

原著論文

三重県の集約化団地における搬出間伐の実態

Actual conditions of commercial thinning at forest consolidations in Mie Prefecture,
central Japan野村久子^{1),2)}・島田博匡¹⁾Hisako Nomura^{1),2)} and Hiromasa Shimada¹⁾

要旨：三重県内の施業集約化団地における搬出間伐作業の主要作業システムとその生産性を把握するために、2009年度から2012年度に搬出間伐を実施した事業体に対してアンケート調査を行った。10事業体から96事例の回答が得られ、全事例の平均労働生産性は4.0 m³/人日、平均伐出コストは11.6千円/m³であった。集材システムを木寄せと集搬の方法から車両系システム、複合系システム、木寄せシステムの3種類に分類したところ、複合系システムの平均労働生産性が最も高く5.0 m³/人日、平均伐出コストについても9.1千円/m³と最も低かった。労働生産性の増加に伴い、伐出コストは低下する傾向がみられたが、現状で伐出コストを5千円/m³に抑えるためには、労働生産性を11m³/人日以上にする必要があることが分かった。労働生産性と施業地の各要因との関係を調べたところ、施業面積との相関が最も高かったことから、労働生産性の向上には集約化による施業面積の拡大が不可欠であると考えられた。

キーワード：集約化団地，作業システム，アンケート，労働生産性

はじめに

2009年12月に「森林・林業再生プラン」が策定され、国産材の安定供給体制の構築と儲かる林業の確立に向け、さまざまな取り組みがなされてきた（林野庁 2010）。特に材価の低迷等により長伐期傾向が進むなか、適正な森林環境整備と木材供給の両方を兼ねる搬出間伐の推進が課題とされ、その効率的な実施に向けた施業の集約化、機械化、高密度路網整備が推進されている（林野庁 2010）。

そのようななか、三重県においてもフォワーダやプロセッサを中心に高性能林業機械の導入が進められ、2009年度末に60台であった高性能林業機械保有台数は、2013年度末には87台となっている（三重県農林水産部 2014）。また、2009年度末18.8 m/haであった林内路網密度は2013年度末に19.7 m/haとなり（三重県農林水産部 2010, 2014）、効率的な作業のための機械化と、機械化に必須の路網整備が進展している状況にある。労働生産性の向上には地形や現場条件にあった作業システムを選択することが重要であり、県内の事業体も施業地の状況から路網線形の検討や作業システムの選択を行っている。しかし、導入した高性能林業機械を利用した作業システムや生産性についての現状は把握しきれていない。

そこで、三重県内の施業集約化団地における搬出間伐の主要システムとその生産性を把握するため

¹⁾ 三重県林業研究所

Mie Prefecture Forestry Research Institute

²⁾ E-mail : nomurh03@pref.mie.jp

に、労働生産性と作業条件に関するアンケート調査を実施した。なお、本調査は2011～2014年度普及指導活動事業林業普及活動システム化における「間伐促進のための木質資源収穫コスト予測技術の開発」の一環として実施した。

調査方法

アンケート調査の対象は2009年度から2012年度に三重県内の集約化団地で搬出間伐を行った事業体とした。事業実施翌年度に林業普及指導員を通じて集約化団地における搬出間伐の主要システムとその生産性、生産コストを把握するためのアンケートを配布した。調査項目は以下のとおりである（付表-1）。なお、3) から5) の項目については伐倒から山土場でのはい積作業までを調査した。

1) 間伐実施地の状況

樹種（スギ/ヒノキ）、施業面積（ha）、平均胸高直径（cm）、林齢（年）、傾斜（度）、立木本数（本/ha）、本数伐採率（%）、間伐方法（定性または列状）、路網密度（m/ha）

2) 素材生産量

素材の品質（A材、B材、C材）ごとの材積（m³）

3) 伐出作業システムの詳細

作業種ごとの使用機械の種類、規格および台数と作業時の基本セット人数

4) 作業日数と人工数

作業種ごとにかかった日数と人工数

5) 収支

支出（直接経費、間接経費）、収入（作業請負費、補助金、木材販売収入等）

結果と考察

1. 回答と作業システムの内訳

2009年度から2012年度までの4年間で10事業体から96事例について回答を得た。各年度の回答数は2009年度23事例、2010年度35事例、2011年度22事例、2012年度16事例であった。

伐倒作業はすべてチェーンソーにより行われていた。アンケートの回答があった施業地の集材システムを、木寄せと集搬方法により木寄せシステム（以下、木寄せ系）、車両系システム（以下、車両系）、複合系システム（以下、複合系）の3種類に区分した。その内訳は表-1に示すとおりである。なお、スイングヤードで先柱を設置せずウインチによる単曳きで木寄せを行った事例は車両系とした。

