

コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究

—長野県の緩傾斜地における車両系伐出作業システムによる伐採・造林一貫作業の生産性—

大矢信次郎・斎藤仁志*・城田徹央*・大塚大*・宮崎隆幸・柳澤信行**・小林直樹***

伐採・造林一貫作業は、伐出機械を再造林作業の一部に適用することにより、再造林コストの低減を図る作業として検討が進められている。本研究では、長野県内の緩傾斜地を中心とした林分において、車両系作業システムによる皆伐作業及び再造林作業の各工程の生産性とコストを明らかにすることを目的として、伐倒、木寄せ、造材、集材、地拵え、苗木運搬、植栽の各工程の生産性を調査した。高密度路網が整備された3地域のカラマツ林で伐倒から集材までの5回の皆伐作業を調査した結果、労働生産性は14.8～24.0m³/人日となり、約20m³/人日の生産性が得られた。グラップルローダによる機械地拵えは、人力地拵えを大きく上回る生産性を示し、地拵えコストを25～75%に低減する可能性が示唆された。また、フォワーダによる苗木運搬により、運搬コストが約73%に低減された。コンテナ苗の植栽工程は裸苗より生産性が有意に高かったが、植栽コストはコンテナ苗の価格が高いために裸苗の方が低かった。再造林作業の生産性向上とコスト低減を両立させるためには、コンテナ苗の低価格化が望まれる。

キーワード：車両系伐出作業システム、再造林、生産性、カラマツ、コンテナ苗

1 はじめに

日本の林業の生産性向上のためには、施業の集約化と並んで低コストで効率的な作業システムの普及が必要とされている(林野庁 2015a)。現在、戦後に植栽された人工林の多くが全国的に11 齢級前後に達し(林野庁 2015b)伐期を迎えつつあり、間伐のみならず皆伐も視野に入れた計画的な森林経営が必要とされるようになってきた。しかし、林業の採算性の悪化等を理由として、近年は皆伐が積極的には行われておらず、2013 年における民有林の皆伐面積は間伐面積の1/6 以下に過ぎない(林野庁 2015b)。このため、高性能林業機械が本格的に普及し始めた1990 年代以降、皆伐作業の生産性の把握は十分にはなされていない。

一方、皆伐作業と再造林作業を一連の作業としてとらえた伐採・造林一貫作業(以下、一貫作業)が九州や四国、北海道などを中心に実践され始めている(今富 2011, 森林総研 2012, 森林総研 2013, 森林総研 2015, 佐々木 2014)。一貫作業は、再造林作業を皆伐作業の延長線上に位置づけ、皆伐時に使用したグラップルローダやフォワーダ等の機械を地拵えや苗木運搬等に利用することによって効率化し、再造林コストの低減をねらったものである。さらに、一貫作業では皆伐後速やかに植栽を行うため、通年で植栽することが可能とされるマルチキャビ

ティコンテナ苗(山川ら 2013, 以下、コンテナ苗)を植栽する事例が国有林を中心に広がっている(林野庁 2015a)。しかし、一貫作業の生産性やコストを調査した事例はまだ少なく、皆伐・再造林に必要な費用が曖昧であることから、地域の林業の特性に合わせた皆伐・再造林のコストを明らかにする必要がある。

一貫作業を行うにあたり、車両系林業機械が林内走行することが可能な平坦～緩傾斜地においては、中～急傾斜地に比べて地拵えから植栽までの労働投入量が2/3 程度になることが示されている(森林総研 2013)。長野県は県境に標高2,000～3,000m 級の山々が連なるなど急峻で複雑な地形を有しているが、火山山麓に広がる緩やかな地形も多い。県内においても戦後に植栽されたカラマツが用材として利用可能な径級に成長してきたことを受けて、作業道を開設し車両系の高性能林業機械を用いて効率よく間伐材を搬出する作業システムが普及してきている一方、国有林を中心に一貫作業による皆伐・再造林がモデル的に進められていることから、一貫作業を行う環境は整いつつある。

こうした背景を踏まえ、本研究では長野県の緩傾斜地における車両系伐出作業システムによる皆伐から植栽までの一貫作業の各工程における生産性とコストを明らかにすることを目的とした。

*信州大学農学部, **元林業総合センター指導部・現長野県上小地方事務所林務課, ***元林業総合センター育林部長
本報は日本森林学会誌に掲載された論文を同学会の許可を受け転載・再構成したものである。

なお、本研究は、攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究」(平成26~27年度)並びに文部科学省科研費「カラマツの天然更新を活用した革新的施業技術の確立」(課題番号:26450222,平成26~30年度)により実施した。また、成果の一部は日本森林学会大会(大矢ら2015a,大矢ら2016a),森林利用学会学術研究発表会(大矢ら2015b),森林・林業技術シンポジウム(大矢2016a)において発表するとともに、山林(大矢2016b)及び日本森林学会誌(大矢ら2016b)において公表した。

2 調査地と方法

2.1 調査地

調査地は、長野県内のカラマツ人工林で一貫作業

が計画されている林分のうち、平均傾斜が比較的緩やか(約20°以下)で機械走行が可能な3地域の5試験地を対象とした(図-1)。いずれも伐採当年中に皆伐から植栽までを完了する一貫作業を車両系伐出作業システムを使用して行い、カラマツを再造林する施業地である。

浅間山国有林の調査地は、長野県東部の北佐久郡御代田町の浅間山南西麓のカラマツ人工林である。2014年9月~10月に2030林班へ小班の69年生林分2.32ha(以下、試験地A1),2015年8月~10月に2028林班ろ小班の62年生林分3.95ha(以下、試験地A2)において一貫作業を行った(表-1)。試験地A1では2014年10月に、試験地A2では2015年9月に同一事業体により一貫作業が行われた。

