片付け	35"( 9.8 )	21"( 9.0 )	27"( 9.5 )	-( - )
移動	1'04"( 17.8 )	-( - )	27"( 6.9 )	-( - )
待機時間	46"( 13.0 )	-( - )	20"( 9.4 )	7"( 3.3 )
その他	6"( 0.0 )	5"( 2.0 )	5"( 1.9 )	-( - )
作業時間	5'57"( 100.0 )	3'49"( 100.0 )	4'43"( 100.0 )	3'19"( 100.0 )
測定サイクル数(本)	11	15	26	66
平均丸太材積(m <sup>3</sup> /玉)	0.11	0.13	0.13	0.12
平均玉数(玉/本)	3.6	5.8	4.9	6.7
平均素材材積(m <sup>3</sup> /本)	0.38	0.76	0.60	0.78
造材歩留まり(%)	90	90	90	90
生産性(m <sup>3</sup> /人時)	3.85	11.86	7.63	14.20

## (d) フォワーダ搬出

フォワーダ搬出作業の時間観測により得られたサイクルタイムを表-11に示す。観測時間は11月19日の1時間33分24秒(5,604秒)である。

19日の時間観測結果により、集材時間46分42秒/回、平均積載量 $5.05\text{m}^3/\text{回}$ により、生産性は $6.49\text{m}^3/\text{人時}$ であった。平均空車速度は土場から引き返す時に土場が狭いため時間がかかり、低くなった。

集材時間 $T_F$ (2,802秒/回)、造材歩留まり $y$ (0.90)、伐採木平均幹材積 $Vn$ ( $0.63\text{m}^3/\text{本}$ )、平均積載量 $Vl$ ( $5.05\text{m}^3/\text{回}$ )を用いて、次式により1本あたりのフォワーダ搬出のサイクルタイム $CT_F$ (秒/本)が求められる。

$$CT_F = \frac{T_F y Vn}{Vl} = \frac{2,802 \times 0.90 \times 0.63}{5.05} = 315 \text{秒/本} \quad (18)$$

N森林組合(4)と比較すると、本研究ではハーベスタ造材が含まれている分、サイクルタイムが長かった。なお、荷下ろしは本研究ではグラップル付バックホウ、N森林組合(4)はフォワーダに搭載されたグラップルによるものである。

フォワーダの搬出距離 $L$ (m/回)を変数とし、1本あたりのサイクルタイム及び生産性の推定式を算出する。1本あたりのサイクルタイム $CT_F$ (秒/本)の推定式は、空走行速度 $v_1$ ( $0.60\text{m/s}$ )、実走行速度 $v_2$ ( $0.89\text{m/s}$ )、走行時間を除いたサイクルタイムの合計 $\alpha$ (2,365秒/回)、1回の搬出あたりの幹本数 $k$ (8.91本/回)を用いて、以下の式で表される。また、N森林組合(3)の1本あたりのサイクルタイム推定式(20)を併せて示す。

$$CT_F = \frac{\left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)L}{k} + \frac{\alpha}{k} = \frac{\left(\frac{1}{0.60} + \frac{1}{0.89}\right)L}{8.91} + \frac{2,365}{8.91} \quad (19)$$

$$= 0.313L + 265 \text{秒/本}$$

$$CT_F = 0.196L + 210 \text{秒/本} \quad (20)$$

一方、生産性 $P_F$ ( $\text{m}^3/\text{人時}$ )の推定式は以下の式で表される。また、N森林組合(3)の生産性推定式(22)を併せて示す(図-3)。

$$P_F = \frac{3,600 y Vn}{CT_F} = \frac{3,600 \times 0.9 \times 0.63}{0.313L + 265} = \frac{2,041}{0.313L + 265} \text{m}^3/\text{人時} \quad (21)$$

$$P_F = \frac{2,874}{0.196L + 210} \text{m}^3/\text{人時} \quad (22)$$

間伐同様、今回の生産性は搬出距離によらず、N森林組合(3)の生産性より低い値を示した。このことから、搬出1回に含まれる走行以外の作業効率を上げることが課題であることが分かる。