1) 木寄せ系

山土場を設けず、木寄せ後トラックに積み込んで直接市場または中間土場まで搬送する、集搬工程を省略したシステム。

2) 車両系

ウインチ付グラップルの単曳きにより木寄せし、その後フォワーダ又はトラックで山土場まで集搬するシステム。

3) 複合系

スイングヤードで先柱を設置した簡易架線で木寄せし、フォワーダ又はトラックで山土場まで集搬するシステム。

表-1. 集材システム別の使用機械の内訳

集材システム	造材 + 木寄 + 集搬		
木寄系	35件	チェンソー+ウインチ付グラブプル+トラック*	17件
		チェンソー+ザウルスロボ+トラック*	3件
		プロセッサ+ウインチ付グラブプル+トラック*	2件
		ハーベスタ+ウインチ付グラブプル+トラック*	13件
車両系	40件	チェンソー+ウインチ付グラブプル+フォワーダ	13件
		チェンソー+ウインチ付グラブプル+2tトラック	4件
		チェンソー+ウインチ付グラブプル+林内作業車	2件
		チェンソー+スイングヤーダ(ウインチ単曳き)+フォワーダ	3件
		プロセッサ+グラブプル+フォワーダ	6件
		プロセッサ+グラブプル+林内作業車	4件
		プロセッサ+スイングヤーダ(ウインチ単曳き)+フォワーダ	8件
複合系	21件	チェンソー+自走式搬器+2tトラック	2件
		プロセッサ+スイングヤーダ+フォワーダ	19件
合計		96件	

* 木寄系のトラックは2tダンプ、トラックなどの表記をまとめてトラックとした。

2. 集材システム別の作業条件

図-1のa~jに集材システム別(木寄系, 車両系, 複合系)の作業条件を示す。

施業面積は複合系で10.84 haと最も平均値が高く, 他の集材システムの約5倍であった(図-1a)。全体の平均値は4.10 haであった。

傾斜は車両系で最も小さく平均24.9度, 複合系で最も大きく平均30.4度であった(図-1b)。全体の平均値は27.1度であった。

伐採木胸高直径の平均値は車両系20.9 cm, 複合系20.4 cm, 木寄系18.7 cmであり, 木寄系は有意に小さかった(図-1c)。平均胸高直径が30.0 cmを超える施業地は全体で5カ所のみで, 全体の平均値は20.0 cmであった。

林齢(図-1d), 立木本数(図-1e), 間伐率(図-1f)では全体の平均値がそれぞれ54.4年, 1520本, 35.7%で, 集材システム別に有意な差はみられなかった。

平均木寄距離の平均値は複合系が最も長く35.8 mであった(図-1g)。スイングヤーダの効率の良い集材距離は50~80 mとされているが(日本森林技術協会2010), 複合系ではこれよりやや集材距離が短い状況であった。ウインチによる単線地曳き集材を行う木寄系及び車両系は, それぞれ平均25.1 m, 平均22.6 mであった。単線地曳き集材の効率よい集材距離については最大30 mまでが良く, それ以上になると荷掛手の労働負荷が高くなるとの報告があり(與儀ら2010), 木寄系, 車両系のシステムを採用する作業現場では場所によって労働負荷が高い状況が発生していることが考えられた。

集搬距離について, 木寄系ではこの工程が省略されている。平均値は車両系より複合系が長く804.8 mであったが, 施業地によるばらつきが大きかった(図-1h)。全体の平均値は575.9 mであった。

路網密度の平均値は木寄系で最も高く237.0 m/haであったが, どの作業システムも施業地によるばらつきが大きかった(図-1i)。システムによる差は小さく, 全体の平均値は223.0 m/haであった。平均木寄せ距離が36 mの作業システムの場合, 路網密度と平均木寄せ距離の関係から理論上は100 m/ha強の路網密度で施業地内がすべて集材可能範囲となる。このことから, 複合系では必要以上に路網整備が行われている可能性がある。