南牧県有林の調査地は、長野県東部の八ヶ岳連峰主峰の赤岳の東麓のカラマツ人工林である。2014年

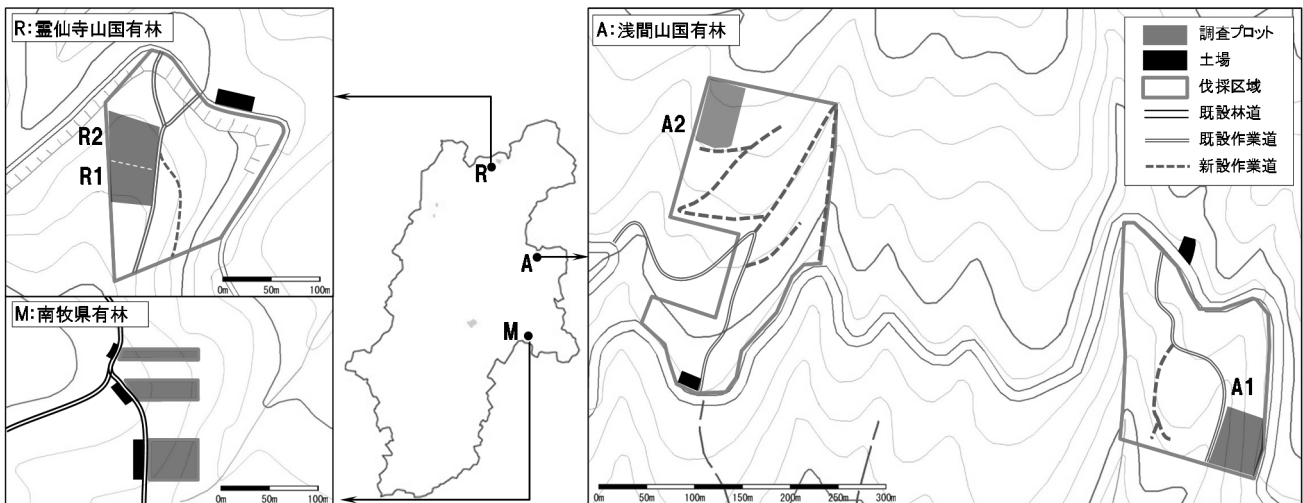


図-1 試験地の位置図及び平面図

表-1 各試験地の概要

試験地名	A1	A2	M	R1	R2
所在地	浅間山国有林 (北佐久郡御代田町)		南牧県有林 (南佐久郡南牧村)	霊仙寺山国有林 (上水内郡信濃町)	
樹種	カラマツ	カラマツ	カラマツ	カラマツ	
林齢	69	62	77	66	
標高(m)	1230	1270	1580	920	
伐採面積(ha)	2.32	3.95	0.42	2.68	
試験区域面積(ha)	0.40	0.23	0.42	0.20	0.21
平均集材距離(m)*	290	420	-	170	170
平均傾斜(°)	21.4	13.5	11.4	10.0	
路網密度(m/ha)	156	236	169	224	
立木密度(本/ha)	325	208	173	293	
林分材積(m ³ /ha)	263	156	143	262	
単木材積(m ³ /本)	1.13	0.75	0.82	0.89	
平均樹高(m)	26.2	21.6	20.1	24.1	
平均胸高直径(cm)	31.8	28.7	32.4	29.9	
植栽樹種	カラマツ	カラマツ	カラマツ	カラマツ	
伐採年月**	2014年10月	2015年9月	2014年9月	2015年6月	
植栽年月**	2014年10月	2015年10月	2014年11月	2015年10月	

* 試験地Mは林道に接しているためフォワーダ作業はないが、ウィンチによる木寄せを要した(平均木寄せ距離:25m)

** 伐採、植栽年月は、試験区域内の作業時期

9月～11月に68林班に小班の77年生カラマツ林(以下、試験地M)において、幅10～40mの帯状皆伐が行われた。また、試験地Mの字拵はバックホウのバケットによる地表かき起こしにより行われた。

霊仙寺山国有林の調査地(1036林班ち小班)は、長野県北部の上水内郡信濃町の霊仙寺山北東麓のカラマツ人工林である。2015年6月～10月に1036林班ち小班の66年生林分2.68haにおいて一貫作業を行った。ここでは、2015年6月にクローラ式の高性能林業機械による作業システムを採用した試験地R1と、先進的林業機械として導入された北欧製のホイール式ハーベスタ及びフォワーダによる作業システムを採用した試験地R2を設定した。

2.2 調査方法

2.2.1 車両系伐出作業システムによる皆伐作業

伐採・造林一貫作業の前半部分に相当する皆伐作業では、伐倒、木寄せ、造材、集材の各工程に区分して調査した。試験地A1, A2, M, R1の各試験地の作業システムは、チェーンソーによる伐倒、グラップルローダ(以下グラップル、試験地M以外はウインチ付)またはトラクタ(試験地M)による木寄せ、プロセッサによる造材、クローラ式フォワーダによる集材で、現在長野県内の緩～中傾斜林分で一般的に使用されている車両系高性能林業機械による伐出作業システムである(表-2)。また、試験地R2の作業システムは、先進的林業機械として導入されたフィンランドSAMPO ROSENLEW社製のホイール式ハーベスタ1046Pro, スウェーデンVIMEK社製のホイール式フォワーダ608を使用し、CTL作業(Cut to Length: ハーベスタ, フォワーダの林内走行に

よる短幹集材, 佐々木2012)を行った。

調査に先立ち、各試験地において0.2～0.4haの調査区域(図-1, 表-1)を設定し、伐倒対象木のナンバリングを行い、胸高直径と樹高の毎木調査により立木幹材積を求めた。この調査区域内における一連の伐出作業内容をビデオ観測して作業時間分析を行い、各工程の作業時間と処理材積, 作業人員数から工程ごとの労働生産性(m³/人時)を算出した。各工程の処理材積は、伐倒, 木寄せでは立木幹材積, 造材, 集材は作業後の検知による素材材積とした。なお、システム全体の労働生産性は完全直列作業として評価し、次の(1)式(全林協2001)により求めた。

$$P = \frac{1}{\frac{1}{Pa} + \frac{1}{Pb} + \frac{1}{Pc} + \frac{1}{Pd}} \quad (1)$$

ここで、Pはシステム生産性、Paは伐倒生産性、Pbは木寄せ生産性、Pcは造材生産性、Pdは集材生産性を表す(単位はいずれもm³/人時)。また、1日当りの労働生産性(m³/人日)は、実労働時間を6時間として算出した。

