

論文

小規模林分における間伐材集材作業システムの検討

—ウィンチ付きバックホウ集材とスキッド集材による生産性の比較—

満留良文*1

満留良文：小規模林分における間伐材集材作業システムの検討 九州森林研究 58：42-45, 2005 小規模林分での利用間伐にも適応する集材作業システムを検討するため、小型多機能機械の単胴ウィンチ付きバックホウ集材とスキッド集材の作業工程調査を行い、作業条件と集材時間等の関係性を明らかにし、集材時間算出式を求め生産性を比較した。スキッド集材の生産性は36.38m³/日で、ウィンチ付きバックホウ集材の34.55m³/日よりやや上回った。集材距離を変数として生産性の分析を行った結果、平均集材距離が20m以内であればウィンチ付きバックホウ集材の生産性は高く、小規模林分に適する間伐材集材作業システムであることが示唆された。

キーワード：ウィンチ付きバックホウ、スキッド、間伐材集材、生産性

I. はじめに

木材価格が低迷し、林業従事者も減少するなか、持続可能で健全な森林を育成する間伐を進めるためには間伐作業の効率化、生産性の向上、労働安全の確保、労働環境の改善のための高性能林業機械による機械化が必要であるが、鹿児島県の林家1戸当たりの経営規模は2.47ha (I) と小規模零細であるため、従来型の林内作業車による集材方法が主流となっており、大型の高性能林業機械の導入はなかなか困難な状況にある。

そこで、本県の小規模林分にも適応する新たな低コスト高効率作業システムを検討するため、ウィンチ付きバックホウ集材（以下バックホウ集材と記す）とスキッド集材の2種類の作業工程調査を行い作業条件と集材時間等の関係性を明らかにするとともに集材時間算出式を作成し、考察比較等を行った。

II. 調査方法

調査地の概要は表-1に示す。

スキッド集材は、宮之城町の定性間伐地で間伐木の伐倒造材が終了し、林内に極積されている状態から、スキッド (I社 T-30) が後進で林内に入し、ウィンチにより木寄せを行いそのまま材を牽引して林内を走行し、作業路を利用した土場までの短幹集材作業を調査した。作業人員は、オペレーター1人、荷掛け手1人の計2人で行われた。

バックホウ集材は、大口市の5残1伐の列状間伐と列間の点状間伐地で、伐倒、枝払いが終了した状態で、作業路上から単胴式ウィンチ (N社 2t引ウィンチ搭載0.2m³タイプバックホウ) を使用し、人力でワイヤを引出して、スリングロープで荷掛けし、

地曳きによる全幹集材を調査した。作業人員は、オペレーター1人、荷掛け手兼荷外し手2人の計3人で行われた。

作業条件等については、1サイクル毎に短幹材は末口径と材長、全幹材は、胸高直径、樹高を計測し、集材距離は荷掛けの位置をレーザー距離計で計測した。また、時間調査はビデオカメラで作業を連続撮影し、後日、要素作業毎にストップウォッチで計測した。

表-1. 調査地と調査結果の概要

項目	スキッド調査区	ウィンチ付バックホウ調査区
場所	宮之城町舟木地内	大口市小川内地内
間伐方法	定性	列状 (列間は点状)
集材方法	上荷集材 短幹集材	下荷集材 全幹集材
樹種	ヒノキ	ヒノキ
林齢 (年生)	34	38
面積 (ha)	0.7	0.4
平均胸高直径 (cm)	24.3	21.6
平均樹高 (m)	16	15
平均単木材積 (m ³)	0.379	0.279
間伐前成立本数 (本/ha)	1200	1175
間伐率 (%)	25	26
傾斜 (度)	5	7.7
平均集材距離 (m)	76.8	33.1
平均木寄せ距離 (m)	5.9	- (注)
調査時間	5時間34分	3時間59分
サイクル数 (サイクル)	54	43
平均集材時間	7分35秒	5分34秒
平均荷掛け材積 (m ³)	0.63	0.53
平均荷掛け本数 (本)	8.2	2.2
生産材積 (m ³)	33.81	22.95
生産性 (m ³ /時)	6.06	5.76
生産性 (m ³ /日)	36.38	34.55
作業員数 (人)	2	3
労働生産性 (m ³ /人時)	3.03	1.92
労働生産性 (m ³ /人日)	18.19	11.52

(注) 道端集材のため木寄せ距離 = 集材距離とした。

Mitsudome, Y., : Thinning logging system in the small-scale forest stand.