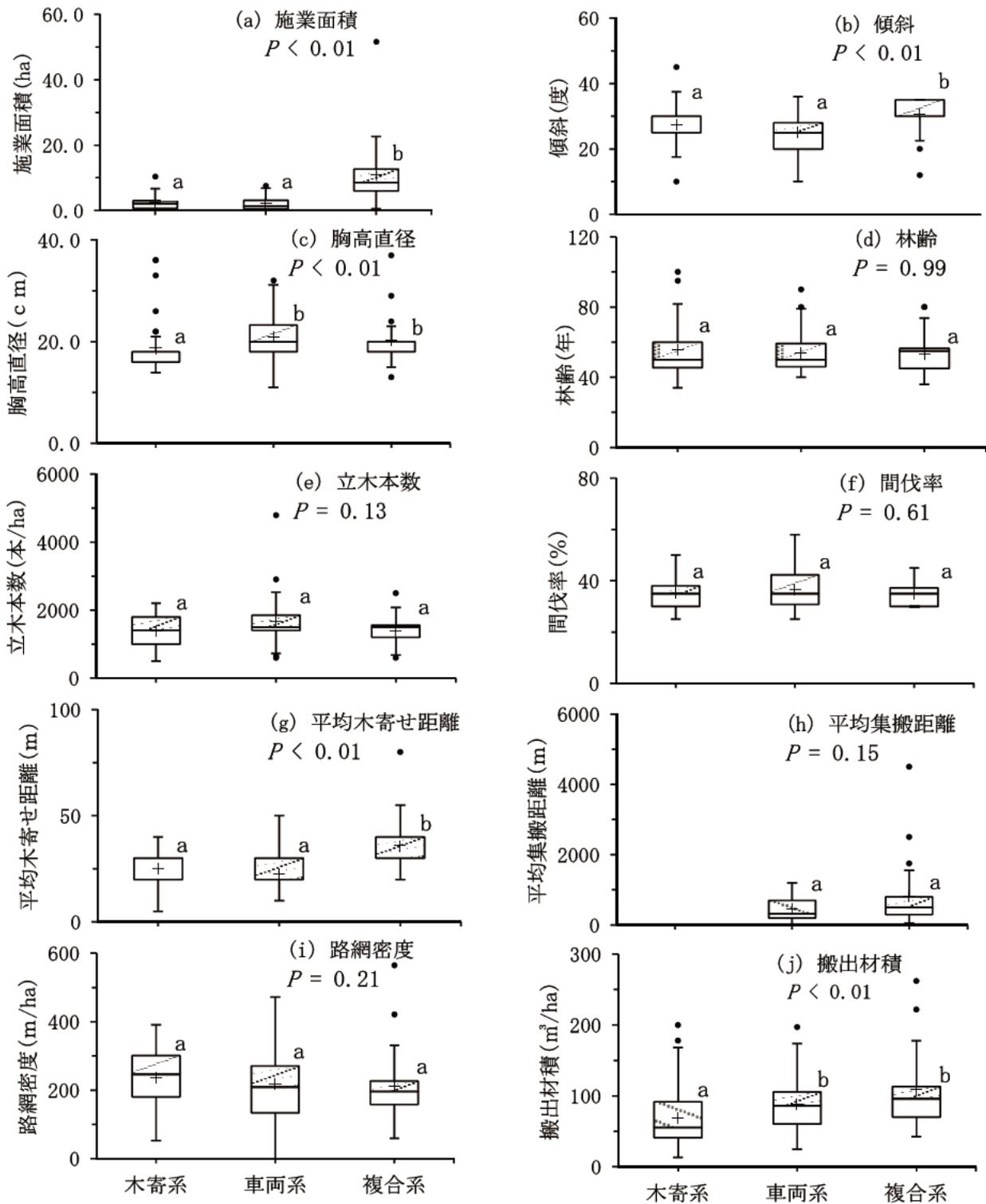


図-1. 集材システム別の作業条件

箱ひげ図では、箱中の横線が中央値、箱の下端が第一四分位 (25%)、箱の上端が第三四分位 (25%)、ひげの両端が箱の長さの1.5倍内にある最大値及び最小値、+は平均値、ひげの外の黒丸 (●) は外れ値を示す。また、 P 値はKruskal-Wallis検定の結果を示し、図中の異なる英文字間には有意差があることを示す (Steel-Dwassの多重比較、 $P < 0.05$)。

単位面積あたりの搬出材積の平均値は複合系で最も大きく 108.3 m³/ha, 木寄系で最も小さく 68.8 m³/haであった(図-1j)。各作業システムの立木本数, 間伐率には有意な差がみられなかったが, 木寄系の伐採木胸高直径が有意に小さかったことから, 単位面積あたりの搬出材積に影響したと考えられる。

3. 労働生産性と伐出コスト

表-2に集材システム別の労働生産性と伐出コストの平均値, 最高値(伐出コストは最低値)を示す。労働生産性は搬出材積と伐倒から山土場のはい積みには要した人工数から算出した。また, 伐出コストは搬出材積とそれに要した経費から算出した。なお, 搬出作業に要した経費には, 人件費, 機械費, 燃料費が含まれる。