伐出コスト算定のための評価値は、既往の文献(全林協2001, 日林協2010, 長野県林務部2015)から表-3のとおりを設定した。また、先進的林業機械については、導入時の価格及び文献(Spinelli et al. 2004, Austria Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape 2015)を参考に評価値を設定した。伐出コストは次の(2)式により求めた。

表-2. 各試験地の作業システム

試験地名	A1	A2	M	R1	R2
所在地	浅間山国有林 (北佐久郡御代田町)		南牧県有林 (南佐久郡南牧村)	霊仙寺山国有林 (上水内郡信濃町)	
伐倒	[チェーンソー]				
木寄	[グラップルローダ] コマツ13P-US (イワシグラップル GS-50LJ) (イワシウインチ TW-2S)	[グラップルローダ] CAT311B (イワシグラップル GS-50LJ) [トラクタ] 三菱BS3F	[グラップルローダ] CAT312C (南星グラップル BHS10KM-4)	[ホイール式ハーベスタ] SAMPO1046Pro (KETO100)	
造材	[プロセッサ] CAT314D-CR (KETO150P)	[プロセッサ] CAT312 (KETO150P)	[プロセッサ] CAT314D-CR (KETO150P)		
集材	[フォワーダ] イワシU4-BG	-	[フォワーダ] 諸岡MST-800VDL	[ホイール式フォワーダ] VIMEK608	

()内はアタッチメント

表-3 伐出等コストの諸評価値

機械種	機械価格 (千円)	耐用年数 (年)	稼働日数 (日/年)	固定費 (円/日)	変動費 (円/日)	人件費* (円/日)	計 (円/日)	備考
チェーンソー中	202	3.0	150	415	2,254	20,200	22,869	伐倒
グラップル中ウインチ付	13,500	7.3	180	15,048	8,095	19,200	42,343	木寄せ, 地拵え
グラップル中	9,500	6.0	200	11,573	4,487	19,200	35,260	木寄せ
スキッダ小	9,200	6.0	140	12,630	10,434	19,200	42,264	木寄せ
プロセッサ中	19,000	6.0	180	25,046	13,313	19,200	57,559	造材
フォワーダ中	17,600	6.0	130	32,719	12,201	19,200	64,120	集材
バックホウ	8,250	6.0	200	11,244	4,452	19,200	34,896	地表かき起こし
ホイール式ハーベスタ (SAMPO)	32,000	9.0	200	36,006	16,926	19,200	72,132	伐倒, 木寄せ, 造材
ホイール式フォワーダ (VIMEK)	20,500	6.0	233	22,212	13,446	19,200	54,858	集材
植栽作業	-	-	-	-	-	17,400	17,400	植栽 (普通作業員)

*人件費は、チェーンソー作業：特殊作業員、重機運転：特殊運転手、植栽作業：普通作業員として長野県の林業土木事業設計単価を適用した

$$C = \left(\frac{Ca}{Pa} + \frac{Cb}{Pb} + \frac{Cc}{Pc} + \frac{Cd}{Pd} \right) / 6 \quad (2)$$

ここで、Cは伐出コスト (円/ m³) であり、Caは伐倒コスト、Cbは木寄せコスト、Ccは造材コスト、Cdは集材コストを表す (単位はいずれも円/日)。なお、本報で示す生産コストの値は全て直接費 (機械費、作業員人件費) であり、事業体によって差違が生じる間接費 (機械運搬費、人員輸送費等) は含まれていない。

2.2.2 伐出機械を利用した再造林作業

霊仙寺山国有林 (試験地 R) の皆伐地において、グラップルによる地拵え工程をビデオ観測し、地拵え面積と時間分析によって機械地拵えの生産性 (m²/人時) を算出した。地拵え面積は、グラップルに取り付けたハンディ GPS 受信機 (Garmin 社製 GPSMAP 60CSx) の軌跡を地図ビューソフトウェア (カシミール 3D) により PC に取り込み、軌跡で囲まれた内部の面積をソフトウェア上で計算することにより求めた。また、試験地 M ではカラマツ天然更新誘導作業として行った油圧ショベル (以下、バケット) による地表かき起こしを地拵えと類似した作業とみなして調査を行った。地表かき起こしでは、伐採帯の林床に散在する枝条や林床に生育するササ類の稈と地下茎、及び A₀~A 層土壌 (厚さ約 20cm) をバケットにより残存帯との林縁に集積した。

次に、機械によるコンテナ苗の苗木運搬の生産性を明らかにするため、浅間山国有林において調査を行った。試験地 A2 の中央に、林道及び作業道を走行してコンテナ苗を運搬し、フォワーダに取り付けた GPS 受信機に記録された走行軌跡と、フォワーダと作業員のビデオ観測により、走行距離、運搬した苗木の本数、積みおろしに要する時間等を分析した。人力運搬は、GPS を携行した調査者がビデオ撮影を

並行して行いながら苗木運搬作業者に同行し、歩行時間と歩行距離を測定し、単位時間あたりの運搬本数を評価した。なお、コンテナ苗等を運搬作業時間は次の (3) 式により求めた。

$$T = \frac{N}{N'} \left(\frac{2L}{V} + \frac{TLN'}{3600} \right) \quad (3)$$

ここで、T: 運搬時間 (時間)、L: 片道平均運搬距離 (km)、V: 走行 (歩行) 速度 (km/時)、N: 苗木運搬本数 (本)、N': 運搬 1 回あたりの苗木本数 (本/回)、TL: 苗木のフォワーダへの積みおろし時間 (秒/本)、である。なお、N' の値は、人力運搬では現場で植栽時に使用する背負い式の苗木袋の容量に合わせて、裸苗で 200×2 袋=400 本/回、コンテナ苗で 100×2 袋=200 本/回とし、フォワーダによる運搬ではコンテナ苗が梱包された黒ビニル袋 (50 本入) ×44 袋=2,200 本/回とした。

