

論文 (Original article)

積載量が異なるフォワーダを用いた長尺材集材生産性

鈴木 秀典^{1)*}、山口 智¹⁾、宗岡 寛子¹⁾、佐々木 達也¹⁾、
田中 良明¹⁾、猪俣 雄太¹⁾、伊藤 崇之¹⁾、毛綱 昌弘¹⁾、
瀧 誠志郎¹⁾、上村 巧¹⁾、有水 賢吾¹⁾、吉田 智佳史¹⁾、
山口 浩和¹⁾、中澤 昌彦¹⁾、陣川 雅樹²⁾、関子 光太郎³⁾

要旨

長尺材生産におけるフォワーダを用いた集材作業の生産性を解明し、積載量や荷台の大きさが長尺材の集材生産性に及ぼす影響を明らかにするため、積載量の異なる車両による生産性を比較した。調査対象は、グラップルもしくはハーベスタによる荷積み、積載量 4.8 トンの中型および 6 トンの大型車両による集材、グラップルによる荷おろしの各作業とし、長尺材として 6m および 8m 材、比較のために通常の 4m 材の生産性を調査した。荷の積みおろし作業では、丸太材積の違いを差し引いても、単位時間あたり作業量が大型車両を用いたときにやや大きくなった。荷台サイズが大きくなることによって作業性が向上したためと考えられる。集材時の走行速度について、各集材時の積載量を車両の最大積載量で除した積載率と、積載走行速度を空荷走行速度で除した速度率によって各集材走行を比較したところ、材長が長くなるほど、同一積載率における速度率が小さくなる傾向が見られた。この速度低下は、荷台からはみ出た長尺材によって積載時の重心位置が変化して不安定になることが原因と推定された。積みおろしおよび集材作業を合わせた集材工程の生産性は、中・大型車両とも 4m 材で最も大きくなり、材長が長くなるほど低下することが明らかとなった。しかし、長尺になることによる生産性の低下率は大型車両の方が小さく、長尺材の生産には大型車両の方が適していることが明らかとなった。

キーワード：フォワーダ、材長、積載量、積みおろし

1. はじめに

わが国の丸太生産においては、3m および 4m が多数を占めているが、4m より長い丸太（以下、長尺材）が造材されることもある。長尺材を生産することによって、横架材などの新たな用途への対応が可能になるだけでなく、通常の長さで使用する場合でも、そのため玉切りを工場で行うことで従来よりもきめ細かな採材が可能になり、曲りなどを考慮した最適採材や、需要への即応が可能になると考えられる。長尺材生産は、例えば久万林業などで行われてきており、細いものは足場丸太として長さ 5.2m 以上に採材し、直材であれば通し柱として 6.0m に採材されてきた（上浮穴郡林業振興協議会 1987）。また、他の地域でも桁丸太などの特種注文材生産（福田 1989）において 12m もしくはそれ以上の材の生産を見ることができた。最近では、興儀ら（2017）によってグラップル集材の事例が報告されているほか、Yoshida et al. (2018) が試作した横積式車両による長尺材集材作業の生産性が報告されている。長尺材の集材にあたっては、スキッドなどのけん引型

車両では比較的長さの影響を受けにくい、緩傾斜地での林内走行が主となり使用できる地域が限られてしまう。一方、全国的に広く使用できるフォワーダなどの積載型車両では作業道を走行するため、小さな曲線半径などでは材長の影響によって積載時の走行性悪化などが考えられる。これまで 4 トン積み程度の中型車両の使用が一般的であったが、皆伐現場などでは 6 トン積み程度の大型車両の使用も増えてきており、長尺材にも対応しやすくなっていると考えられる。また、グラップルなどによる荷積み・荷おろし作業においては、長尺材の取扱いによって生産性が低下することも考えられる。しかし、丸太の幹材積が増加することは生産性の向上にとってプラスになることも期待できる。

そこで本研究では、フォワーダを用いた長尺材の生産性を解明し、長尺材生産において大型の集材車両を使用することの優位性を検証する。そのために、中型車両と大型車両を用いた集材作業を比較するとともに、長尺材の集材生産性に及ぼす積載量や荷台の大きさの影響を分析した。なお、本報告では、集材工程の荷積

原稿受付：令和元年 9 月 11 日 原稿受理：令和元年 12 月 13 日

1) 森林総合研究所 林業工学研究領域

2) 森林総合研究所 九州支所

3) 富山県農林水産総合技術センター森林研究所

* 森林総合研究所 林業工学研究領域 〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1

み・荷おろしおよび集材作業を調査対象とし、長尺材として6m および8m 材、比較のために通常の4m 材の生産性を調査した。

2. 試験方法

2.1 試験地の概要

試験は富山県氷見市内に位置するスギの皆伐現場で行い、各対象地内の一部から生産される材の生産性を調査した。フォワーダの中型車両 (MST-800VDL) を用いた試験 (中型試験) を Fig. 1 の集材路 A で行い、大型車両 (U6-BG) を用いた試験 (大型試験) を Fig. 1 の集材路 B および C で行った。各試験地の林況を Table 1 に示す。試験対象はいずれも 60 年生のスギ (ボカスギ) で、中型試験では立木の平均胸高直径、平均樹高、平均幹材積が 39.7cm、29.6m、1.7m³、大型試験では同 49.4cm、33.4m、2.7m³ と後者の方が林分の単木材積がやや大きかった。ボカスギは成長が早く (嘉戸・田中 2010)、他品種の同齢林と比較して単木材積は大きい。