表-11 皆伐作業におけるフォワーダ搬出のサイクルタイムと占有率(%)

	本研究	N森林組合(4)
空走行	4'21"( 9.3 )	7'24"( 20.9 )
積み込み・ハーベスタ造材	28'54"( 61.6 )	-( - )
積み込み	-( - )	9'24"( 26.5 )
積込移動	-( - )	12"( 0.6 )
実移動	2'56"( 6.2 )	7'03"( 19.9 )
荷下ろし	10'32"( 22.9 )	7'22"( 20.8 )
付帯	-( - )	1'13"( 3.4 )
待機時間	-( - )	2'50"( 8.0 )
その他	-( - )	-( - )
合計	46'42"( 100.0 )	35'27"( 100.0 )
測定サイクル数(回)	2	7
平均積載量( $\text{m}^3/\text{回}$ )	5.05	4.64
平均搬出距離(m)	156.00	743.73
平均空車速度(m/秒)	0.60	1.61
平均実車速度(m/秒)	0.89	1.81
生産性( $\text{m}^3/\text{人時}$ )	6.49	7.84

## (e) グラップル付バックホウ極積み

グラップル付バックホウ極積みの時間観測により得られたサイクルタイムを表-12に示す。観測時間は11月19日の21分04秒(1,264秒)である。

表-12 皆伐作業におけるグラップル付バックホウ極積みのサイクルタイムと占有率(%)

材掴み	3'24"( 32.2 )
材揃え	1'00"( 9.5 )
極積み	4'37"( 43.8 )
整理	57"( 8.9 )
移動	21"( 3.3 )
その他	14"( 2.2 )
合計	10'32"( 100.0 )
測定サイクル数(回)	2
丸太数(本)	39
平均丸太材積( $\text{m}^3/\text{本}$ )	0.13
積載材積( $\text{m}^3/\text{回}$ )	5.05
サイクルタイム(秒/本)	71
生産性( $\text{m}^3/\text{人時}$ )	28.90

19日の時間観測結果により、フォワーダ搬出1回あたりの極積み時間10分32秒/回、平均積載量 $5.05\text{m}^3/\text{回}$ により、生産性は $28.90\text{m}^3/\text{人時}$ であった。今回、グラップル付バックホウは土場に停めて置き、フォワーダによって搬出された材を土場で極積する役目であった。

また、サイクルタイム $CT_G$ (秒/本)はグラップル付バックホウ極積み時間 $T_G$ (632秒/回)、造材歩留まり $y$ (0.90)、伐採木平均幹材積 $Vn$ ( $0.63\text{m}^3/\text{本}$ )、平均積載量 $Vl$ ( $5.05\text{m}^3/\text{回}$ )を用いて、次式より求められる。

$$P = tw \times P_A = 6 \times \frac{991}{0.257L + 1,023} = \frac{5,946}{0.257L + 1,023} \text{m}^3/\text{人日} \quad (23)$$

(f) 作業システム全体

グラップル付バックホウ作業道作設 (2 人) のサイクルタイム  $CT_Z$  (119 秒/本), チェーンソー伐倒 (1 人) のサイクルタイム  $CT_C$  (125 秒/本), ハーベスタ造材 (1 人) のサイクルタイム  $CT_H$  (229 秒/本), フォワーダ搬出 (グラップル付バックホウ極積含む 1 人) のサイクルタイム  $CT_F$  ( $0.313L+265$  秒/本) の合計を用いて, 作業システム全体のサイクルタイム  $CT_A$  (秒/本) が次式より算出できる。

$$CT_A = CT_Z + CT_C + CT_H + CT_F = 0.313L + 738 \text{ 秒/本} \quad (24)$$

また, 作業人数を考慮した作業システム全体のサイクルタイム  $CT_N$  (人秒/本) から作業システム全体の労働生産性  $P_A$  ( $\text{m}^3/\text{人時}$ ) を算出する。

$$P_A = \frac{3600yVn}{CT_N} = \frac{3600 \times 0.90 \times 0.63}{0.313L + 857} = \frac{2,041}{0.313L + 857} \text{ m}^3/\text{人時} \quad (25)$$