コンテナ苗等の植栽作業は、試験地 A 及び R においては 40m×40m のプロットを各調査地の任意の位置に 3 箇所ずつ設定した。各プロットを下部から最大傾斜方向に向かって縦に 2 等分し、左側半分はコンテナ苗、右側半分は裸苗を配置し、約 2200 本/ha の本数密度となるよう、上下左右とも約 2.1m 間隔で植栽した。試験地 M では、林道を起点として各伐採帯を奥行方向に 3 等分し、最奥部をコンテナ苗植栽区、中間部を裸苗植栽区、最前部をカラマツ天然更新区とした。コンテナ苗は専用の植栽器具であるスピードとディブル (横山・佐々木 2013) 及び唐鋤を用いて植栽し、裸苗は唐鋤を用いて丁寧植え (全林協 1998) によって植栽した。ビデオ分析により、苗種と植栽器具別に時間あたりの植栽本数 (本/人時) を求め、植栽工程の生産性とした。

3 結果と考察

3.1 車両系伐出作業システムによる皆伐作業

3.1.1 伐倒工程

伐倒工程の生産性は、チェーンソーで8.9~20.9 (平均 15.3) m³/人時となり、現場ごとの差が大きかった (表-4)。試験地 R1 の伐倒生産性は 20.9m³/人時でチェーンソー伐倒の中で最も高かったが、伐倒 (受け口及び追い口切り) 及び伐倒準備 (伐倒木周辺の林床整理等) の各要素作業時間が比較的短かったことに起因していた (図-2)。試験地 M では、伐倒生産性が最も低く 8.9m³/人時にとどまった。伐倒方向が重心と逆の山側であったことから、伐倒補助 (ウインチによる伐倒方向誘導) を多く要したためと考えられる。長野県の列状間伐におけるチェーンソー伐倒の生産性は 2.0~18.5 (平均 7.0) m³/人時と報告されている (宮崎ら 2011) が、今回の皆伐作業ではこれを上回る生産性を示していた。かかり木処理が皆伐作業ではほとんど発生しなかったことや、単木材積が全試験地平均で約 0.9m³ と大きいことなどにより生産性が向上したものと考えられた。

一方、ホイール式ハーベスタを採用した試験地 R2

の伐倒生産性は 55.8m³/人時となり、今回のチェーンソー伐倒における最高値の 2.7 倍という極めて高い生産性を示した (表-4)。同機による列状間伐における伐倒生産性は 45m³/人時相当であることが報告されている (中澤ら 2013) が、皆伐では間伐に比べて伐倒方向の障害物が減少することや、移動時間が少ないため、さらに高い生産性を示したものと考えられる。

3.1.2 木寄せ工程

木寄せ工程の生産性は、高性能林業機械の作業システムでは 10.0~60.6m³/人時となり、差が大きかった (表-4)。試験地 M では平均木寄せ距離が約 25m であり、トラクタのウインチとグラップルを併用していたため作業時間を要し、ウインチ作業が木寄せ工程の約 40% を占めていたのに対して、他の試験地ではプロセッサやグラップルによる作業道からの直取りが可能であり、木寄せの平均サイクルタイムは試験地 M の 40% 未満であった。なお、試験地 R2 のハーベスタ作業は、伐倒後に直ちに造材を行う CTL 作業であるため、木寄せ工程は発生しなかった。

表-4 各試験地における工程ごとの労働生産性

試験地	労働生産性 (m ³ /人時)				システム全体の労働生産性	
	伐倒	木寄せ	造材	集材	(m ³ /人時)	(m ³ /人日)
A1	14.8	45.5	14.6	10.9	4.0	24.0
A2	16.4	26.7	15.4	6.0	3.0	18.1
M	8.9	10.0	5.2	-	2.5	14.8
R1	20.9	60.6	9.0	7.6	3.2	19.5
R2	55.8	-	12.4	6.6	4.0	24.0

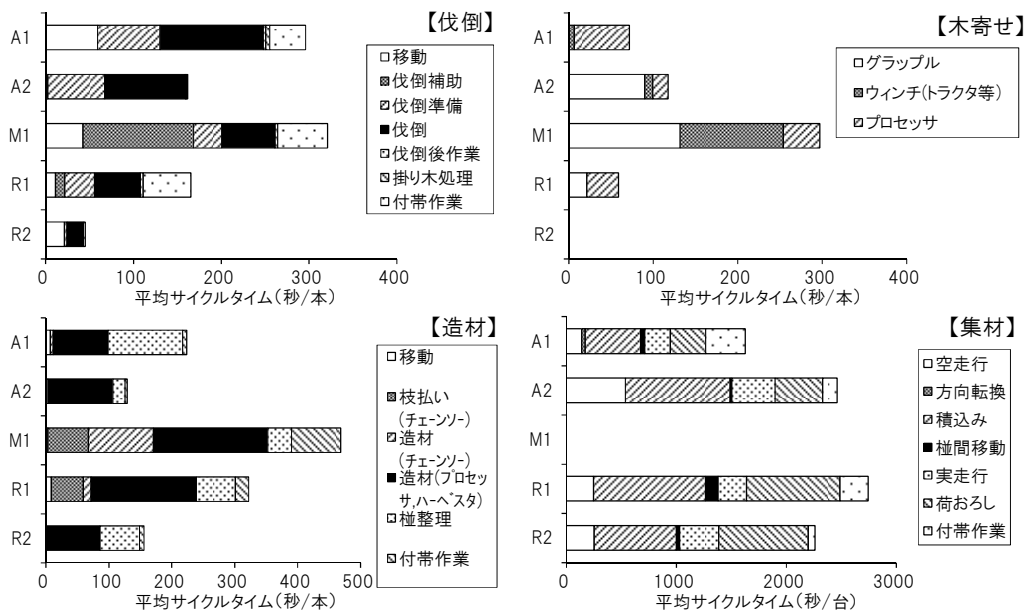


図-2 皆伐作業の各工程における要素作業別平均サイクルタイム

3.1.3 造材工程

皆伐作業における造材工程の生産性は、プロセッサ・ハーベスタで5.2~15.4 (平均 11.3) m³/人時であり (表-4), 既往のプロセッサ造材の調査結果の10m³/人時 (全林協 2001), 18.0 m³/人時 (宮崎ら 2011) 等と比較してほぼ同等であった。皆伐では一箇所での造材量は多いが造材スピードは間伐と同等と考えられた。造材の生産性が比較的 low だった試験地 M (5.2m³/人時) と R1 (9.0m³/人時) では、大径材の枝払い・造材にチェーンソーを併用しており、これらのチェーンソー作業時間が造材工程に占める割合は試験地 M で 36%, R1 で 20% であり、試験地 R2 と A2 の 0%, A1 の 2% に比べて高かったことが、生産性を低下させた主な原因と考えられる (図-2)。