本調査では、集材工程だけではなく伐倒、造材工程についても生産性調査を行っており、Nakazawa et al. (2019) から報告されている。

2.2 作業の概要

中型試験は作業人員 2 名で行っており、チェーンソーにて伐倒後、造材・枝払いをハーベスタで行った。その後、調査対象であるハーベスタによる荷積み、集材、グラップルによる荷おろしを行った。荷積みを使用したハーベスタも含めて、使用したベースマシンは運転質量 12 ~ 13 トンクラスである (Table 2)。フォワーダは最大積載量 4,800kg、荷台長 3,300mm で、グラップルローダは付属していない (Table 3)。集材路 A を用いて公道沿いの土場まで集材を行い、平均集材距離は 88m であった。土場までの積載走行はすべて前進し、土場から積載箇所までは後進したが、土場レイアウトの関係から一部の集材において土場付近で転回をした。

材の積載方法は、4、6m は荷台に対して水平とし、8m 材では水平積載が不可能であったため、荷台あおりに立てかけて荷台から材の前・後端をはみ出す斜め積載とした (Photo 1、Table 4)。

大型試験も同様に作業人員 2 名で行い、チェーンソー伐倒、ハーベスタによる造材・枝払いの後、調査対象であるグラップルによる荷積み、集材、グラップルによる荷おろしを行った。グラップルのベースマシンは中型試験と同クラスである (Table 2)。フォワーダはもともとグラップルローダが付属している機種であったが、これを取り外して荷台の拡張を行っているため、最大積載量は 6,000kg (グラップルローダが付属しない機種 (の値)、荷台長は 4,355mm (実測値) となっている (Table 3)。集材路 B および C を用いて土場までの集材を行い、平均集材距離は B で 97m、C で 107m であった。

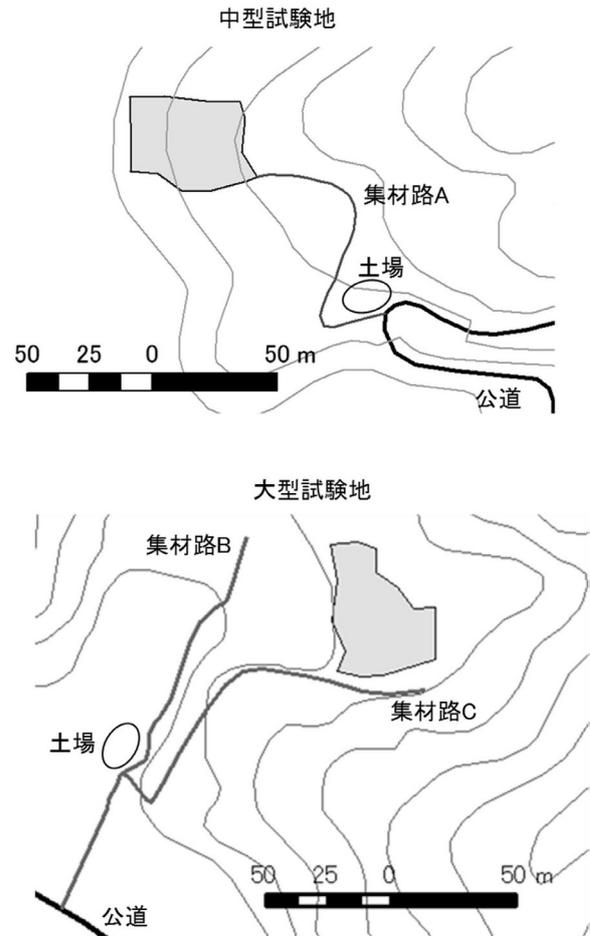


Fig. 1. 試験地と集材路

Table 1. 試験地の林分状況

	中型試験	大型試験
面積 (ha)	0.156	0.155
樹種	スギ (ボカスギ)	
林齢 (年)	60	60
林分密度 (本/ha)	832.3	587.1
平均胸高直径 (cm)	39.7	49.4
平均樹高 (m)	29.6	33.4
幹 平均 (m ³)	1.7	2.7
材 試験地内合計 (m ³)	216.1	242.9
積 単位面積あたり (m ³ /ha)	1394.2	1567.1

B では後進、C では前進で集材走行を行い、B では荷積み箇所付近で転回をした。

今回の試験に用いた大型車両は荷台が改造されて 4,300mm 以上あったため、すべての材長で水平に積載できたものの、中型試験との比較のために 8m 材にて中型試験と同様の斜め積載も行った (Photo 1、Table 4)。8m 材水平積載では、荷台長が材のおよそ半分しかないので、材後端が下がってバランスを崩すことがあったため、荷台の後端に 2m 程度の丸太を横向きに置き、

Table 2. 荷役機械の諸元

	作業	機械名称	ベースマシン	エンジン
			運転質量 (kg)	定格出力 (kW)
中型試験	荷積み	ハーベスタ	13,900*	67
	荷おろし	グラップル	11,775*	64
大型試験	荷積み	グラップル	12,300*	67
	荷おろし	グラップル	13,700*	75

*バケット装着時の標準仕様機におけるカタログ値。カタログから運転質量が得られない場合は、機械質量にオペレータの質量として75kgを加えて表示。

その上に 8m 材を積載してはみ出し量大きい材を安定して積載することも行われた。なお、一般的な 6 トン積み国産機の荷台長は本車両よりも短いため、後方積載タイプでの 8m 水平積載は難しいといえる。

各集材路における土場から荷積み箇所までの縦断面図を Fig. 2 に示す。平均縦断勾配は集材路 A、B でそれぞれ 10%、4% となり、集材路 C で最も大きく約 16% となった。また、区間最大縦断勾配は、A：19%、B：8%、C：21% となった。集材路 A は作設のための切土をほとんど行っておらず、一部に立木が残った箇所はあるものの、荷台から飛び出した材の通過を妨げる障害物はほとんどなかった。走行跡の幅は約 3.0m であった。集材路 B は谷部の路線で、一方は平地、他方は山の斜面となっているが、材が斜面にぶつかることはな