以上より, 1 人 1 日あたりの作業システム全体の労働生産性  $P$  ( $\text{m}^3/\text{人日}$ ) を, 1 日の実働時間  $tw$  (6 時間) を用いて, 次式より算出する (図-4)。

$$P = tw \times P_A = 6 \times \frac{2,041}{0.313L + 857} = \frac{12,247}{0.313L + 857} \text{ m}^3/\text{人日} \quad (26)$$

平均搬出距離  $L$  (156.00m) から求められる作業システム全体のサイクルタイムは 787 秒/本, 生産性は  $2.25\text{m}^3/\text{人時}$ , 1 人 1 日あたりの生産性は  $13.52\text{m}^3/\text{人日}$  である (表-13)。

表-13 皆伐作業の生産性 ( $\text{m}^3/\text{人時}$ ) 比較

調査地	本研究	N 森林組合 (4)
作業道作設	17.18	64.54
伐倒	11.86	10.13
集積	-	11.47
造材	7.63	14.20
搬出	6.49	7.84
合計	2.25	2.55
( $\text{m}^3/\text{人日}$ )	13.52	15.33

生産性は, 2008 年皆伐作業の全国平均  $4.00\text{m}^3/\text{人日}$  (13), 高性能林業機械を導入している皆伐作業  $5.26\text{m}^3/\text{人日}$  (13), 2009 年皆伐作業の全国平均  $4.76\text{m}^3/\text{人日}$  (14) と比較しても非常に高い値である。また, 林野庁の低コストで効率的な素材生産を行っている林業事業体の活動事例報告の栃木県内の事例の 2006 年 8 ~  $12\text{m}^3/\text{人日}$  (7), 2009 年 7 ~  $8\text{m}^3/\text{人日}$  (10), 2011 年に T 森林組合で試験的に行われた皆伐作業の  $10.02 \sim 13.59\text{m}^3/\text{人日}$  (15) と比べると同程度であることがわかる。また, 今回の生産性は 10 年後の目標として示されている  $11 \sim 13\text{m}^3/\text{人日}$  (14) を達成している。

また, 各作業の生産性で N 森林組合 (4) より高かったのは伐倒作業のみであった。これは, N 森林組合 (4) では伐倒時の幹折れ等を防ぐため, 切り株の角切りをしていたが, 今回は切り株の角切りは行っていなかったためである。

N 森林組合 (3) の作業システム全体のサイクルタイム  $CT_A$  (秒/本), 作業システム全体の生産性  $P_A$  ( $\text{m}^3/\text{人時}$ ), 1 人 1 日あたりの作業システム全体の生産性  $P$  ( $\text{m}^3/\text{人日}$ ) が次式より算出できる (図-4)。

$$CT_A = 0.196L + 987 \text{ 秒/本} \quad (27)$$

$$P_A = \frac{2,874}{0.196L + 987} \text{ m}^3/\text{人時} \quad (28)$$

$$P = \frac{17,244}{0.196L + 987} \text{ m}^3/\text{人日} \quad (29)$$

本研究の平均搬出距離  $L$  (156.00m) から求められる作業システム全体のサイクルタイムは  $1,018$  秒/本, 生産性は  $2.82\text{m}^3/\text{人時}$ , 1 人 1 日あたりの生産性は  $16.94\text{m}^3/\text{人日}$  である。N 森林組合 (3) の平均搬出距離は  $L$  (743.73m) であったため, 本研究と N 森林組合 (3) の生産性の差は大きくなった。