労働生産性の最高値は10.0 m³/人日で木寄系システムの事例であった。システムごとの平均値は複合系が最も高く5.0 m³/人日であった。伐出コストの平均値は複合系が最も低く9.1 千円/m³であった。現状ではスイングヤードの簡易架線を利用した複合系システムが労働生産性と伐出コストの両方において有利であるという結果であった。また, 木寄系システムは木寄せ工程が車両系と同じで, 集搬工程を省略しているため車両系システムより効率の良い結果が予想されたが, 労働生産性については車両系よりやや高かったもののシステムの中で最もコスト高の状況であった。

特徴的な作業システムの労働生産性や伐出コストをまとめた「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(以下, 導入マニュアル)」(日本森林技術協会 2010)では, 今回車両系に区分したグラップル(ウインチ付)系作業システムは, 労働生産性8~13 m³/人日, 伐出コスト3.5~6.0 千円/m³を, スイングヤード系作業システムの単線地曳き集材は, 労働生産性8 m³/人日, 伐出コスト5.5 千円/m³を目標にしており, 三重県の車両系システムが目標値に達していないことが明らかとなった。その理由として, ①導入マニュアルにおける造材工程はプロセッサによる作業を想定しているが, 三重県の車両系システムは40事例のうち22事例がチェーンソーによる造材を行っていた, ②導入マニュアルの伐採方法が列状間伐であるのに対し, 三重県の車両系システムの事例はすべて定性間伐であった, ③導入マニュアルにおける適用条件の材の大きさが0.4 m³/本以上(中径木20~40 cm~大径木41cm以上)であったのに対し, 三重県の車両系システムの事例は胸高直径の平均が21.0 cmと単木当たりの材積が小さかった, などの理由が考えられる。

一方, 複合系システムに区分したスイングヤード系作業システムの先柱を設置して行う簡易架線集材は, 導入マニュアルにおいて労働生産性4.5~6.0 m³/人日, 伐出コスト6.5~8.0 千円/m³を目標としている。伐出コストについては平均値で9.1 千円/m³と目標値に達していないが, 労働生産性については目標の平均的なレベルに達していた。

図-2に労働生産性と伐出コストの関係を示す。労働生産性が高まるとコストは下がる傾向がみられた。

表-2. 集材システム別の労働生産性と伐出コスト

集材システム	労働生産性 (m ³ /人日)		伐出コスト (千円/m ³)	
	平均値	最高値	平均値	最低値
木 寄 系	3.6	10.0	13.6	4.0
車 両 系	3.3	9.5	12.2	6.0
複 合 系	5.0	7.2	9.1	6.0
平 均	4.0		11.6	

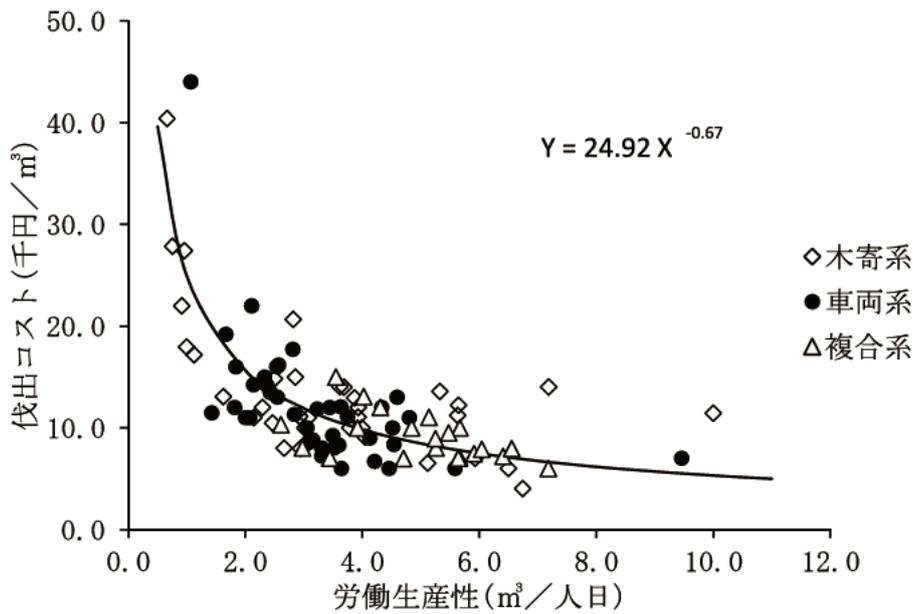


図-2. 労働生産性と伐出コストの関係

林野庁が行った低コスト作業システム構築事業では、伐出コスト5千円/m³（点状間伐）を目標にあげているが（井上 2010），現状で伐出コストを5千円に抑えるためには，回帰式（ $Y = 24.92 X^{-0.67}$ ）による計算上，労働生産性を約11 m³/人日以上にする必要があり，今後より一層の技術開発が求められる。