3.1.4 集材工程

フォワーダによる集材工程の生産性は、6.0~10.9m³/人時で他工程より幅は小さかった (表-4)。試験地 M では運材トラックが通行可能な林道沿いに木寄せし造材を行ったため、集材工程はなかった。フォワーダによる集材は、間伐時における標準的な生産性とされる 4m³/人時 (全林協 2001) や長野県における調査事例の 3.1~8.7m³/人時 (宮崎ら 2011) に比べると同等かやや高い生産性を上げていた (表-4)。この理由は、造材木が間伐に比べてまとまっているため、効率的な集材ができたことによるものと考えられる。また、平均単木材積が大きい試験地の方が、集材生産性は高い傾向がみられた。

3.1.5 伐出作業システム全体の生産性とコスト

各試験地における伐出作業のシステム全体の労働生産性を 1 日当たり (m³/人日) で評価すると、高性能林業機械で 14.8~24.0m³/人日、先進的林業機械で 24.0m³/人日であった (表-4)。試験地 A1, A2, M, R1 の高性能林業機械による作業システム

による作業システムによる作業システムによる労働生産性は平均単木材積が大きいほど高い傾向が認められた (図-3)。試験地 R2 の先進的林業機械では平均単木材積が比較的小さいにもかかわらず高性能林業機械と比較して同等以上の生産性を示した。一方、各試験地の伐出作業におけるコストを比較すると、約 2,000~2,900 円/m³ に範囲にあった (図-4)。

直近の調査報告 (林野庁企画課 2015) では、車両系伐出作業システムによるカラマツの皆伐作業の労働生産性として、全国 43 件の平均値で 11.1m³/人日という値が示されている。作業条件が異なるため単純には比較できないが、今回の調査結果はそれを上回るものであった。本研究における高性能林業機械とほぼ同様の作業システムによる皆伐の労働生産性の調査事例としては、10 齢級スギで 12.8m³/人日 (秋田県農林水産部 2008), 10~11 齢級スギで 19.6~21.9m³/人日 (舟木・杉原 2012), 10 齢級ヒノキで 19.1m³/人日 (兵庫県農林技セ森林技セ 2008) 等があり、10 齢級以上の皆伐作業であれば 20m³/人日前後の生産性を上げている。したがって、緩傾斜地における車両系伐出作業システムによる皆伐作業では、約 20m³/人日の労働生産性がひとつの目安になると考えられ、今回の現場から平均的なコスト (直接費) を試算すると、2,700 円/m³ 程度となることが期待できる。また、先進的林業機械を導入することも生産性を向上させる上で有効な手段であるが、作業システムに適合した事業地を確保し、高い稼働率を維持することが必要である。

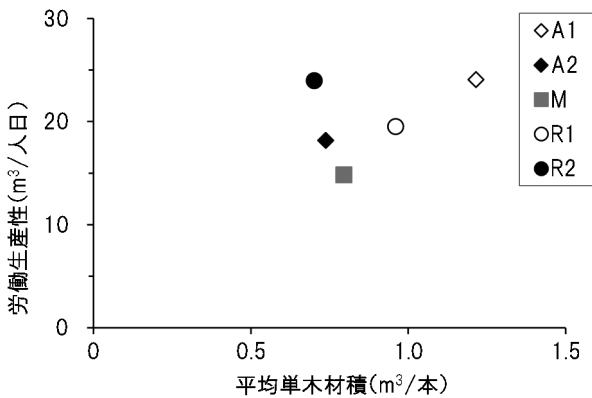


図-3 システム全体の労働生産性と単木材積の関係
*A1, A2, M, R1 は高性能林業機械, R2 は先進的林業機械の作業システムを使用

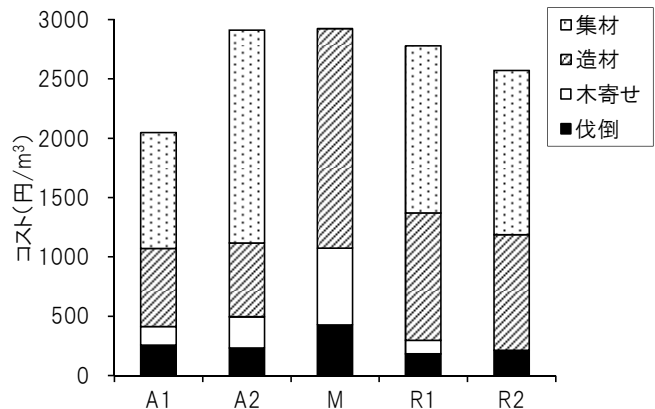


図-4 各試験地における生産コスト

3.2 再造林作業

3.2.1 地拵え工程

試験地 R で行ったグラップルによる地拵えの生産性は $704\text{m}^2/\text{人時}$ 、試験地 M で行ったバケットによる地表かき起こしの生産性は $238\text{m}^2/\text{人時}$ であった (図-5)。一方、比較対照とした人力地拵えの生産性は $77\text{m}^2/\text{人時}$ であった。これらの結果から、人力地拵えに対する機械地拵えの生産性は、グラップルが約9倍、バケットが約3倍に相当した。また、これらのコスト (直接費) を比較すると、人力地拵えが $39.5\text{万円}/\text{ha}$ であったのに対して、グラップルが $10.0\text{万円}/\text{ha}$ 、バケットが $29.6\text{万円}/\text{ha}$ であったことから、一貫作業を行うことで伐出機械が利用できたことにより、地拵えコストを 25~75% に低減できることが示唆された。

3.2.2 苗木運搬工程

走行 (歩行) 距離、運搬した苗木の本数、積みおろしに要する時間等の観測値から得られた苗木運搬距離と運搬時間の関係を図-6 に示した。コンテナ苗のフォワーダ運搬では、運搬距離が増大しても運搬時間の大きな変化はないが、人力は歩行速度が低いうえ運搬1回あたりの本数が少ないため、距離が伸びると急激に運搬時間が長くなる傾向がみられた。