かった。雪解けによる路面の軟弱化や濁水の発生を抑止するために幅 3.0m の鉄板が敷設されていた。集材路 C は切土によって作設された路線で、最小の曲線半径区間 (R=5.3m) において、3.2 で述べるとおり材と切土のり面の接触があった。幅員は約 4.0m であった。

3. 結果と考察

3.1 積みおろし作業の生産性

積みおろし作業における荷つかみ本数は、荷積み作業において、中・大型試験の 4m 材で最も多く約 2 本、大型試験の 8m 材で最も少なく約 1 本となった (Fig. 3)。荷おろし作業においては、大型試験 8m 材斜め積載で特に大きく 3 本を超えたことを除けば、同一材長であれば中型・大型試験の差はほとんどなく、4m 材で 3 本、6m 材で 2.3 本、8m 材で 2 本弱と材長が長くなるほど本数が少なくなった。荷積み時の本数よりも荷おろし時の本数の方が多くなる傾向となったが、中型試験 8m 斜め積載では荷積み時の本数の方がやや多く、大型試験 8m 斜め積載では荷積み本数に対する荷おろし本数が 2 倍以上と特に多くなり、他と異なる傾向となった。

各回の積載量をつかみ回数で除して求めた平均荷つかみ材積は、荷積み作業では中型試験での 4、6m 材で値が小さく 0.4 ~ 0.5m³ 程度となった。荷おろし作業では大型試験での 8m 材で特に大きく 1.3m³ 程度となったが、その他は中型試験で 0.7m³ 程度、大型試験で 0.9m³

Table 3. フォワーダの諸元

	機械質量 (kg)	最大積載量 (kg)	全長 (mm)	全幅 (mm)	荷台長 (mm)	エンジン 定格出力 (kW)	グラップルローダー
中型	6,300	4,800	5,070	2,300	3,300	92.8	無
大型	11,635*	6,000**	6,755	2,485	4,355*	120.5	無 (付属品を撤去)

*実測値。 **グラップルローダーが無い形式の値。

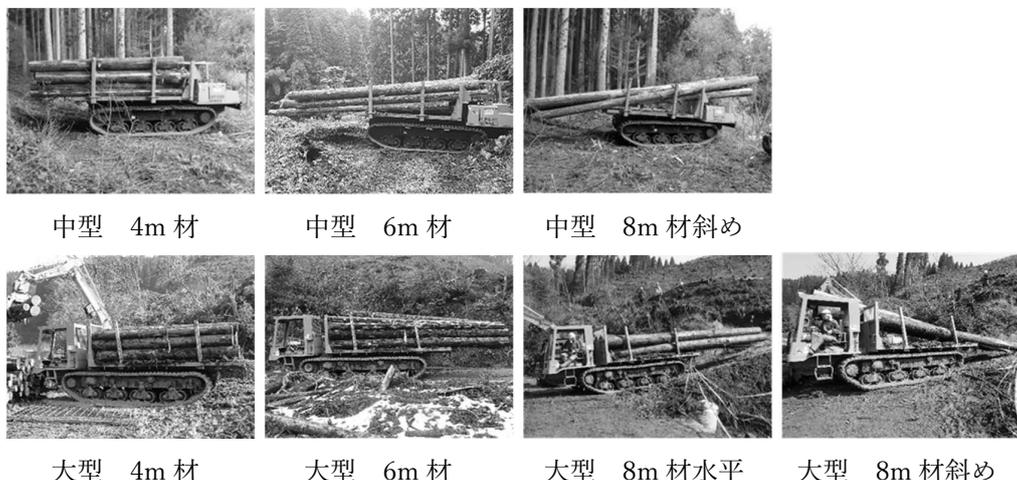


Photo 1. 積載状態

Table 4. 集材工程の詳細

材長 (m)	車両 区分	積載方法		集材 経路	集材時 車両操作*	集材 回数	平均集 材距離 (m)	単位長さあたり 平均丸太材積 (m ³ /m)
		材の角度	荷台からの 材のみ出し					
4	中型(M)	水平	後方	A	前進	9	82	0.055
6		水平	後方	A	前進	5	86	0.050
8		斜め(s)	前・後方	A	前進	8	95	0.050
4	大型(L)	水平	無	B	後進	4	98	0.085
6		水平	後方	C	前進	3	123	0.076
		水平	後方	B	後進	4	95	0.069
8		水平	後方	C	前進	3	91	0.081
		斜め(s)	前・後方	C	前進	1	91	0.048

