

高性能林業機械による作業システムの開発

—作業工程別労働生産性の調査—

宮崎隆幸・今井 信*・白石 立*

実際に実施している間伐作業を対象に、伐倒、木寄集材、造材、集搬の各工程について労働生産性を調査した。

伐倒作業の労働生産性は $11.7\sim 111.18\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ であった。また、木寄集材作業の労働生産性は、グラップルローダの直取り方式が $81.78\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ で最も高く、タワーヤーダが $3.66\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ と低かったが平均木寄距離は 136m と最も長かった。造材作業の労働生産性は、 $107.90\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ であった。集搬作業の労働生産性は、フォワーダが最大で $52.02\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ 、林内作業車が $26.94\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ で、フォワーダで熟練度によって2.8倍の差があった。

各工程の労働生産性では木寄集材が低い傾向であったが、その中で最も高い労働生産性を示したのがグラップルローダによる直取り方式であった。この作業を効率的に行うためには適切な路網整備が必要である。

作業員の経験年数あるいは熟練度によって労働生産性を比較したところ、伐倒作業で1.3倍、集搬作業で2.8倍の差が認められた。

キーワード：労働生産性、木寄集材、経験年数、高性能林業機械

1 はじめに

県下各地で高性能林業機械の導入が進み、効率的な林業活動を目指した取組が行われているが、現実の森林は地形、樹種、林齢など多様であり、現地に適した機械化作業システムが十分に確立しているとはいえない。本研究は、低コスト間伐施業システムの確立を目的として、実際の間伐現場でビデオ撮影を行い、伐倒、木寄集材、造材、集搬の各工程の作業分析から労働生産性を明らかにした。なお、本研究は県単研究課題（平成19～21年度）により実施した。

2 調査の方法

2.1 調査地

調査地は、地方事務所林務課の普及担当職員が調査可能な事業体を選定し調査対象工程と日程を調整して決定した。

調査地と調査した項目を表-1に示した。伐倒6か所、木寄集材12か所、造材1か所、集搬2か所の計21か所で労働生産性を調査した。

なお、すべての調査地の間伐方法は列状間伐である。

2.2 林況調査

列状間伐は伐倒列が限定できるため、伐倒対象

木のみ胸高直径と樹高と立木位置を調査した。木寄集材工程は、木寄集材の対象木の胸高直径と樹高と対象木の位置を調査した。胸高直径は、輪尺を用いて測定するとともに、樹高はバーテックス（ハグロフ社製、バーテックスⅢ）又はブルーメライスをを用いて測定した。

2.3 時間観測調査

調査地の21か所すべてについて、各工程の作業時間観測調査をビデオ撮影により行い、その映像によりそれぞれの作業工程を分析した。

3 調査結果と考察

3.1 伐倒工程

伐倒調査地は表-1のとおり、5箇所で調査を実施した。樹種はカラマツが2か所、スギが2か所、ヒノキが1か所で、調査地の平均胸高直径は $19.0\sim 27.5\text{cm}$ で、平均樹高は $16.9\sim 22.8\text{m}$ で収量比数は $78\sim 89$ であった。

3.1.1 伐倒工程の労働生産性の比較

伐倒作業はすべての調査地で、木寄集材列の選定を行った後、列状に伐採した。

間伐現地で撮影したビデオを解析し、作業時間とサイクル数を求め、これらとあらかじめ測定した伐倒材積から1時間当たりの生産性（ $\text{m}^3/\text{時}$ ）

*元長野県林業総合センター主査兼林業専門技術員

表-1 調査地と調査工程一覧

調査地	樹種	面積 (ha)	調 査 工 程				備考
			伐倒	木寄集材	造材	集搬	
佐久穂	カラマツ	11.27		○			
富士見	カラマツ	28.40	○	○	○		
伊那	アカマツ	1.25				○	
天龍	スギ	1.25		○			
開田	カラマツ	48.45		○			
塩尻	カラマツ	5.53		○			
白馬1	スギ	6.47	○	○			
木島平	スギ	7.47	○	○			
佐久1	カラマツ	15.02	○	○			
飯島	ヒノキ	8.00	○	○			
王滝	カラマツ	9.33		○			
白馬2	スギ・広葉樹	6.47				○	
戸隠	カラマツ	6.60		○			
中野	スギ	7.47		○			
調査か所数			5	12	1	2	