試験地 A2 における苗木運搬距離の実測値は、フォワーダは林道及び作業道を平均 810m 走行し、人力ではほぼ直線的に 290m 歩行していた。これらの値を適用して 1ha 分の皆伐地に植栽する $2,200$ 本のコンテナ苗の運搬時間を試算すると、フォワーダは $0.66\text{時間}/\text{ha}$ であったのに対して、人力は 4.28

時間/ha であり、人力はフォワーダの 6.6 倍の時間を要していた (図-6)。一方、裸苗の人力運搬では、運搬時間はコンテナ苗の半分の $2.13\text{時間}/\text{ha}$ と試算された。次に、 1ha あたりの苗木運搬コストを試算すると、人力によるコンテナ苗運搬は約 $12,400\text{円}/\text{ha}$ であったのに対して、フォワーダは約 $9,000\text{円}/\text{ha}$ であり、人力の 73% 程度であった (図-6)。また、裸苗の人力運搬コストは約 $6,200\text{円}/\text{ha}$ と試算され、コンテナ苗のフォワーダ運搬より低かった。フォワーダによる苗木運搬によるコスト削減は、運搬距離が長いほど効果を発揮すると考えられる。

3.2.3 植栽工程

各試験地におけるコンテナ苗及び裸苗の植栽工程の生産性を比較した。裸苗とコンテナ苗の植栽生産性は試験地や作業員ごとに異なるものの、裸苗の生産性は $46\sim 105\text{本}/\text{時}$ であったのに対して、コンテナ苗は $63\sim 141\text{本}/\text{時}$ であり、すべての試験地においてコンテナ苗の植栽生産性は裸苗より有意に

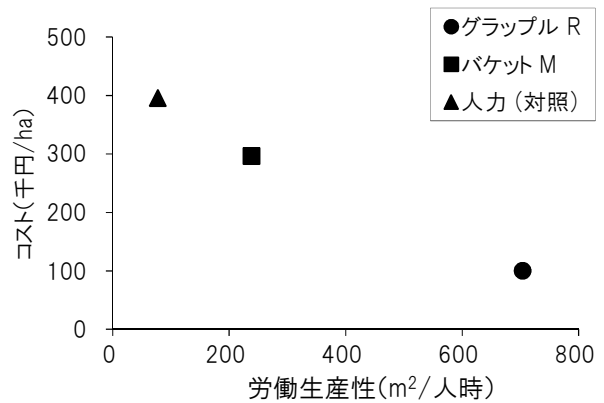


図-5 地拵えの労働生産性とコストの関係

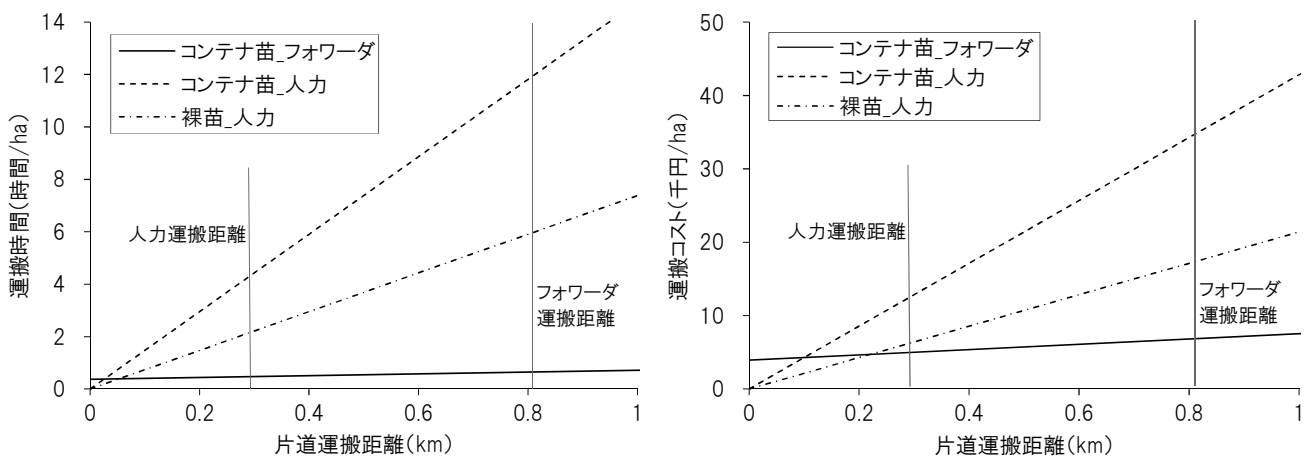


図-6 試験地 A2 における苗木運搬の距離と運搬時間 (左)、運搬コスト (右) の関係

高いか同等であった(図-7)。特に、試験地 A1 のカラマツコンテナ苗の植栽では、単位時間あたりの植栽本数が同試験地の裸苗の 1.6~2.3 倍となった。試験地 A1 でコンテナ苗の植栽を行った 2 人の作業員の 1 人は唐鋤とディブル、もう 1 人はスベードの生産性が高い傾向があったが、植栽器具間には有意差は認められなかった。A2, M, R の各試験地においても、個人差はあるものの、植栽工程の生産性はコンテナ苗が裸苗より高いか同等であった。

試験地 A1 における植栽コストを算出したところ、コンテナ苗植栽では 44 万円/ha、裸苗植栽では 25 万円/ha となり(図-8)、現状ではコンテナ苗による植栽は裸苗に比べて 2 倍近いコストがかかっている。これは、2014 年の長野県におけるカラマツ苗木の単価が、コンテナ苗 180 円/本、裸苗 66 円/本であり、コンテナ苗単価が裸苗の 2.7 倍であることに起因する。一方、コンテナ苗を使用して現状の裸苗と同等の植栽コストにするためには、コンテナ苗の価格を現状の 1/2 の 90 円程度にまで下げる必要がある(図-8)。

3.3 伐採・造林一貫作業のトータルコスト

以上をふまえ、各試験地における一貫作業全体のトータルコストを算出し、従来行われてきた皆伐作業と造林作業が独立した作業(以下、独立作業)