*空車時は逆方向に走行。

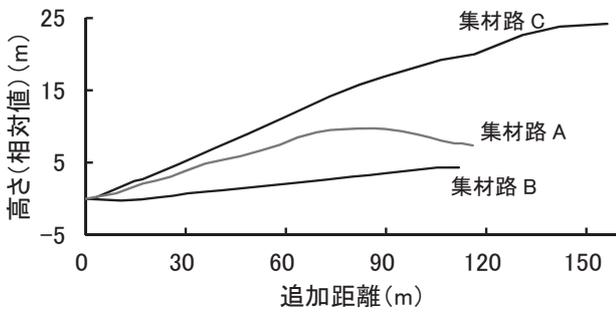


Fig. 2. 集材路縦断面図

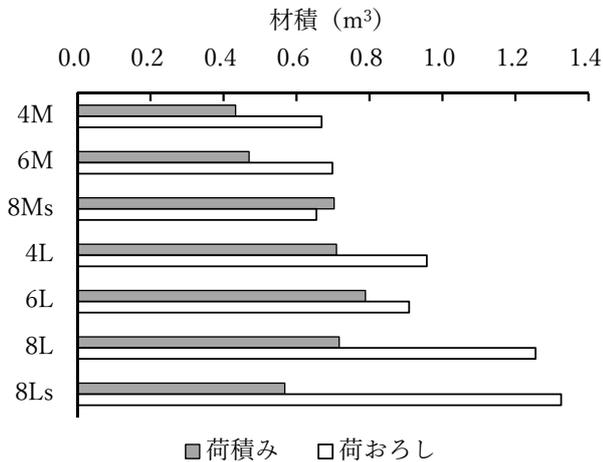


Fig. 3. 平均荷つかみ材積

縦軸の記号は、4, 6, 8の数字が材長 (m)、M/L が中型/大型、sが斜め積載を示す(以下同)。

程度と材長による差は小さかった。一部を除き、材長が長くなるほど荷つかみ本数が減少したため、荷つかみ材積は材長に比例して増える結果とはならなかった。

荷積み作業よりも荷おろし作業の方でつかみ本数および材積が多い傾向となったのは、積み込み時に拘束

されずに積んである材をつかむよりも、荷おろし時に荷台の建て木で拘束された材をつかむ方が作業しやすいためと考えられる。さらに、他の原因として、荷台への衝撃を抑える必要から、荷おろしの際のはい積み作業よりも荷台への荷積み作業の方が、より慎重な作業が要求されることが考えられる。

生産性では、荷積み作業において、中型・大型試験とも 4m 材の生産性が 70 ~ 80m³/h と最大で、中型試験の最小は 6m 材で約 40m³/h、大型試験の最小は 8m 材の斜め積載で約 50m³/h となった。一方、荷おろし作業の生産性は 55 ~ 85m³/h 程度であり、長尺になることによる生産性の低下は見られなかったものの、同じ材長ならば、大型車両の方が高い生産性になる傾向が見られた。

また、中型試験の荷積み作業ではハーベスタが用いられた。ハーベスタと同様の機構をもつプロセッサのグラップルでは、開口幅が比較的小さいとされている(福田 1998)。中型試験では、大型試験と比べて荷つかみ材積が小さくなっているが、Table 4 に示したとおり単位長さあたりの材積が中型試験の方が小さかったことも原因として考えられる。このことを考慮すれば、中型試験の荷積み作業における荷つかみ材積が突出して小さいとはいえ、グラップルの代わりにハーベスタを用いた影響は大きくなかったといえる。

荷積み・荷おろしを合わせた全体(積みおろし)の生産性をみると、中型・大型試験ともに 4m 材の集材において最も高い生産性が得られ、6m 材および 8m 材の集材では各試験とも 4m 材の 70 ~ 80% の生産性となった。荷つかみ材積は、荷台が大きくなるほど、また材長が長くなるほど大きくなる傾向が見られたものの、生産性は 4m 材の集材で最も良い結果が得られた。この理由として、長尺材の集材においては、材をつかむまでの時間や材の移動、荷台上での材整理といった

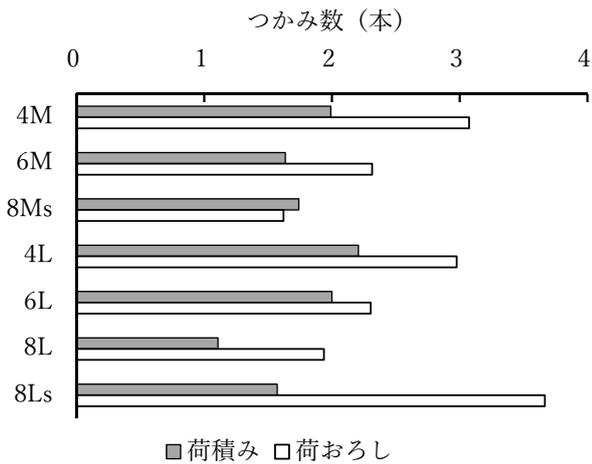


Fig. 4. 平均荷つかみ本数

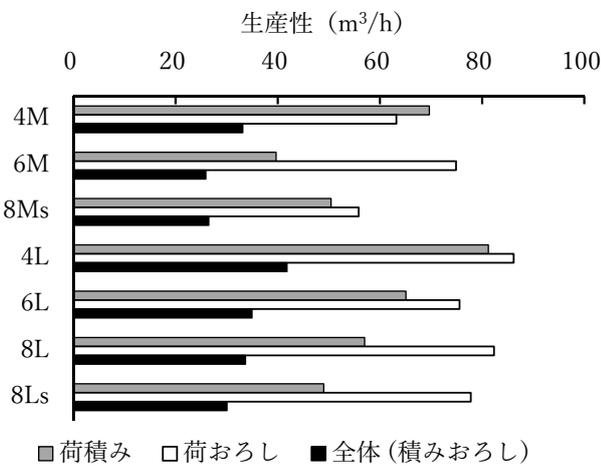


Fig. 5. 荷積み・荷おろし作業の生産性

時間が長くなるためといえる。平均して大型試験の方が高い生産性となり、中型試験と比較して、4、6m 材で約 3 割、8m 材では水平積載との比較で約 3 割、斜め積載との比較で約 1 割それぞれ高くなった。この理由として、荷台サイズが大きく荷の積みおろし作業が容易であったこともあるが、大型試験の実施林分の方が大きな丸太材積（単位長さあたり）だったことも挙げられる。丸太材積の増加が生産性にどの程度影響するのかを定量的に求めることはできないが、大型試験を行った林分における単位長さあたりの丸太材積は、中型試験での同一材長の試験と比較して 1.4 倍～1.6 倍大きかった。一方で、斜め積載どうしを比較すると、中型試験と大型試験において丸太の大きさはほぼ同等であったにもかかわらず、上述のとおり積みおろし作業の生産性は約 1 割向上している。この部分は、荷台サイズが大きくなったことによるものと考えられる。