- Productivity comparison between skidder yarding and backhoe equipped the winch function yarding. -

*1 鹿児島県林業試験場 Kagoshima Pref. Forest Exp. Stn., Kamo, Kagoshima 899-5302

Ⅲ. 結果と考察

1. 生産性及び労働生産性

(1) スキッド集材

33.81m³の素材搬出に54サイクル集材が実施され、5時間34分を要した。生産性は、1時間当たり6.06m³/時、1日当たり36.38m³/日、労働生産性は、2人作業で行われたため1時間当たり3.03m³/人時、1日当たり18.19m³/人日とかなり良好な結果となった。

(2) バックホウ集材

22.95m³の素材搬出に43サイクル集材が実施され、3時間59分を要した。生産性は、1時間当たり5.76m³/時、1日当たり34.55m³/日、労働生産性は、3人作業行われたため1時間当たり1.92m³/人時、1日当たり11.52m³/人日という結果となった。

2. 作業条件と集材作業時間の関係

スキッド集材での要素作業時間構成は空走行（20%）が最も多く、次いで実走行（19%）、土場整理（15%）、荷下ろし（12%）、木寄せ（11%）（ワイヤ引出し、荷掛け、材引き寄せ）の順番であった（図-1）。空走行が実走行より比率が高かったのは、荷掛け地点まで林内を後進で進入したためである。

一方、バックホウ集材では、荷掛け（24%）、材引き寄せ（23%）、ワイヤ引出し（17%）、荷下ろし（17%）、立木回避（7%）の順番であった（図-2）。荷掛け作業の比率が高かったのは、スリングロープを木寄せする材に1本づつかけてから、人力で引出したワイヤを通していたためであり、荷掛け作業の連携を行えばもう少し時間短縮ができたと考えられる。

要素作業毎の作業条件と作業時間との関係についてはスキッド集材では、作業路走行及び林内走行ともに、走行距離と実走行時間並びに空走行時間との間に高い相関が見られ（図-3及び図-4）、木寄せ距離とワイヤ引込み時間、材引き寄せ時間との間にも相関が見られた（図-5）。その他の作業条件と作業時間との相関は見られなかった。

バックホウ集材では、集材距離とワイヤ引込時間、材引き寄せ時間との間に高い相関が見られた（図-6）。その他の作業条件と作業時間との相関は見られなかった。集材材積と集材時間に相関が見られなかったのは、1回当たりの集材材積に対してウインチの牽引力（2.0t）に余裕があったためと思われる。

スキッド集材の要素作業別の時間分析結果を表-2、3にバックホウ集材の要素作業別時間分析結果を表-4、5に示した。作業条件と相関関係が認められるものは1次回帰式で求め、認められないものは平均値を求めた。

これら要素作業の関係式を合計し、1サイクルの集材作業時間（秒）に関する関係式を導いた。

(1) スキッドによる1サイクルの集材時間（T₁）

$$T_1 = L_1(1/V_1 + 1/V_2) + L_2(1/V_3 + 1/V_4) + L_3(1/V_5 + 1/V_6) + Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10} + Y_{11} - 14 \cdots \cdots [1]$$