表-2 伐倒工程の調査結果一覧

調査地	作業機械	伐倒材積 (m ³)	サイクル数 (回)	作業時間 (秒)	セット 人員 (人)	生産性 (m ³ /hr)	労働 生産性 (m ³ /人・日)	1サイクル平均		備考
								材積 (m ³)	サイクル タイム (秒)	
富士見	チェーンソー	18.65	26	4,184	2	16.05	48.15	0.72	161	
白馬1	チェーンソー	28.04	43	6,230	2	16.20	48.60	0.65	145	
木島平	チェーンソー	14.39	24	2,796	1	18.53	111.18	0.60	117	
佐久1	チェーンソー	6.45	13	3,546	1	6.55	39.30	0.50	273	経験年数1年
	チェーンソー	2.69	6	1,655	1	5.85	35.10	0.45	276	経験年数2年
飯島	チェーンソー	5.47	10	2,299	1	8.57	51.42	0.55	230	経験年数5年
	チェーンソー	4.30	16	4,566	1	3.39	20.34	0.27	285	通常伐倒
	チェーンソー	2.49	9	4,587	1	1.95	11.70	0.28	510	クレモナロープ使用
	チェーンソー	1.21	4	2,236	1	1.95	11.70	0.30	559	チルホール使用

労働生産性: 1日の作業時間を6時間とした。

- 1) 富士見1, 白馬1 調査地は, 受け口切りや伐倒前準備のやぶ刈等の作業と追い口切り作業をそれぞれ分担して行った。
- 2) 白馬1 調査地は, かかり木が2本でその処理に計1,008秒, 1本当たり504秒費やした。この時間は作業時間に含まれている。
- 3) 木島平調査地は, 通常の伐倒作業で行った。
- 4) 佐久1 調査地は, 作業員別に解析した。
- 5) 飯島調査地では, 同一作業員で通常伐倒とチルホール, クレモナロープを使った場合の比較を行った。

間)を算出し, 1日の労働時間を6時間とした労働生産性(m³/人・日)を計算した。表-2のそれらの結果を示した。

伐倒方法は, けん引具を使用しない通常伐倒とチルホールを使用した伐倒, クレモナロープを使用した伐倒の3種類で行った。

伐倒作業の労働生産性は通常伐倒で20.34~111.18m³/人・日, 平均50.42m³/人・日と大きく異なっていた。けん引具としてクレモナロープ, チルホールを使用した場合の労働生産性は両

者とも11.70m³/人・日であり, 当然のことながら通常伐倒に比べて低い値となった。

3.1.2 伐倒作業における作業員ごとの生産性の比較

佐久1 調査地は, 木寄集材列の選定を行った後, 経験年数が1年, 2年, 5年の3人がそれぞれで伐倒作業を行った。

経験年数が1年の作業員の労働生産性は, 39.30m³/人・日で, 2年経験の作業員は, 35.10m³/人・日で, 5年経験の作業員は, 51.42m³/人・

日であった。

労働生産性は、対象木等の条件により異なり、単純に比較ができないので、ビデオ解析により伐倒作業の1サイクルごとの時間(秒)、伐倒作業員の立木から立木への移動距離(m)、胸高直径(cm)を求め、そのデータを使った回帰分析によって、移動距離係数(x)、受け口切係数(x₁)、追い口切係数(x₂)、定数(k)を求め、次式により生産性を推定した。

$$S=H/T \cdot V$$

- S : 生産性 (m³/時間)
- H : 単位時間(60min・60sec)
- V : 単木材積 (m³/本)
- T : サイクルタイム (sec/本)
- T=A・X+B・(X₁+X₂)+K
- A: 移動距離 (m) B: 胸高直径 (cm)
- X, X₁, X₂, K は回帰分析で得られた係数