Yoshida et al. (2018) の報告によると、本報告と同様の後方積載タイプの集材車両において、4、6、8m 材の荷積み・荷おろし作業の生産性は、荷おろし作業の方が高く、また、材長が短いほど高くなっている。今

回の報告でも同様に、荷おろし作業の方が高い生産性となった。材長による生産性については、荷積み・荷おろしの各作業でみると必ずしも材長が短いほど高い生産性になっていないが、積みおろし作業全体としてみると Yoshida et al. (2018) の報告と同様の傾向が得られており、4～8m 程度の材を 12～13 トンクラスベースマシンの機械で取り扱う場合、材長が大きくなるほど積みおろし作業の生産性は下がるといえる。

3.2 集材作業

集材時の走行速度を Fig. 6 に示す。速度は走行した集材路の延長と走行時間から求めた。また、集材時の平均積載量を Fig. 7 に示す。速度の分布は、集材路 C で 4m 材を集材したときの約 3km/h から、同じ集材路で 8m 材を集材したときの約 1.5km/h の範囲となった。

フォワーダなどの集材車両における走行速度については、本試験と同じ機種を含む調査事例が古川・松本 (2009) から報告されており、作業道走行においては、中型試験の機種では、積載走行 7km/h 程度、空走行 8km/h 弱、大型試験の機種では、同 7.5km/h 程度、7km/h 弱とされている。本試験の走行条件に近いと思われる集材路走行では、大型の機種で、同 4km/h 弱、6km/h 程度となり、いずれも本試験の値よりも大きな値となっている（各数値は著者らがグラフから得た概数）。また、本試験の中型車両よりやや積載量の小さい機種で、6m および 4m 材積載、空荷での走行速度がそれぞれ約 2.7km/h、約 4.0km/h、約 4.5km/h との報告がある (Yoshida et al. 2018)。さらに、機種は異なるものの、本試験と同様のクローラ式車両における集材路の走行速度として、車幅の 1.03 倍から 1.76 倍までの路線幅員で、積載時に 1.0～4.5km/h 程度（著者らがグラフから得た概数を単位変換）の速度になったとされている (岡ら 2007a)。

今回の試験では、集材路 A では走行部分が車幅の 1.3

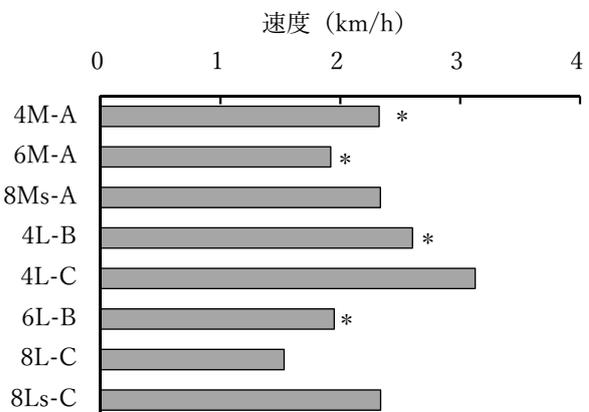


Fig. 6. 集材走行速度

*方向転換の時間を含む。

縦軸の記号の A, B, C は Fig.2 の集材路を示す。

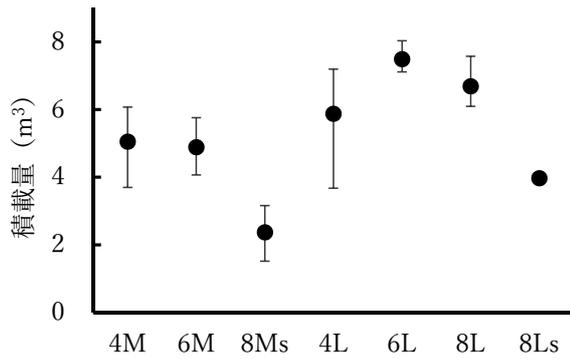


Fig. 7. 集材時の平均積載量
エラーバーは最大・最小値

倍、Bは敷鉄板の幅が同1.2倍、Cの幅員が同1.6倍であったことを考慮すると、通常の4m材集材でも、岡ら(2007a)の報告よりもやや遅い速度であった。よって、本試験での走行速度は、既報と比較してやや遅かったといえる。

積載量は、中型試験で2~6m³程度、大型試験で4~8m³程度となった。中・大型車両とも、8m材の斜め積載時に積載量が小さくなっているが、大型車両での8m斜め積載では、作業進捗上の理由から4m³程度の積載量にとどまっておき、さらに積載することは可能であった。しかし、斜め積載では荷台容積を十分に活用することができず、水平積載と比べて積載量が小さくなるといえる。

長尺材集材の影響を検討するため、同一集材路における速度を比較すると、斜め積載を除けば、いずれの集材路でも材長が長くなるほど走行速度は小さくなった。一方で、斜め積載時の速度は、中型試験では6m材積載時よりも大きく、大型試験でも同一材長、同一集材路の水平積載時よりも大きかった。