### 3.2 コスト

以上で求められた生産性と, 労務経費  $C_L$  (2,550 円/人時), 作業人数  $N$  (人), 機械経費  $C_M$  (円/台時, 表-14), 機械台数  $N_M$  (台) より, 次式を用いて主作業費  $OE$  (円/ $\text{m}^3$ ) を算出した (表-15)。

$$OE = \frac{C_L N + C_M N_M}{P} \text{ 円}/\text{m}^3 \quad (30)$$

間伐の支出  $5,353$  円/ $\text{m}^3$  は 2008 年全国の間伐皆伐作業の生産コスト  $9,333$  円/ $\text{m}^3$ , 高性能林業機械を用いた間伐作業の生産コスト  $9,144$  円/ $\text{m}^3$  と比較して, 低い生産コストであることがわかる (13)。また, 栃木県内の低コストで素材生産を行っている林業事業体の活動事例では 2006 年  $5,600$  円/ $\text{m}^3$  程度 (7), 2007 年  $7,000$  円/ $\text{m}^3$  程度 (8), 2008 年  $5,400 \sim 6,800$  円/ $\text{m}^3$  程度 (9), 2010 年  $6,000 \sim 7,000$  円/ $\text{m}^3$  程度 (11), 2011 年  $6,000 \sim 8,000$  円/ $\text{m}^3$  程度 (12) と報告されており, 今回の調査地についても低コストで素材生産が行われていることが分かる。ただし, 今回のコストは林野庁の定性間伐の目標として示されている  $5,000$  円/ $\text{m}^3$  以下 (14) には N 森林組合 (5) とは異なり達していない。

皆伐の支出  $2,836$  円/ $\text{m}^3$  は 2008 年全国の皆伐作業の生産コスト  $6,342$  円/ $\text{m}^3$ , 高性能林業機械を用いた皆伐作業の生産コスト  $5,162$  円/ $\text{m}^3$  と比較して, 低い生産コストであることがわかる (13)。また, 栃木県

内の低コストで素材生産を行っている林業事業体の活動事例では 2006 年 4,300 円 / m<sup>3</sup> 程度、緩傾斜地で 3,500 円 / m<sup>3</sup> 程度、急傾斜地で 4,000 円 / m<sup>3</sup> 程度 (7)、2009 年 4,000 ~ 6,000 円 / m<sup>3</sup> (10) と報告されており、今回の調査地についても低コストで素材生産が行われていることが分かる。

N 森林組合 (4, 5) と比較すると高い値となったが、コストの差は 7 月に行われた間伐作業よりも、11 月に行われた皆伐作業のほうが小さくなった。この要因として、作業人数が間伐は 3 人、皆伐は 2 人であったことから労務経費が削減されたことが考えられる。

ただし、比較的林地条件に近いデータと比較したが、N 森林組合 (4) の皆伐作業は沢沿いで作業道が狭く、造材の生産性が低いこと、搬出距離が本研究は 156.00m、N 森林組合 (4) は 743.73m と異なることから、生産性と同様、搬出距離を変数としたコスト計算式を作成した (図 - 5)。