4. 労働生産性と諸要因の関係

表-3に欠損データを含む事例を除いた81事例について，労働生産性と12要因の相関係数（ケンドールの順位相関 τ ）を算出した結果を示す。施業面積，傾斜，搬出材積，木寄距離で労働生産性との間に有意な相関がみられた。なかでも施業面積，搬出材積の相関係数が高かった。集約化による面積の拡大とヘクタール当たりの搬出材積の増加が労働生産性の向上に有利であると考えられる。

また，造材機械別の平均労働生産性を比較すると，チェーンソーに比べてハーベスタ，プロセッサなどの高性能林業機械を使用した場合の労働生産性が有意に高い結果であった（図-3a）。このことは造材工程を機械化することによって労働生産性の向上が期待できることを示している。また，作業システム別の労働生産性を比較すると，複合系の労働生産性が有意に高い結果であった（図-3b）。このことは，複合系の平均施業面積が他の作業システムに比べて大きかったこと（図-1a），造材作業におけ

表-3. 労働生産性と諸要因の関係

施業面積 (ha)	伐採木 胸高直径 (cm)	林齢 (年)	傾斜 (度)	密度 (本/ha)	間伐率 (%)	搬出材積 (m³/ha)	木寄距離 (m)	集搬距離 (m)
0.41 **	0.07	-0.05	0.17 *	0.13	-0.10	0.37 **	0.22 **	0.14

数値はケンドールの順位相関係数 ** $P < 0.01$ * $P < 0.05$

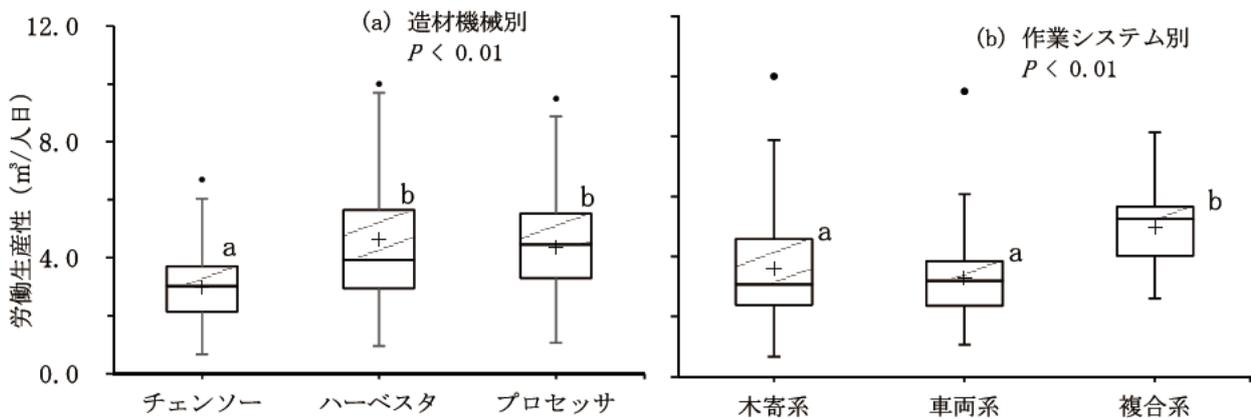


図-3. 作業システム及び造材機械別の労働生産性（図の読み方は図-1を参照）

る高性能林業機械の割合が高かったこと（木寄系43%，車両系45%，複合系90%）が要因であったと考えられる。

5. 労働生産性とコストの年次変化

全事例の平均労働生産性と平均伐出コストの年次変化を図-4に示す。2009年度に平均3.7m³/人日であった労働生産性は上昇傾向を示し、2012年度には4.9m³/人日であった。また伐出コストは2009年度に12.8千円/m³であったが、2012年度は10.1千円/m³と下がる傾向が見られた。調査対象期間の4年間には使用機械の変化がみられる事業体もあった。なかでも労働生産性に有意差がみられた造材機械の種類をチェンソーからプロセッサ等の高性能林業機械に変更した事業体もあり、労働生産性向上の一因となったと考えられる。また、図-5に年次別平均施業面積と伐出コストを示す。施業面積が増加すると伐出コストは低下する傾向がみられ、集約化による施業面積の拡大と機械化がはかられ、伐出コストの低下と労働生産性の向上につながっているものと推察された。