$$= 1.74L_1 + 2.05L_2 + 3.99L_3 + 201.1 \cdots \cdots [2]$$

ここで T₁: 1サイクルの集材時間（秒）

L₁: 作業路走行距離（m）

L₂: 林内走行距離（m）

L₃: 木寄せ距離（m）

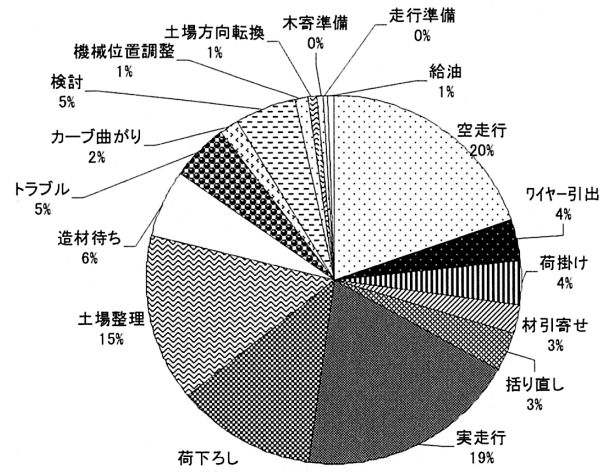


図-1. スキッド集材の作業時間割合

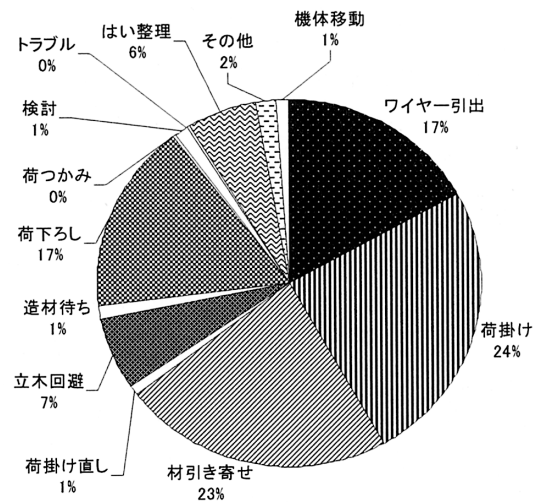


図-2. ウインチ付きバックホウ集材の作業時間割合

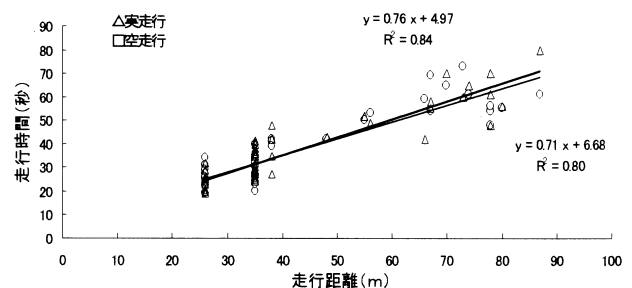


図-3. スキッド集材の作業路走行距離と走行時間の関係

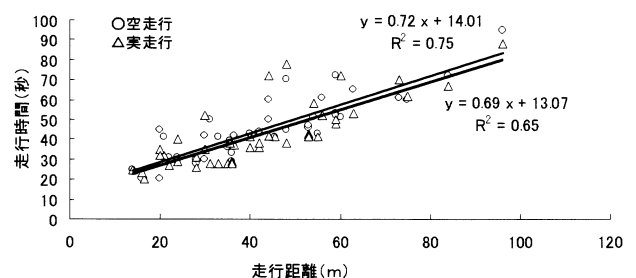


図-4. スキッド集材の林内走行距離と走行時間の関係

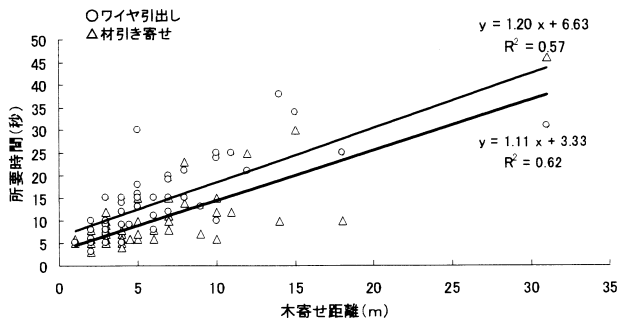


図-5. スキッド集材の木寄せ距離とワイヤ引出し, 材引き寄せ時間の関係

表-2. スキッド集材の要素作業別回帰分析

目的変数(秒) 要素作業	回帰係数		定数項	相関係数	ケース数	
	空走距離(m)	実走距離(m)				
Y1 空走(後進,作業路)	0.71		6.68	0.80	54	
Y2 空走(後進,林内)	0.72		6.21	0.75	54	
Y3 ワイヤ引出し			1.20	6.63	0.57	54
Y4 材引寄せ			1.11	3.33	0.62	54
Y5 実走(前進,林内)		0.69	13.07	0.65	54	
Y6 実走(前進,作業路)		0.76	4.97	0.84	54	