伐倒木の高胸直径を25cm、樹高20m、材積を0.49m³として、サイクルタイムからそれぞれの作業員の実績を推定して比較したところ、図-1に示したとおり、経験年数が2年以下の作業員はほぼ同じ生産性となり、経験5年の作業員は経験の少ない作業員に比べて2m³程度多い生産性となった。

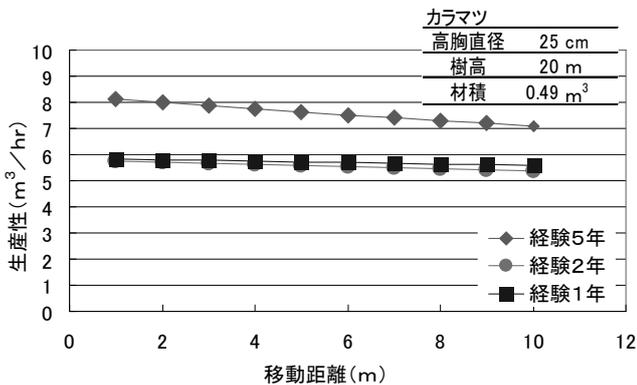


図-1 作業員毎の実績比較

3.2 木寄集材工程

3.2.1 木寄集材工程の労働生産性の比較

間伐現地で撮影したビデオを解析し、木寄集材のサイクル数を求め、これらとあらかじめ測定した材積から1時間当たりの生産性(m³/時間)を算出し、1日の労働時間を6時間とした労働生産性(m³/人・日)を計算した。表-3にそれらの結果を示した。

労働生産性を比較すると、グラップルローダによる直取り方式は、74.34と87.66m³/人・日いずれも高く、タワーヤード等の架線系はバラつきが多い結果であった。

3.2.2 架線系木寄集材工程の比較

架線系木寄集材調査地は8か所のデータが得られた。その内容は、スイングヤードが6件、タワーヤードが2件、信州式搬出法(ハイリード)が6件、ランニングスカイラインが2件、サイクル材積は0.19~1.11m³で、労働生産性は3.66~70.26m³/人・日であった(表-3)。

調査データは現場状況等が異なり単純に比較できないので、ビデオ解析により木寄作業の1サイクルごとの時間(秒)、木寄距離(m)、サイクル材積(m³)を求め、そのデータを使った回帰分析によって、木寄距離係数(x)、サイクル材積係数(x₁)、定数(k)を求め、次式により生産性を推定した。

$$S=H/T \cdot V$$

- S : 生産性 (m³/時間)
- H : 単位時間(60min・60sec)
- T : サイクルタイム (sec/回)
- T= I・X+V・X₁+K
- I : 木寄距離 (m)
- V : サイクル材積 (m³)
- X, X₁, k は回帰分析で得られた係数