のトータルコストを算定した。伐出コストは、一貫作業、独立作業とも各試験地における作業システムの生産性から求めた。地拵え及び苗木運搬工程は一貫作業では機械使用(A・R: グラップル, M: バケット)としたが、独立作業では従来型の人力とした。また、植栽する苗木は、一貫作業では植栽時期が比較的自由であることからコンテナ苗使用としたが、独立作業では裸苗の春植えとし、各試験地における各苗木の植栽生産性を適用して試算した。その結果、一貫作業のコストは独立作業と比較して試験地 A1 で-1%, A2 で+2%, M で+11%, R1 と R2 で-5%となり、金額では約-2~+12 万円/ha の範囲にあり(図-9)、必ずしもコストは削減されていない。伐出・地拵え・苗木運搬までのコストを比較すると、一貫作業は独立作業に比べて-12~-27% (-10~-29 万円/ha) のコスト削減が図られており、地拵え等の機械化によるコスト削減効果は大きい。しかし、その後の植栽コストを加えると、一貫作業のコスト削減効果はコンテナ苗の苗木代によるコスト増加で相殺されている。造林作業の低コスト化を図るためには、コンテナ苗の低価格化のために育苗技術等を改良することが必要と考えられる。

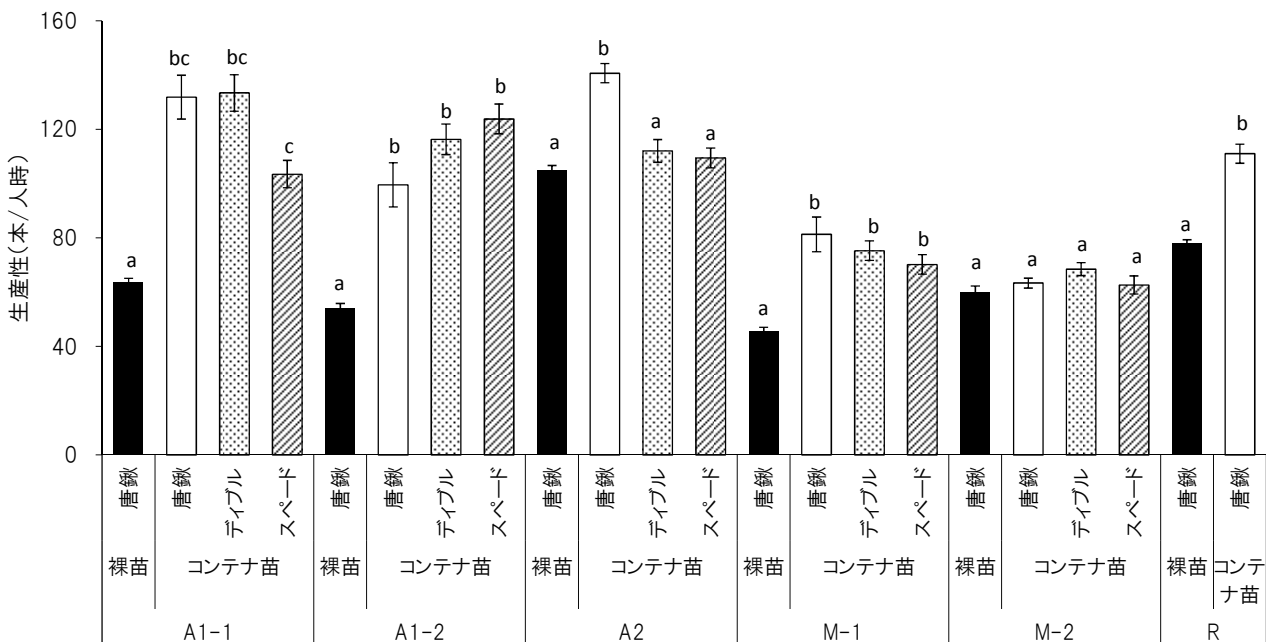


図-7 植栽作業の生産性

異なるアルファベットを含む場合は有意差があることを示し(Tukey-Kramer の多重比較検定, P<0.05), エラーバーは標準誤差を示す。試験地 A1, M では 2 人の作業員によって植栽を行った。統計解析は試験地・作業員ごとに行った。

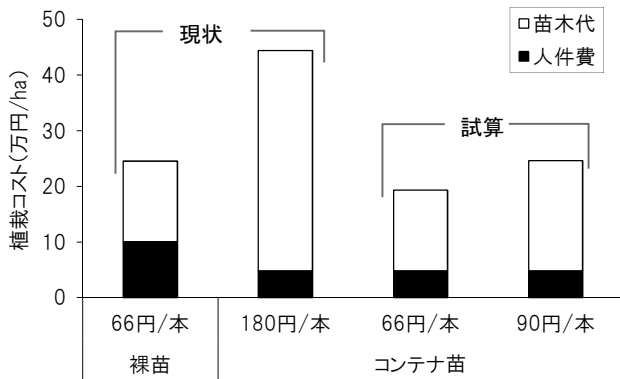


図-8 試験地 A1 における植栽コスト試算

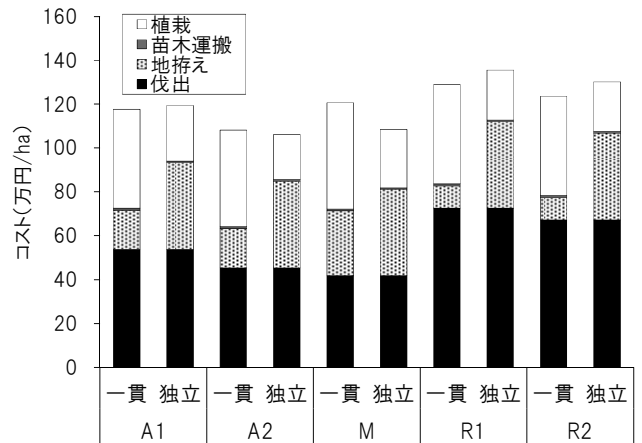


図-9 一貫作業と独立作業のコスト比較

4 まとめ

伐採・造林一貫作業は、別々の事業体や人員が取り組んでいた伐出作業と造林作業の融合を図ることで、造林作業の一部に伐出機械が利用できるのみならず、造林作業の効率化を意識した施業が期待できる。本研究では、伐採・造林一貫作業における各工程の生産性とコストを明らかにするとともに、一貫作業によって伐出機械を利用した地拵え及び苗木運搬を行うことによるコスト削減効果について検討した。一貫作業による生産コストの削減効果は、コンテナ苗の苗木代コストの増加により相殺され、トータルコストとして-2万円/haから+12万円/haとなり、コンテナ苗の価格が低コスト化を阻む実態が明らかとなった。しかし、一貫作業による地拵え及び苗木運搬までのコスト削減効果は明らかで、当面は植栽時期を選び、裸苗植栽との組み合わせによる低コストの皆伐・再造林を目指すべきであろう。伐出作業時期に合わせた再造林作業を行うためには、植栽可能時期の自由度が高いコンテナ苗の利用は欠かせなくなりつつあり、コンテナ苗の低価格化を実現するための技術開発が急がれる。