表-4. ウィンチ付きバックホウ集材の要素作業別回帰分析

目的変数(秒) 要素作業	回帰係数	定数項	相関係数	ケース数
	集材距離(m)			
y1 ワイヤ引出し	1.40	10.17	0.72	43
y2 材引寄せ	2.16	3.98	0.86	43

- V₁: 空走行速度 (作業路走行) =1.15 (m/秒)
- V₂: 実走行速度 (作業路走行) =1.14 (m/秒)
- V₃: 空走行速度 (林内走行) =0.95 (m/秒)
- V₄: 実走行速度 (林内走行) =1.00 (m/秒)
- V₅: ワイヤ引出し速度 =0.43 (m/秒)
- V₆: 木寄せ速度 =0.60 (m/秒)
- Y7: 荷掛け時間 (秒)
- Y8: 括り直し時間 (秒)
- Y9: 荷下ろし時間 (秒)
- Y10: 土場整理時間 (秒)
- Y11-14: 集材ロス時間 (秒)

(要素作業毎のパラメータは表-3参照)

(2) バックホウによる1サイクルの集材時間 (T₂)

$$T_2 = L_1 (1/V_1 + 1/V_2) + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 - 11 \dots [3]$$

$$= 3.985L_1 + 201.56 \dots [4]$$

ここで T₂: 1サイクルの集材時間 (秒)

- L₁: 集材距離 (m)
- V₁: ワイヤ引出し速度 =0.59 (m/秒)
- V₂: 木寄せ速度 =0.44 (m/秒)
- y₃: 荷掛け時間 (秒)
- y₄: 荷掛け直し時間 (秒)
- y₅: 立木回避時間 (秒)
- y₆: 荷下ろし時間 (秒)
- y₇: 極整理時間 (秒)

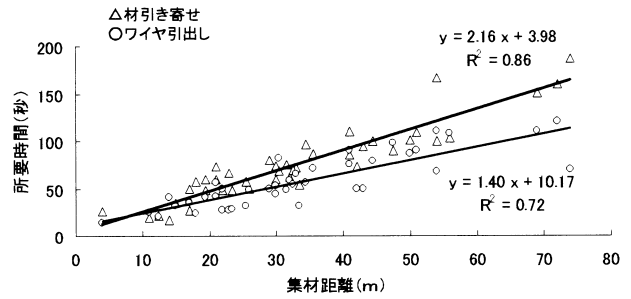


図-6. ウィンチ付きバックホウ集材の集材距離とワイヤ引出し, 材引き寄せ時間の関係

表-3. スキッド集材の要素作業別平均値

要素作業	平均値(秒)
Y7 荷掛け	14.06
Y8 括り直し	11.85
Y9 荷下ろし	43.26
Y10 土場整理	54.24
Y11 木寄せ荷造り待ち	21.37
Y12 トラブル	18.82
Y13 カーブ曲がり	5.33
Y14 その他(準備,検討)	32.17

表-5. ウィンチ付きバックホウ集材の要素作業別平均値

要素作業	平均値(秒)
y3 荷掛け	83.81
y4 荷掛け直し	2.70
y5 立木回避	21.86
y6 荷下ろし	56.12
y7 はい整理	19.56
y8 造材待ち	3.40
y9 機体移動	3.60
y10 トラブル	1.33
y11 その他(検討等)	9.18

y8-11: 集材ロス時間 (秒)

(要素作業毎のパラメータは表-5参照)

3. 生産性の推定と比較

[2][4]式をもとに, スキッド集材とバックホウ集材の1日当たり生産性を次の式で推定した。

(1) 1日当たりの生産性

$$\text{作業工程 } P \text{ (m}^3\text{/時)} = 3600/T \times V \dots [5]$$

$$\text{生産性 (m}^3\text{/日)} = P \times H \dots [6]$$

T: サイクルタイム (秒/回)

V: 1回当たりの集材量 (m³)

H: 1日の実労働時間 (6時間)