得られた式から各調査地の労働生産性は、木寄距離が100mの場合では、最大で生産性6.92m³

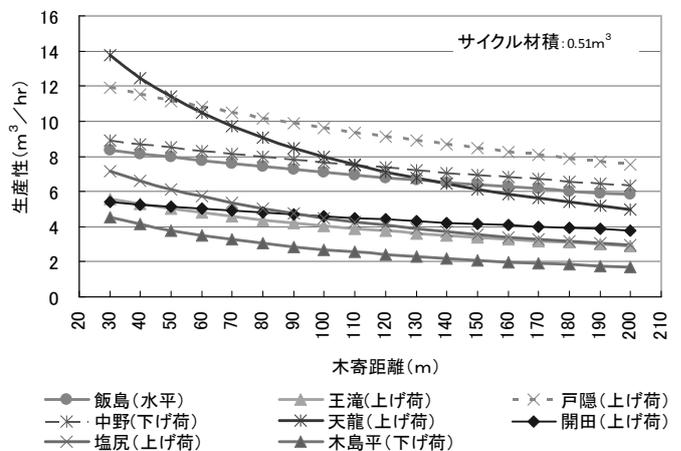


図-2 調査地ごとの木寄集材工程の実績比較

表-3 木寄集材工程の調査結果一覧

調査地	作業機械	作業状況	材積 (m ³)	サイクル数 (回)	平均木寄距離 (m)	作業時間 (秒)	セット人員 (人)	生産性 (m ³ /hr)	労働生産性 (m ³ /人・日)	1サイクル平均		備考
										材積 (m ³)	サイクルタイム (秒)	
佐久1	クローラトラクタ	上げ荷	3.28	1	55	2,782	1	4.24	25.44	3.28	2,782	
富士見	グラップル (0.45クラス)	水平	13.64	20	68	3,855	1	12.74	76.44	0.68	193	
天龍	タワーヤーダ (8tクラス)	上げ荷	2.10	11	136	4,126	3	1.83	3.66	0.19	375	信州式搬出法
開田	スイングヤーダ (0.45クラス)	上げ荷	6.23	18	77	6,022	2	3.72	11.16	0.35	335	信州式搬出法
塩尻	タワーヤーダ (8tクラス)	上げ荷	13.19	21	99	8,311	3	5.71	11.42	0.63	396	信州式搬出法
白馬1	ウインチ (0.45クラス)	上げ荷	21.63	18	72	9,574	3	8.13	16.26	1.20	532	
木島平	スイングヤーダ (0.45クラス)	下げ荷	7.09	11	32	3,713	2	6.87	20.61	0.64	338	信州式搬出法
佐久2	グラップル (0.25クラス)	上げ荷	4.40	8		1,278	1	12.39	74.34	0.55	160	
		下げ荷	6.59	14		1,624	1	14.61	87.66	0.47	116	
		上・下げ荷計	10.99	22		2,902	1	13.63	81.78	0.50	132	
	ウインチ	ウインチ	2.18	4		1,354	1	5.80	34.80	0.55	339	
飯島	スイングヤーダ (0.45クラス)	水平	6.66	21	24	3,714	2	6.46	19.38	0.32	177	ランニングスカイライン
王滝	スイングヤーダ (0.45クラス)	上げ荷	9.19	14	46	2,391	2	13.84	41.52	0.66	171	信州式搬出法
戸隠	スイングヤーダ (0.45クラス)	上げ荷	20.02	18	28	3,078	2	23.42	70.26	1.11	171	ランニングスカイライン
中野	スイングヤーダ (0.45クラス)	下げ荷	16.21	29	32	6,422	2	9.09	27.27	0.56	221	信州式搬出法

労働生産性: 1日の作業時間を6時間とした。

- 1) 佐久1調査地は、木寄集材本数がサイクル当たり7本と多い。
- 2) 富士見調査地は、グラップルローダを使って、列状に伐倒した材を林内走行しながら作業路まで木寄集材、作業地はほぼ水平。
- 3) 天龍調査地は、曲り部分や先端部分を整理後、材長は4~12mとさまざまだが短幹状態にして木寄集材を行った。
- 4) 開田と王滝調査地は、作業員の歩行に支障をきたすほどの笹地であった。
- 5) 塩尻、戸隠、中野の各調査地は、全木による木寄集材を行った。
- 6) 白馬1調査地は、ウインチを使用して木寄距離は100m、その先は延長スリングワイヤを使って最大120mまで木寄集材を行った。サイクル当たり平均2本であった。
- 7) 木島平調査地は、伐倒木が伐根から荷掛け位置まで最大で45m滑落が発生し、木寄集材距離は短縮されたが、伐倒木が重なってしまい荷掛け作業に注意が必要であった。
- 8) 佐久2調査地は、作業路からの直取りと緩斜面で林内走行を行った2種類の木寄集材作業と林内走行が困難な時はウインチにより行った。
- 9) 飯島調査地は、ほぼ水平地での作業であった。