また、作業システム別に平均労働生産性の年度ごとの推移をみると、複合系の平均値が常に高い状況であったが、最も労働生産性の上昇がみられたのは木寄系であった（図-6）。平均施業面積の推移にも同様の傾向がみられた（図-7）。

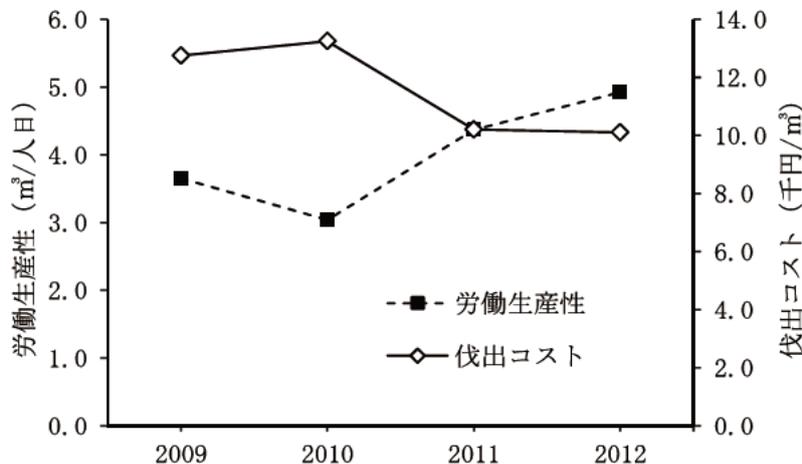


図-4. 平均労働生産性と平均伐出コストの年次変化

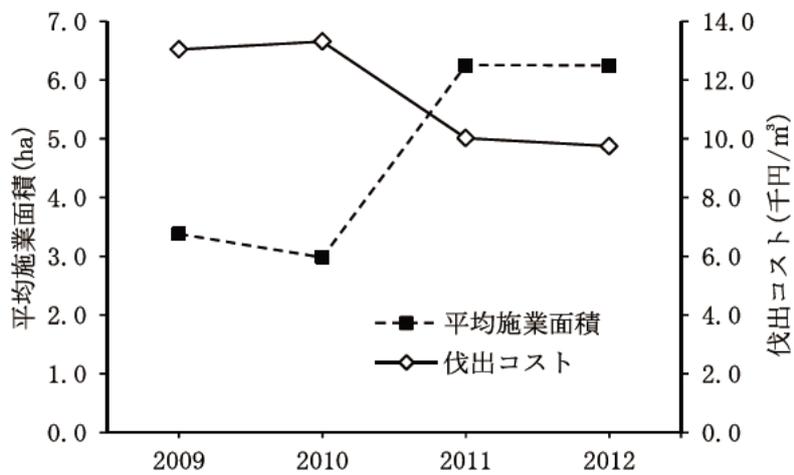


図-5. 平均施業面積と平均伐出コストの年次変化

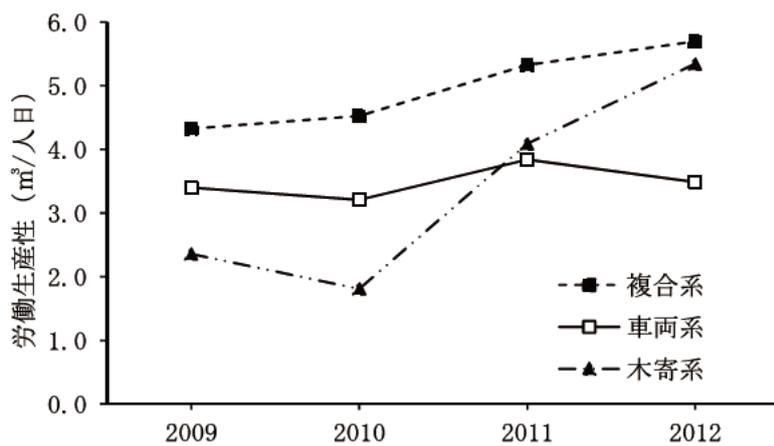


図-6. 作業システム別労働生産性の年次変化

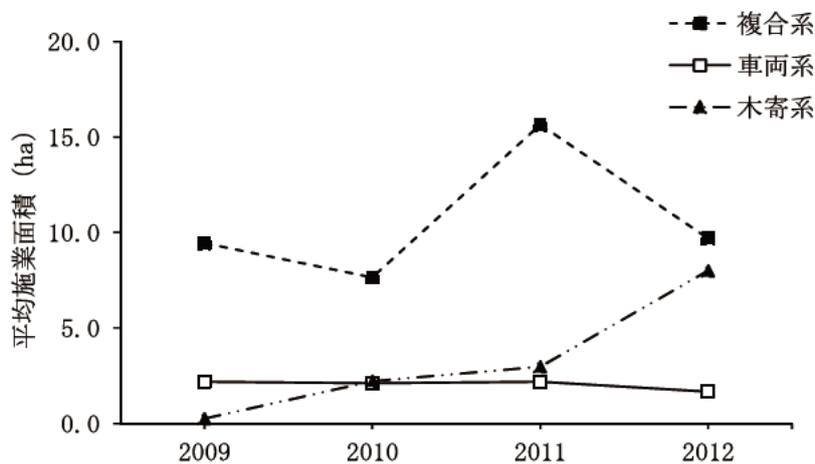


図-7. 作業システム別平均施業面積の年次変化

おわりに

三重県の集約化団地における作業システムは主に、チェーンソー伐倒、グラップル等のウインチによる単線地曳き集材またはスイングヤードによる簡易架線集材、フォワーダまたは2tトラック集搬の組合せから成り立っており、主要な作業システムは木寄せと集搬方法の違いから、木寄せ系、車両系、複合系の3種類に分類できた。そのうち複合系を採用している現場の平均労働生産性は導入マニュアルの目標労働生産性に達していたものの、他のシステムでは下回る結果となっていた。その理由として、車両系と木寄せ系の現場においては半数以上が造材工程をチェーンソーで行っていたこと、回答のあった現場の多くが定性間伐であったこと、また全般的に胸高直径が細かったことなどが考えられた。しかし、年次別にみると労働生産性は上昇傾向に、伐出コストは減少傾向にあり、高性能林業機械の導入や集約化による施業面積の拡大がその一因であったと考えられる。労働生産性と施業地の各要因との関係において、労働生産性は施業面積との相関が最も高かったことから、今後さらに労働生産性を向上させていくには、集約化による施業面積の拡大が不可欠である。