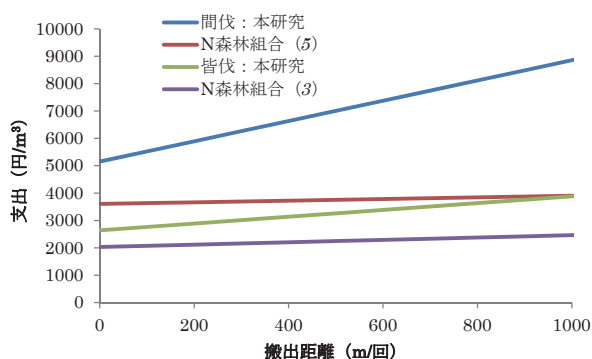


図-5 作業システムの支出比較

表 14 機械経費

機械		機械 価格 (千円)	レンタル 価格 (千円/月)	耐用 年数 (年)	稼働 時間 (時/年)	償却 費率	保守 修理 比率	年間 管理 費率	燃料・ 油脂費 (円/台時)	機械 経費 (円/台時)	レンタル 経費 (円/台時)
グラップル付バックホウ	間伐 作業道作設 集積・樅積	7,992	224	6	1,080	0.9	0.38	0.045	447	0	2,489
グラップル付バックホウ	皆伐 作業道作設	10,584	0	6	1,200	0.9	0.50	0.050	718	3,217	0
チェーンソー	間伐 皆伐 伐倒	150	0	3	900	0.9	0.85	0.065	234	342	0
プロセッサ	間伐 造材	19,332	540	6	1,080	0.9	0.43	0.045	607	0	6,000
ハーベスタ	皆伐 造材	19,332	0	6	1,080	0.9	0.43	0.045	607	5,765	0
フォワーダ	間伐 皆伐 搬出	7,560	211	6	780	0.9	0.42	0.046	623	3,201	3,246
グラップル付バックホウ	皆伐 樅積	7,992	0	6	1,080	0.9	0.38	0.045	447	2,359	0

レンタル価格、機械価格は聞き取りより得た  
それ以外の項目については日本森林技術協会 (6) より引用

表 15 既存の研究との支出 (円 / m<sup>3</sup>) 比較

	間伐		皆伐	
	本研究	N 森林組合 (5)	本研究	N 森林組合 (4)
作業道作設	672	834	252	118
伐倒造材*	1,032	1,193	1,334	808
集積	740	1,199	—	640
搬出**	2,909	569	1,250	786
小計	5,353	3,795	2,836	2,352

\*間伐：本研究は伐倒のみ、\*\*間伐：本研究は造材を含む

$$\text{間伐：本研究 } OE_{T1} = 3.702L + 5,152 \text{円} / \text{m}^3 \quad (31)$$

$$\text{N 森林組合 (5) } OE_{T2} = 0.300L + 3,604 \text{円} / \text{m}^3 \quad (32)$$

$$\text{皆伐：本研究 } OE_{C1} = 1.244L + 2,639 \text{円} / \text{m}^3 \quad (33)$$

$$\text{N 森林組合 (3) } OE_{C2} = 0.433L + 2,031 \text{円} / \text{m}^3 \quad (34)$$

その結果、フォワーダ搬出の走行速度が低いことや、本研究の間伐は 1 人で造材・搬出作業を行ったこと、皆伐は造材作業で直接、フォワーダに積込、造材作業中はフォワーダ作業者に待機時間が生じたことから、搬出距離の増加に従い、本研究と N 森林組合 (3, 5) の差は広がった。ただし、その差は皆伐作業が小さかった。

#### 4. おわりに

間伐作業について、作業道作設の生産性 (5.99m/人時) は、作業当時はわずか 3 ヶ月の作業日数しか経過していないため、連携が円滑に行われていないこと、機械サイズが N 森林組合より小さいことにより、N 森林組合の生産性 (14.9m/人時) より低かった。伐倒は、K 氏が経験者のため N 森林組合 (5) と同等の生産性をあげていた。1 人で 3 台の機械を操作していたことから造材、搬出では N 森林組合 (5) と比較して生産性が劣る面もあるが、作業システム全体では全国平均より高い生産性をあげていた。

皆伐作業について、作業道作設の生産性（13.78m/人時）は、N 森林組合の生産性（18.42m/人時）より低かったが、これはK 氏に待機時間が発生していたこと、機械サイズの違いが大きな要因である。伐倒はK 氏の技術が高かったことからN 森林組合（4）の生産性を上回った。造材は木寄せ、造材、積込を含んでいるため、N 森林組合（4）の生産性を下回る結果となった。また、ハーベスタの対応玉切直径は320mmであり、300mm以上の径級においてはチェーンソーにより造材を行っていたことも生産性が低くなった原因の1つである。搬出においてもK 氏は造材、積込による待機時間が生じるため生産性は低くなった。ただし、作業システム全体では全国平均より高い生産性をあげていた。