の差があった。また、木寄方向や架設方式などにより、その労働生産性は様々となり一定の傾向は見られなかった (図-2)。

3.3 造材工程

間伐現地で撮影したビデオを解析し、造材工程のサイクル数を求め、これらとあらかじめ測定した材積から1時間当たりの生産性 (m³/時間) を算出し、1日の労働時間を6時間とした労働生産性 (m³/人・日) を計算した。表-4にそれらの結果を示した。

富士見調査地は、事前に木寄集材を行った材で、12サイクル (本) の造材を行い、この調査結果を表-4に示した。

生産性は18.0m³/時間で、労働時間を6時間

とした場合の労働生産性は107.90m³/人・日であった。

事前に単木材積が0.87m³の木寄集材木で極積されたものの造材を行ったため、待ち時間もなく、作業員の経験年数も豊富だったためこのような高い労働生産性となった。

3.4 集搬工程

間伐現地で撮影したビデオを解析し、集搬工程のサイクル数を求め、これらとあらかじめ測定した材積から1時間当たりの生産性 (m³/時間) を算出し、1日の労働時間を6時間とした労働生産性 (m³/人・日) を計算した。表-5にそれらの結果を示した。

表-4 造材工程の調査結果一覧

調査地	作業区分	材積 (m ³)	サイクル数 (回)	作業時間 (秒)	セット人員 (人)	生産性 (m ³ /hr)	労働生産性 (m ³ /人・日)	1サイクル平均		備考
								材積 (m ³)	サイクルタイム (秒)	
富士見	プロセッサ造材	10.48	12	2,097	1	18.00	107.90	0.87	175	

表-5 集搬工程の調査結果一覧

調査地	作業機械	材積 (m ³)	サイクル数 (回)	平均移動距離 (m)	作業時間 (秒)	セット人員 (人)	生産性 (m ³ /hr)	労働生産性 (m ³ /人・日)	1サイクル平均		備考
									材積 (m ³)	サイクルタイム (秒)	
飯島	フォワーダ (3.5tクラス)	8.23	2	472	9,560	1	3.10	18.60	4.12	4,780	初心者
		4.91	1	502	2,039	1	8.67	52.02	4.91	2,039	熟練者
白馬2	林内作業車 (横積み式)	6.29	3	136	5,038	1	4.49	26.94	2.10	1,679	

飯島調査地において、クローラタイプフォワーダにより集搬作業を行い、作業員は経験が長い熟練者と初心者の2パターンについて調査を行った。

生産性は、初心者が3.1m³/時間で、熟練者が8.67m³/時間で労働時間を6時間とした場合の労働生産性は初心者が18.6m³/人・日で熟練者が52.02m³/人・日であった。

白馬2調査地では、横積タイプの林内作業車により集搬作業を行い、積み込みは、現場に常駐しているグラップルローダ(0.25クラス)を使用し、すべて1人の作業員が行った。

生産性は4.49m³/時間、労働時間を6時間とした場合には26.94m³/人・日であった。

走行速度は、空荷が7.73km/時間で、荷を積んだ場合が5.47km/時間であった。

従来型のクローラタイプの事例であり、フォワーダに比べて1サイクル当りの積載材積は少ないものの、1人でグラップルローダでの積み込み、集搬を行っているため、飯島調査地のフォワーダの初心者に比べると労働生産性で8m³程度多い結果となった。

3.4.1 初心者と熟練者の作業能率の比較

初心者と熟練者の空走行(図-3)、荷を積載して走行する実走行(図-4)、積み込みのためのつかみ作業(図-5)、つかんだ材を荷台に下ろす荷下ろし作業(図-6)の4作業について比較したところ、初心者は、いずれの走行でも時間を要した。走行距離が長くなれば更に大きな差となっていた。つかみ