路網整備とそれに伴う作業状況については、木寄せ系と車両系の現場で平均木寄せ距離が効率的とされる距離より長い現場が多く、荷掛手の労働負荷が高い状況が発生していた。逆に複合系の現場では木寄せに必要な路網密度以上に路網整備が行われている状況にあった。今後は、導入機械をより安全で効率的に利用し、路網設備のための過剰な投資を避けるために、集材機械に合った、より綿密な路網計画を行うことが必要である。

謝辞

アンケート調査にあたってはご多忙のなか森林組合をはじめとする林業事業者の方々にご協力いただきました。また、配布・回収の際には林業普及指導員にご助力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 井上源基 (2010) 事業構成と専門部会の取り組み. (低コスト作業システム構築事業 事業報告書. 日本森林技術協会編, 日本森林技術協会). 6-20
- 三重県農林水産部 (2010) 平成21年度版 森林・林業統計書. 三重県農林水産部
- 三重県農林水産部 (2014) 平成25年度版 森林・林業統計書. 三重県農林水産部
- 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 (詳細版). 日本森林技術協会
- 林野庁編 (2010) 平成22年度版森林・林業白書. 全国林業改良普及協会
- 與儀兼三・山田容三・近藤 稔 (2010) 広島モデル林. (低コスト作業システム構築事業 事業報告書. 日本森林技術協会編, 日本森林技術協会), 97-136