岡ら(2007b)によれば、フォワーダの走行速度には積載量および縦断勾配が影響するとされ、今回の試験でも斜め積載ではいずれも積載量が小さくなったために走行速度が速くなったことも考えられる。さらに、使用した集材路の条件もそれぞれ異なっている。そこで、これらの条件の違いを極力打ち消して、同一に近い条件で比較するために、最大性能に対する積載走行時の変化の比率により比較した。すなわち、実車走行時の積載量を最大積載量で除した積載率、および実車走行時の速度を空車走行時の速度で除した速度率の二つの概念を導入し、長尺材の影響を検討した。積載材積から質量への換算においては生材の密度を800kg/m³とした。岡ら(2007b)の積載走行および空荷走行における速度予測式によれば、同一経路を積載下り走行、空荷上り走行をする際には、ある積載量に対する速度率が縦断勾配によらず一定になる。今回の試験における各回集材において、これらの積載率および速度率を求め、集材条件ごとの平均値を求めた(Fig. 8)。ただし、

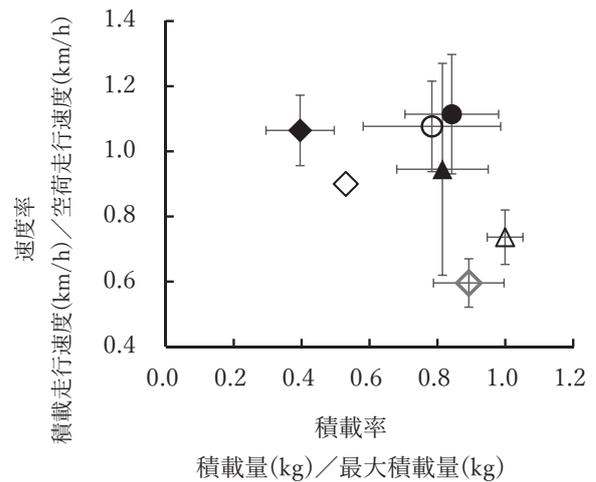


Fig. 8. 積載率と速度率
エラーバーは標準偏差

空荷走行速度は各集材路における平均値を用いた。

4m材集材では、中・大型試験とも積載率が約0.8、速度率が約1.1となった。積載率0.8程度の際には、積載による速度低下がないといえる。一方、6m集材では、4m材と同程度の積載率約0.8でも速度率は4m材の値よりも小さく約0.9となった。また、積載率が1.0の定積載になると、速度率が約0.7に下がった。8m集材では、速度率が約1.0になるときの積載率が約0.4と最も小さくなり、定積載に近い積載率0.9になると速度率が約0.6に下がった。

以上のことから、積載走行速度を落とさないためには、材が長くなるほど積載率を小さく、つまり車両の積載能力に比べて小さな積載量とする必要がある。また、定積載で走行するときの速度減少は、4m材ではほとんどなく、長尺材になるほど大きくなるのが分かる。これらの速度低下は、積載量や、縦断勾配によるものではないため、積み荷の材が長くなることによる影響といえる。具体的には、積載状態での車両重心位置が後方もしくは上方に移動することによる車両転倒や、荷崩れへの配慮が必要となることから、材が長くなるほど速度が低下すると考えられる。実際の作業でも、集材路Aにおける6m材集材の際、走行路面の凹凸によって機体前方が大きく浮き上がり、材の後端が路面に接触することがあった。転倒に至るほどではなかったが、長尺材の積載による車両重心位置の変化によるものと考えられる。

8m材の斜め積載においては、走行性の明確な悪化はみられなかった。今回の集材路における材と路面等との接触については、集材路Cでは、8m水平積載で曲線部分での材後端と曲線外側の切土のり面との接触、集材路Aでは、転回時に6m材の後端と斜面との接触などがあったが、いずれも表面を軽くこすった程度で

あったため生産性に影響するものではなかった。斜めに積載することで、荷台からはみ出し量を前後に分散することができ、水平積載と比較して後方へのはみ出し量を小さくすることができるものの、材後端と路面との距離が近くなり、材と路面が干渉しやすくなることが考えられる。また、材前端でも枝や切土のり面などとの干渉に留意しなければならない。さらに、積載時の車両重心については、水平積載では後方に重心が移動するため、上述したような機体の浮き上がりなどへの配慮が必要となるが、斜め積載では重心が上方へ移動し、左右への転倒角が小さくなる欠点も考えられる。これらの特徴を勘案し、現場の条件に応じた積載方法とすることが必要である。

3.3 集材工程の生産性

作業観測から得た平均サイクルタイムを Fig. 9 に示す。中型試験の 8m 材集材が 600 秒弱で最小、大型試験の 6m 材・8m 材集材が 1000 秒強で最大となった。内訳をみると、走行時間は空荷、積載ともそれぞれほぼ一定で作業条件による差が小さい。一方、荷の積みおろし作業では条件による差が大きく、荷積みでは中型試験 8m 材で小さく、荷おろしでは中型試験 8m 材、大型試験 8m 材斜め積載で小さい。しかしこれは、3.2 でふれたとおり積載量の影響によるものと考えられる。空荷および積載走行が占める割合は 29～45%（平均 33%）であり、Yoshida et al. (2018) から報告されている約 30%（著者がグラフから得た概数）ともほぼ一致する。今回の走行速度は 3.2 でふれたとおり既往の報告と比較して小さく、単位距離あたりの走行に要した時間は相対的に大きいものの、集材距離が 100m 前後と Yoshida et al. (2018) の条件よりも短かったことから同程度の値になったと思われる。

作業観測から得た各数値から、以下の式により集材距離と集材工程生産性の関係を得た (Fig. 10)。

$$T = d(1/v_1 + 1/v_2) + w(1/v_3 + 1/v_4) \quad (1)$$

$$P = 3600w/T \quad (2)$$

ただし、T：サイクルタイム (s)、d：集材距離 (m)、v1：積載走行速度 (m/s)、v2：空荷走行速度 (m/s)、w：積載量 (m³)、v3：単位時間あたり荷積み生産性 (m³/s)、v4：単位時間あたり荷おろし生産性 (m³/s)、P：生産性 (m³/h)。