作業と荷下ろし作業では、初心者はつかむ材の多少にかかわらずばらつきが大きく、作業時間も多かった。一方熟練者は、つかむ材の多少にかかわらず、所要時間のばらつきも少なく、グラップルローダの動きもスムーズな動きをしていた。

ビデオ解析により集搬作業の1サイクルごとの時間(秒)、移動距離(m)、集搬材積(m³)、短幹材本数を求め、そのデータを使った回帰分析によって、移動距離係数(x)、集搬材積係数(x₁)、短幹材積係数(x₂)、定数(k~k₂)を求め、次式により生産性を推定した。

$$S = H / T \cdot V_2$$

S : 生産性 (m³/時間)

H : 単位時間(60min・60sec)

T : サイクルタイム (sec/本)

$$T = k + I \cdot x + v_1 \cdot x_1 + k_1 + ((v_2 \cdot x_2 + k_2) \cdot h)$$

I : 移動距離 (m)

V₁ : 集搬材積 (m³/回)

V₂ : 短幹材積 (m³)

h : 短幹本数 (本/回)

X, X₁, X₂, X₃, k, k₁, k₂は回帰分析で得られた係数

得られた式から初心者と熟練者の生産性を材長4m、短幹材積を0.16m³として比較すると、熟練者は初心者に比べて約2倍の生産性だった(図-7)。

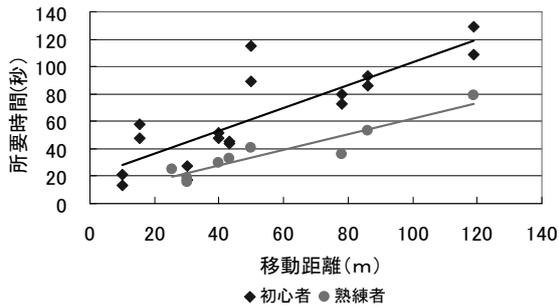


図-3 空走行時の移動距離と所要時間との関係

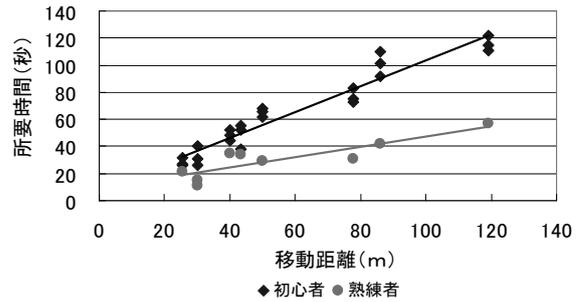


図-4 実走行時の移動距離と所要時間との関係

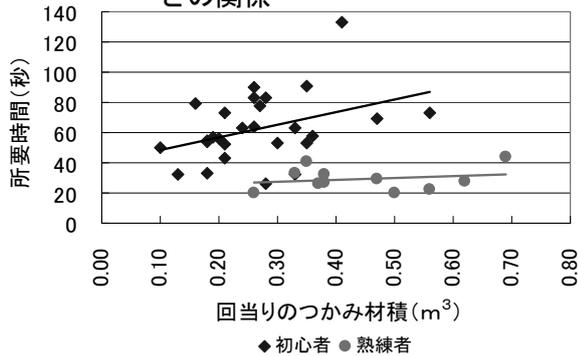


図-5 積込みのためのつかみ材積と所要時間との関係

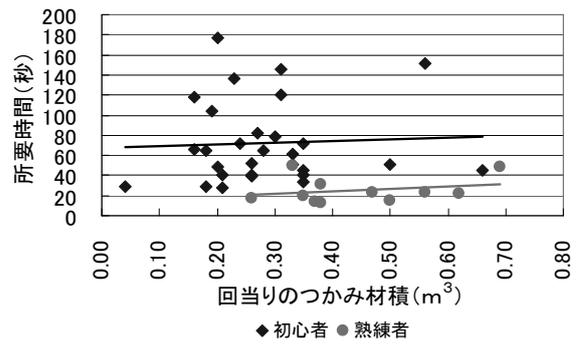


図-6 荷台への荷下ろしのためのつかみ材積と所要時間との関係

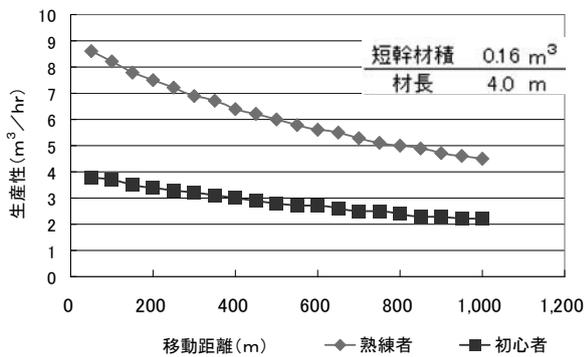