付表-1. アンケート調査票（平成24年度の例）

回答者に関する情報

	組織形態：森林組合・事業体
	団地所在箇所市町名

		事業個所
間伐実施地の状況	樹種：スギ または ヒノキ	
	団地面積：ha	
	H24実施施業面積：ha	
	施業種：利用間伐・皆伐	
	平均伐木胸高直径：cm	
	林齢：年	
	平均傾斜：°	
	立木本数(間伐前)：本/ha	
	本数伐採率：%	
	間伐方法：定性・列状(○伐○残)・その他	
	H24実施施業地内の路網延長：m	
	施業地内路網密度	
	素材生産量	伐採木搬出
搬出材積(A材;市売):m ³		
搬出材積(B材;合板等工場直送):m ³		
搬出材積(C材;チップ等工場直送):m ³ あるいは t		
作業路等支障木搬出		
搬出材積(A材;市売):m ³		
搬出材積(B材;合板等工場直送):m ³		
伐出作業システムの詳細	搬出材積(C材;チップ等工場直送):m ³ あるいは t	
	平均木寄集材距離(伐倒箇所→作業路沿い):m スイングヤーダ、グラップル等集材距離	
	平均集搬距離(作業路沿い→山土場):m フォワーダ、林内作業車、自走式搬器等運搬距離	
	平均集搬距離(作業路沿い又は山土場→中間土場等):m トラック運搬距離	
	集材方法:全木・全幹・短幹	
	集材方向:上げ荷・下げ荷	
	主要作業システム：<記入例> チェーンソー伐木→ウインチ木寄集材→プロセッサ造材→フォワーダのグラップル積込→フォワーダ集搬→フォワーダのグラップル荷下・はい積→トラック運材	
	伐木:チェーンソー・ハーベスタ	
	メーカー及び型式、規格(チェーンソーは記入不要)	
	機械台数	
	作業時の基本セット人員	
	造材:チェーンソー・プロセッサ・ハーベスタ	
	メーカー及び型式、規格(チェーンソーは記入不要)	
	機械台数	
	作業時の基本セット人員(他工程人員が兼務の場合は、括弧書きで人員と兼務工程名記入)	
	木寄集材(伐倒箇所→作業路沿い):タワーヤーダ・スイングヤーダ・ハーベスタ・プロセッサ・グラップル・ウインチ	
	スイングヤーダのとき索張り(先柱設置)の有無：有・無・併用	
	メーカー及び型式、規格	
	機械台数	
	作業時の基本セット人員(他工程人員が兼務の場合は、括弧書きで人員と兼務工程名記入)	
	集搬(作業路沿い→山土場):林内作業車・フォワーダ・トラック・自走式搬器・集材機	
	メーカー及び型式、規格	
	機械台数	
	作業時の基本セット人員	
	集搬積み込み:グラップル・プロセッサ・フォワーダのグラップル等	
	積み込み専用機械の有無:有・他工程機械併用(○○○工程機械)	
	メーカー及び型式、規格	
機械台数		
作業時の基本セット人員(他工程人員が兼務の場合は、括弧書きで人員と兼務工程名記入)		
土場荷下ろし・はい積:グラップル・プロセッサ・フォワーダのグラップル等・トラックのグラップル等		
はい積専用機械の有無:有・他工程機械併用(○○○工程機械)		
メーカー及び型式、規格		
機械台数		
作業時の基本セット人員(他工程人員が兼務の場合は、括弧書きで人員と兼務工程名記入)		

作業日数と人工数	伐木造材作業全体	延べ作業日数:日	
	(伐木～土場荷下ろし・はい積まで)	延べ作業人工数:人	
	測量・設計	延べ作業日数:日	
		延べ作業人工数:人	
	選木	延べ作業日数:日	
		延べ作業人工数:人	
	林内掃除伐	延べ作業日数:日	
		延べ作業人工数:人	
	伐木	延べ作業日数:日	
		延べ作業人工数:人	
	造材	延べ作業日数:日	
		延べ作業人工数:人	
	木寄集材(伐倒箇所→作業路沿い)	延べ作業日数:日	
		延べ作業人工数:人	
	集搬積み込み	延べ作業日数:日	
		延べ作業人工数:人	
	集搬(作業路沿い→山土場)	延べ作業日数:日	
		延べ作業人工数:人	
	土場荷下ろし・はい積	延べ作業日数:日	
		延べ作業人工数:人	
その他(現場整理・路網補修)	延べ作業日数:日		
	延べ作業人工数:人		
作業路開設	延べ作業日数:日		
	延べ作業人工数:人		
作業路支障木伐採・搬出	延べ作業日数:日		
	延べ作業人工数:人		
作業路改良	延べ作業日数:日		
	延べ作業人工数:人		
		労働生産性(m ³ /人日)	
収支	支出(A)		
			伐出コスト(円/m ³)
	直接経費		
	測量設計・選木・林内掃除伐経費 (人件費、機材費、燃料油脂代)		
	伐出作業(伐木～山土場はい積)経費 (人件費、機材費、燃料油脂代)		
	その他(現場整理・路網補修)作業経費 (人件費、機材費、燃料油脂代)		
	作業路開設・支障木搬出等経費 (人件費、機材費、燃料油脂代)		
	間接経費		
	トラック運搬経費(山土場→市場等)		
	機材運搬経費		
	その他経費(通勤費、簡易施設費、現場管理費、丸太販売手数料、各種保険料、諸雑費など)		
	収入(B)=(C)+(D)+(E)+(F)+(G)		
	作業請負費等(C)		
	間伐実施、出荷等に係る補助金(D)		
作業路開設、土場設置等に係る補助金(E)			
木材販売収入(F)			
その他収入(G)			
収支(H)=(B)-(A)			