Fig. 10 から、中型・大型試験とも 4m 材の生産性が最も高く、材長が長くなるに従って生産性が低くなった。中型試験 4m 材の生産性は、大型試験 8m 材の生産性と同程度だった。また、大型車両による 8m 材の生産性では、斜め積載より水平積載の方が高くなった。これは、斜め積載では積載量が小さくなってしまったためであり、後方積載タイプでは回避することができな

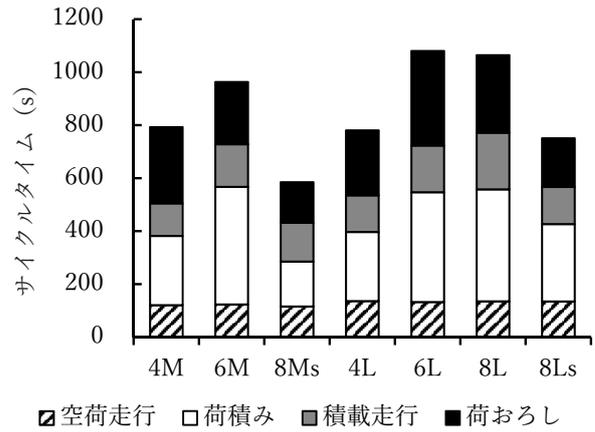


Fig. 9. 平均サイクルタイムの比較

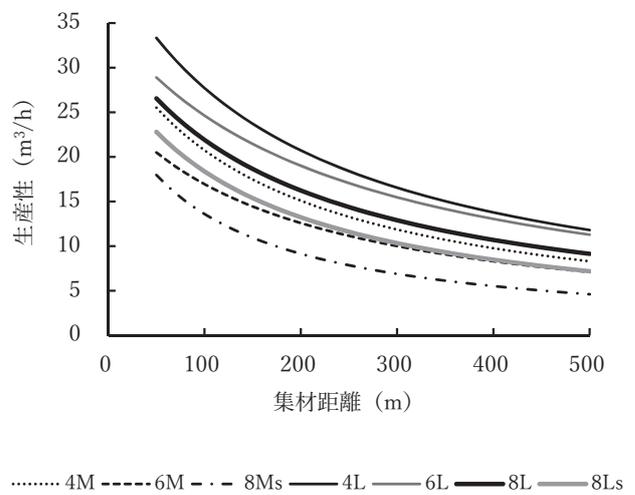


Fig. 10. 材長による集材工程生産性の比較

い。集材距離を 200m としたときの生産性をみてみると、車両を中型から大型にすることで、同じ材長での生産性が、4m 材では約 1.4 倍、6m 材で約 1.5 倍、8m 材では、水平に積載すると約 1.8 倍、同じ斜め積載と比較すると約 1.4 倍といずれの材長でも生産性の向上が見られ、最も大きく向上したのは 8m 材を水平に積載した場合であった。大型車両を用いることで、中型と比較して 4 割程度以上の生産性向上が見込まれ、8m 材では積載方法の工夫によって、さらに大きな向上も見込める。一方、大型車両であっても、長尺材の生産性は 4m 材よりも低く、通常の 4m 材と比較して生産効率の高い集材方法とはいえなかった。しかし、中型車両では 4m 材と比較した 6m、8m 材の生産性がそれぞれ約 8 割、約 6 割だったのに対し、大型車両になるとそれぞれ約 9 割、約 8 割となり、大型車両の方が落ち込み度合いが小さくなった。以上より、長尺材の生産にあたっては、大型車両の方が適しているといえる。Yoshida et al. (2018) の報告では、集材距離 200m において、横積式車両による 6m 材の集材生産性は、後方積載式と比べて 46% 向上したとされている。本試験と

同程度の向上割合であることから、6m 材集材に大型車両を使用することは、横積式車両を使用するのと同程度の効果があるといえる。

4. おわりに

今回の結果では、積みおろし作業全体で概ね材長が短いほど生産性が高くなった。6m と 8m 材での生産性の違いは小さかったが、丸太材積の違いを考慮しても、積みおろし作業が容易な大型車両の方がやや高い生産性となった。

積載走行において、各集材走行を同一条件で比較できるように積載率と速度率を導入したところ、同一積載率における速度率は材長が長くなるほど小さくなる傾向が見られた。この速度率の違いは、積載時の車両重心位置が後方もしくは上方に移動することで、車両転倒や荷崩れへの配慮が必要となることが原因と推定された。

積みおろしを含めた集材工程の生産性は、中・大型車両とも 4m 材で最も高くなり、材長が長くなるほど低下した。また、各材長における生産性は大型車両の方が高く、加えて長尺になることによる生産性の低下率も大型車両の方が小さくなっており、大型車両の方が長尺材の生産に適していることが明らかとなった。しかし現状では、大型車両であっても長尺材になるほど生産性が劣ってしまうため、長尺材の効率的な生産にあたっては、より適性の高い車両が必要である。例えば、積みおろし作業が容易になるよう荷台が大きく、横積式車両 (Yoshida et al. 2018) のように長尺材でも積載量が減らないような機構を有したり、大型試験における 8m 材水平積載において横向き丸太を材の下に置くことで長尺材を安定して積載できたことから、簡易に設置でき、積荷の安定性に効果を発揮する補助具を導入したりすることが考えられる。