集材距離を変数とし, [6]式より, 1日当たりの生産性を算定した。なお, スキッド集材については, 林内走行が可能な場合をタイプI (林内自在走行型) とし, 林況地況等により林内走行ができない場合をタイプII (路上作業型) とし, 作業路上からの木寄せとなり, 平均木寄せ距離はいずれも10m, 20m, 30m, と仮定して, 生産性を推定したのが図-7である。

バックホウ集材は20mまでの短い集材距離では生産性が高いが, 20mを過ぎると生産性が低くなる。これは, 単胴ウィンチによる地曳き集材のため, ワイヤ引出しが人力作業となり, 空走行, 実走行速度がスキッド集材の約1/2であるので, 集材距離の増加

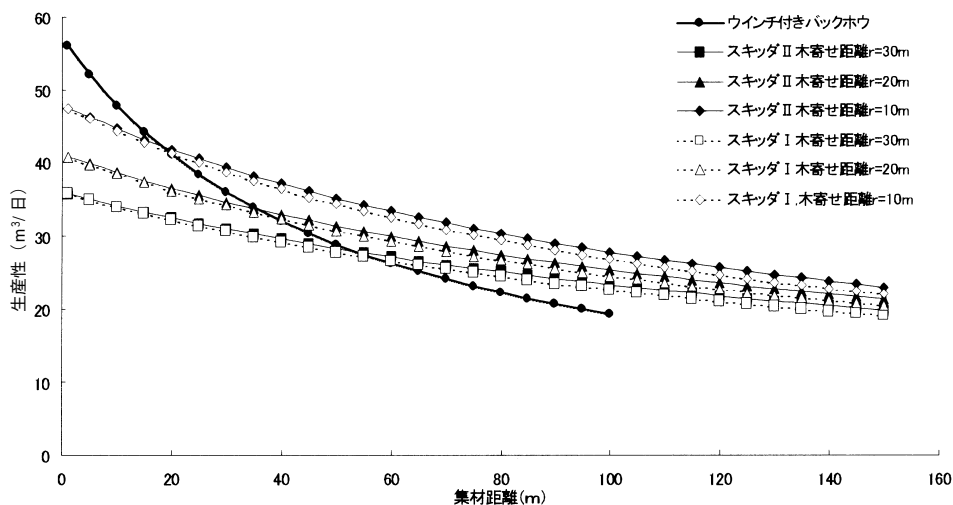


図-7. スキッド I (林内自在走行型) とスキッド II (路上作業型) の生産性とウインチ付きバックホウ集材の生産性の比較

とともに作業時間も長くなったため生産性が低下している。これらのことからバックホウ集材は、集材距離が20m以下の小面積間伐に適するシステムであることが示唆され、路網と組み合わせることによりさらに高い生産性が期待される。

スキッド集材については、今回の調査地のように林分条件がよく林内走行可能な場合は、集材距離50mでは、バックホウ集材の約1.2倍と生産性が高かったが、急傾斜等により林内走行ができない場合、木寄せ距離が長くなり、生産性は低くなることが判明した。しかしながら作業路開設の推進により、集材距離が長くても高い生産性を上げることが期待される。

IV. おわりに

これまで本県の小規模林分での利用間伐において、主流となっていた集材作業システムである従来普通式林内作業車集材 (2) 1日当たりの生産性 (7.2m³/日) と比較すると、スキッド集材で約5倍、バックホウ集材で約4.8倍と高い生産性を示し、また、労働生産性についても、スキッド集材が従来普通式

(3.6m³/人日) の約5倍、バックホウ集材が約3.2倍と高く、小規模林分における利用間伐に適した低コスト間伐材集材作業システムであることが示唆された。

今回の報告で示したスキッドとバックホウの集材時間に関する算出式で、作業条件に応じた集材時間や1日当たりの生産性を推計する一応の成果を得た。これをもとに目標とした生産性に見合う作業条件を推測することも可能である。また、今回の調査結果の要素作業別時間構成により、構成比率の大きな作業について検討を行い、作業効率の向上を目指した作業方法の改善指針や本県の小規模な林分条件に適応する間伐材集材作業システムが提示できるように、さらに調査研究を推進していきたい。

引用文献

- (1) 2000年世界農林業センサス。
- (2) 満留良文 (2004) 鹿児島県林業試験場業務報告52 : p.18.
(2004年11月8日 受付; 2005年1月11日 受理)