5 謝辞

本研究の実施にあたっては、林野庁中部森林管理局、東信森林管理署、北信森林管理署、佐久森林組合、(有)中島林業、長野森林組合、長野県林務部森林づくり推進課、長野県佐久地方事務所林務課、長野県長野地方事務所林務課の皆様、信州大学農学部森林科学科の学生諸氏に並々ならぬご協力をいた

だいた。また、本稿のとりまとめに際して多くの方々から適切な助言をいただいた。ここに深く感謝申し上げます。なお、本研究は、攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究」並びに文部科学省科研費「カラマツの天然更新を活用した革新的施業技術の確立」(課題番号:26450222)の助成を受け実施したものである。

引用文献

- 秋田県農林水産部 (2008) 高性能林業期秋の低コスト生産システム. 46pp, 秋田県. 秋田.
- Austria Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape (2015) BFW Machine database. オンライン. (<http://bfw.ac.at/fmdb/MASCHINEN.WEB>). 2015年12月3日参照.
- 舟木徹・杉原雅彦 (2012) スギ人工林で行われた主伐の作業システムと生産性. 島根中山間セ研報8: 129-132
- 兵庫県立農林水産技術総合センター森林林業技術センター (2008) 兵庫県における低コスト木材搬出システム構築に向けて. 42pp, 兵庫県, 宍粟.
- 今富裕樹 (2011) スギ再造林の低コスト化を目指した技術開発(1)－伐採・地拵え・植栽の一貫作業による低コスト化－. 現代林業 542: 52-55
- 宮崎隆幸・今井信・白石立 (2011) 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－. 長野県林総セ研報 25: 1-7
- 長野県林務部 (2015) 平成27年度林業土木事業設

- 計単価表. 270pp, 長野県, 長野.
- 中澤昌彦・吉田智佳史・佐々木達也・上村巧・鈴木秀典・陣川 雅樹・近藤 道治・大矢 信次郎・戸田 堅一郎・高野 毅 (2013) ホイール式小型ハーベスタとフォワーダを用いた間伐作業システムの開発—一点状間伐と列状間伐の生産性—. 森林学誌 28 : 187-192
- 日本森林技術協会 (2010) 路網と高性能林業機械を組み合わせた低コスト作業システム導入マニュアル. 246pp, 日本森林技術協会, 東京.
- 大矢信次郎 (2016a) 伐採造林一貫作業による再造林コスト低減の検討. 全林試協森林技シンポ講演集 49:13-18.
- 大矢信次郎 (2016b) 伐採・造林一貫作業による再造林コスト低減の検討. 山林 1587:38-43.
- 大矢信次郎・斎藤仁志・大塚大・城田徹央 (2015a) 伐採・造林一貫作業による再造林コスト低減の検討. 日林学術講演 126:71.
- 大矢信次郎・宮崎隆幸・柳澤信行・斎藤仁志・大塚大・城田徹央 (2015b) 北欧製ハーベスタ・フォワーダシステムによる皆伐作業の生産性. 森林学術講演 22:7.
- 大矢信次郎・斎藤仁志・大塚大・城田徹央 (2016a) 車両系作業システムによる皆伐・再造林の生産性評価. 日林学術講演 127:73.
- 大矢信次郎・斎藤仁志・城田徹央・大塚大・宮崎隆幸・柳澤信行・小林直樹 (2016b) 長野県の緩傾斜地における車両系伐出作業システムによる伐採・造林一貫作業の生産性. 日林誌 98:233-240.
- 林野庁 (2015a) 平成 26 年度森林及び林業の動向. 林野庁, 東京. オンライン (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/26hakusyo/zenbun.html>). 2015 年 12 月 1 日参照
- 林野庁 (2015b) 森林・林業統計要覧 2015, 林野庁. 東京. オンライン (http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/youran_mokuzi.html). 2015 年 12 月 1 日参照.
- 林野庁企画課 (2015) 平成 25 年次素材生産費等調査報告書. 171pp, 林野庁, 東京.
- 佐々木尚三 (2012) わが国の CTL システム～北欧システムとの比較を中心に～. 機械化林業 705 : 1-8
- 佐々木尚三 (2014) 北海道下川町における一貫作業システム—主伐・再造林の低コスト化を目指した研究プロジェクトについて—. 機械化林業 727 : 1-5
- 森林総合研究所 (2012) 森林・林業の再生 : 再造林コストの削減に向けて—低コスト化のための 5 つのポイント. 8pp, 森林総研九州支所, 熊本.
- 森林総合研究所 (2013) 低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集. 46pp, 森林総研九州支所, 熊本.
- 森林総合研究所 (2015) 近畿・中国四国の省力造林事例集. 46pp, 森林総研四国支所, 高知.
- Spinelli R, Magagnotti N, Fulvio F, Bergström D, Danelon M, Alberti G (2014) Comparison of Cost Efficiency of Mechanized Fuel Wood Thinning Systems for Hardwood Plantations on Farmland. *Croat J For Eng* 35 : 111-123.
- 山川博美・重永英年・久保幸治・中村松三 (2013) 植栽時期の違いがスギコンテナ苗の植栽後 1 年目の活着と成長に及ぼす影響. 日林誌 95:214-219
- 横山誠二・佐々木尚三 (2013) コンテナ苗移植試験について～北海道でのコンテナ苗生長状況～. 北森研 61 : 101-104
- 全国林業改良普及協会 (1998) 林業技術ハンドブック. 1969pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 全国林業改良普及協会 (2001) 機械化のマネジメント. 239pp, 全国林業改良普及協会, 東京.