今回は生産性の観点からのみ長尺材の集材作業について検討を行った。実際のシステム選択にあたっては、機械の価格やメンテナンス費、稼働率などのコスト面での検討も必要となる。大型車両は、広い集材路や土場などを必要とすることから、コンスタントに稼働できる地域は限られると思われる。長尺材を生産する地域では、大型車両の導入を検討すべきであるが、検討にあたっては、地域の地形条件や路網規格を十分考慮する必要がある。

また、作業現場が奥地化することによって、集材距離が長い現場も見られるようになってきた。集材距離と生産性の関係を見ると、集材距離が長くなるほど大型車両と中型車両の生産性の差は小さくなるのがわかる。よって、大型車両の導入にあたっては、集材距離が長い現場ほど慎重に検討する必要がある。

謝 辞

本調査にあたり、富山県西部森林組合氷見支所の全面的な協力を得たことに感謝する。なお、本研究は (国研) 森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクト「大径・長尺材に対応した新たな生産技術の開発」(課題番号 201422) による成果である。

引用文献

- 福田 章史 (1998) プロセッサ. 林野庁監修 “林業技術ハンドブック”. 社団法人全国林業改良普及協会, 1197-1202.
- 福田 弘之 (1989) 非皆伐施業における効率的搬出方法 (特殊注文材生産について). 社団法人林業機械化協会編 “林業機械シリーズ 78, 非皆伐施業における効率的搬出方法”. 林業機械化協会, 249-257.
- 古川 邦明・松本 武 (2009) フォワーダによる集材作業の生産性の検証. 日本森林学会大会学術講演集, 120, Pb1-51.
- 上浮穴郡林業振興協議会 (1987) 上浮穴地方育林技術とその体系. 76pp.
- 嘉戸 昭夫・田中 和博 (2010) ボカスギ林におけるシステム収穫表の成長パラメータ. 富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究報告, 2, 10-17.
- Nakazawa, M., Yoshida, C., Sasaki, T., Taki, S., Uemura, T., Ito, T., Yamaguchi, H., Mozuna, M., Usui, K., Inomata, Y., Suzuki, H., Yamaguchi, S., Muneoka, H., Tanaka, Y., Jinkawa, M., Zushi, K. and Aiura, H. (2019) Productivity of logging large diameter logs and long logs during final cutting in a mountain forest in Japan. *International Journal of Forest Engineering*, 30(3), 203-209.
- 岡 勝・田中 良明・吉田 智佳史・近藤 耕次・佐々木 達也・加利屋 義広 (2007a) フォワーダ走行速度からみた集材路規格に関する検討. *森林学誌*, 21, 295-298.
- 岡 勝・中澤 昌彦・田中 良明・吉田 智佳史・近藤 耕次・加利屋 義広 (2007b) フォワーダの走行速度に及ぼす路網規格と積載量の影響. *森林学誌*, 22, 163-170.
- 與儀 兼三・涌嶋 智・佐野 俊和・山場 淳史 (2017) 長尺材採材を目的とした大径木の伐出作業で伐倒方向が生産性に与える影響. 日本森林学会大会学術講演集, 128, P136.
- Yoshida, C., Sasaki, T., Taki, S., Nakazawa, M., Uemura, T., Suzuki, H., Jinkawa, M., Nakashima, Y., Morooka, N. and Zushi, K. (2018) Productivity of forwarding operation for long logs with side-loaded forwarder. *Kanto Journal of Forest Research*, 69, 67-70.

Longer log forwarding productivity between different load capacity forwarders

Hidenori SUZUKI ^{1)*}, Satoshi YAMAGUCHI ¹⁾, Hiroko MUNEOKA ¹⁾,
 Tatsuya SASAKI ¹⁾, Yoshiaki TANAKA ¹⁾, Yuta INOMATA ¹⁾, Takayuki ITO ¹⁾,
 Masahiro MOZUNA ¹⁾, Seishiro TAKI ¹⁾, Takumi UEMURA ¹⁾, Kengo USUI ¹⁾,
 Chikashi YOSHIDA ¹⁾, Hirokazu YAMAGUCHI ¹⁾, Masahiko NAKAZAWA ¹⁾,
 Masaki JINKAWA ²⁾ and Kotaro ZUSHI ³⁾

Abstract

The aim of this study was to compare between different load capacity forwarders in the productivity of longer log production and to clarify longer log productivity and the effect of the forwarder's loading capacity or platform dimension on productivity. We surveyed the following activities: loading to forwarder with a grapple loader or harvester, forwarding with 6 ton load capacity as large forwarder and 4.8 ton as middle, and unloading from forwarder with grapple loader. The produced log length classes were 6 and 8 m as longer logs and 4 m as regular length logs. The productivity with the large forwarder was slightly higher than that with the middle in loading and unloading, even considering the difference in log volume, probably owing to the improvement in workability because of the broader platform of the large forwarder. Considering the driving speed in forwarding with two newly defined indices, the greater the log length, the smaller was the velocity ratio when compared with the same loading ratio. The former index is the ratio of forwarding speed in loading to that in unloading and the latter is the ratio of loading volume in each cycle to that of the maximum of the machine used. The cause of this reduction in speed was presumed to be because of the shift in the center of gravity and the resultant instability of the forwarder. The total productivity of loading, unloading, and forwarding was the highest in the case of production of 4 m logs with both the large and middle forwarders. However, the rate of reduction in productivity owing to the longer log was lower with the large than with the middle forwarder. Hence, it was confirmed that large forwarders are more suitable for longer log production.

Key words: forwarder, log length, load capacity, loading and unloading

Received 11 September 2019, Accepted 13 December 2019

1) Department of Forest Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Kyushu Research Center, FFPRI

3) Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center Forestry Research Institute

* Department of Forest Engineering, FFPRI, Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; E-mail: hidesuzu@ffpri.affrc.go.jp