コストに関してはN 森林組合（3, 4, 5）と比較すると高いが、全国平均と比べると低いことがわかった。作業人数が間伐は3人、皆伐は2人であったことから労務経費が削減され、N 森林組合（3, 4, 5）とのコストの差は7月に行われた間伐作業よりも、11月に行われた皆伐作業のほうが小さくなった。ただし、間伐と皆伐では作業方法が異なり、立木幹材積も異なるため、今後、材積も考慮したコスト計算式を導出し、コストを比較検討する必要がある。

また、間伐作業と比べて皆伐作業では、待機時間が増加した。これは3人1組から2人1組に変わったことによる。待機時間の増加は、林業機械を有効活用できていないことを示す。今後どのように待機時間を削減し、効率的に機械を活用していくかが課題である。そのためには作業員全員がすべての機械操作を習得し、それぞれ独立して作業できる環境を整備することも重要であろう。しかし、機械操作を習得するには相当な日数がかかるため、機械操作に慣れた新規作業員の雇用も1つの解決策であると考えられる。

最後に、本研究を進めるにあたり、ご協力頂いた林業事業者の方々、査読の過程で貴重なご指摘を頂いた2名の査読者に謝意を表します。なお、本研究はJSPS 科研費24580213と15H04508の助成を受けたものである。

## 引用文献

- 1) 独立行政法人森林総合研究所（2014）材積表調整業務資料. オンライン, (<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/shukakushiken/03gyomu/>). (2015年1月9日参照).
- 2) 藤巻幸歩・水庭諠子・有賀一広（2013）栃木県北地域の製材工場における木質バイオマス発電の試み（下）株式会社トーセン. 森林技術 86:33-35.
- 3) 水庭諠子・有賀一広・仲畑力（2014）那須町森林組合における皆伐作業の生産性・コスト分析. 関東森林研究 65:197-200.
- 4) 水庭諠子・有賀一広・仲畑力（2015）那須町森林組合における皆伐作業の採算性の検討. 宇大演報 51:9-18.
- 5) 仲畑力・有賀一広・武井裕太郎・山口鈴子・伊藤要・村上文美・齋藤仁志・田坂聡明・金築佳奈江（2011）那須野ヶ原地域における間伐材搬出作業の機械化による生産性・コスト改善の可能性（Ⅱ）- 従来型作業と機械化作業の作業分析から -. 宇大演報 46:27-32.
- 6) 日本森林技術協会（2010）低コスト作業システム構築事業報告書. 268pp, 日本森林技術協会, 東京.
- 7) 林野庁（2006）平成18年度林業機械化推進事例の紹介. オンライン, (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/kikai/h18jirei.html>) (2014年2月10日参照).
- 8) 林野庁（2007）平成19年度林業機械化推進事例の紹介. オンライン, (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/kikai/h19jirei.html>) (2015年6月29日参照).
- 9) 林野庁（2008）平成20年度林業機械化推進事例の紹介. オンライン, (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/kikai/H20girei.html>) (2015年6月29日参照).
- 10) 林野庁（2009）平成21年度林業機械化推進事例の紹介. オンライン, (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/kikai/H21girei.html>) (2014年2月10日参照).
- 11) 林野庁（2010）平成22年度林業機械化推進事例の紹介. オンライン, (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/kikai/H22girei.html>) (2015年6月29日参照).
- 12) 林野庁（2011）平成23年度林業機械化推進事例の紹介. オンライン, (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/kikai/H23girei.html>) (2015年6月29日参照).
- 13) 林野庁（2010）森林・林業白書（平成22年版）. 145pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 14) 林野庁（2012）森林・林業白書（平成24年版）. 208pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 15) たかはら森林組合（2013）高性能林業機械及び小面積皆伐事業研修会資料. 9pp, 2013年12月20日.