図-7 熟練者と初心者の生産性比較 (集搬作業)

4 まとめ

調査対象とした各工程の労働生産性を図-5に示した。伐倒工程の平均労働生産性は、けん引具を使用しない通常伐倒では、チルホール等のけん引具を使用した場合の4.3倍、同一作業員では、1.7倍だった。また、伐倒作業では、経験年数1～2年の作業員に比べて5年の作業員の方が1.3倍の労働生産性だった。

木寄集材工程の平均労働生産性は、使用機械によって様々な結果であった。架線系高性能林業機械では、スイングヤードがタワーヤードに比べて4.2倍だった。平均木寄距離はスイングヤードが

40m、タワーヤードが118mで木寄範囲に大きな差があった。

グラップルローダの直取りでは、伐倒木が搬出路上に倒れた割合は77%であった。ほとんどの作業は搬出路上で行った。

造材工程は1事例であったが、すでに木寄集材により極積みされた材を効率よく行っていた。また、プロセッサのオペレータも専門作業員だったことから、高い労働生産性となった。

集搬工程は、フォワーダと林内作業車の各1事例であったが、フォワーダの熟練者と初心者の平均労働生産性は林内作業車の1.3倍だった。また、フォワーダの作業員の違いによる労働生産性は、熟練者が2.8倍だった。

現場条件の優劣も影響すると思われるが、作業員の熟練度や作業内容によっても労働生産性に大きな差が出ることから、各使用機械の労働生産性を基に極端なボトルネックが発生しない作業システムの検討や作業員の技術向上と労働生産性に対する意識を持つことが今後さらに重要である。また、今後も引き続き事例調査を行い、作業システムの検討をする必要がある。

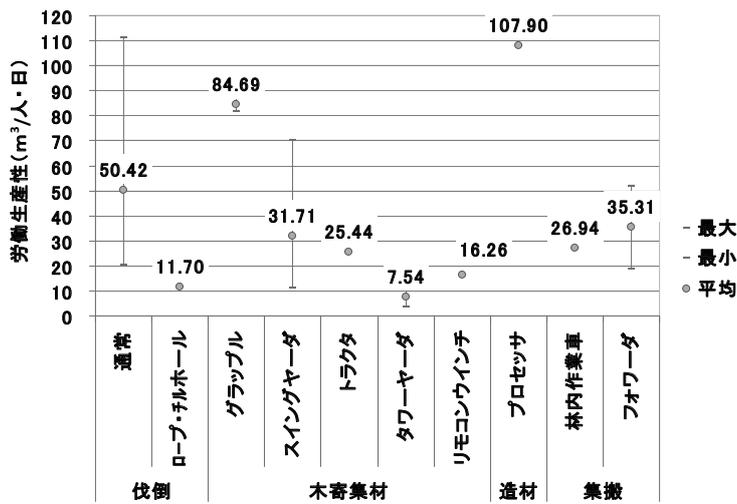


図 - 5 各工程の労働生産性比較

5 謝辞

本調査の実施に当たり、現場での作業を担当していただいた森林組合、事業者の関係者、調査の準備、実行に協力いただいた地方事務所林務課普及職員には大変お世話になった。ここに深く感謝申し上げます。