

スイングヤードを用いた「伐倒同時集材方式」の生産性 — 造材作業との連携および伐倒同時集材方式の改良 —

Productivity of "the felling-yarding alternate system" using a swing-yarder
— Combination of "the felling-yarding alternate system" and bucking,
improvement of "the felling-yarding alternate system" —

片桐智之

Tomoyuki KATAGIRI

要 旨

片桐 智之：スイングヤードを用いた「伐倒同時集材方式」の生産性—造材作業との連携および伐倒同時集材方式の改良— 岡山県農林水産総合センター森林研究所研究報告31：1-7.2016

スイングヤードを用いた「伐倒同時集材方式」と造材作業の連携について直列作業と並列作業の比較試験を行った。その結果、並列作業は直列作業とシステム生産性はほぼ同じであるが、生産コストは高くなり、さらに造材作業が非効率となることが明らかとなった。また、直列作業とした場合、伐倒同時集材作業では集材木を集積するスペースが狭いことから、集材木が積み重なり、集材作業へ悪影響を及ぼしていることが明らかとなった。そのため、直列作業での伐倒同時集材作業の効率化を図るために、伐倒同時集材作業に改良を加えて実証試験を行ったところ、作業道から15m程度までの立木を事前処理し、残りの立木に対して伐倒同時集材を行う改良方式が効率的であった。

キーワード：スイングヤード，伐倒同時集材方式，造材作業，生産性

I. はじめに

岡山県の素材生産は、高密度路網と車両系作業システムの組み合わせが主流となっている（片桐 2011）。しかし、地形や地質等によっては、高密度路網が設置できない現場があり、そのような現場では路網密度を低くした架線系作業システムで素材生産を行う必要がある。

架線系作業システムで用いられる高性能林業機械は、タワーヤードや集材機が挙げられるが、県内のほとんどの林業事業体はそれら機械を所有していない（岡山県農林水産部 2015）。そのため、岡山県内で架線系作業システムを一般的に行うことは難しくなっている。しかし、主索を用いない架線集材（以下、簡易架線集材）を実施可能なスイングヤードが、岡山県内に36台（全高性能林業機械211台）導入されている（岡山県農林水産部 2015）ことから、中密度路網とスイングヤードの組合せによる簡易架線集材について効率化を図る必要がある。

スイングヤードを用いた素材生産は、「伐倒同時集材方式」により、従来より生産性や安全性を向上できるとされている（森林技術総合研修所林業機械化センター・（国研）森林総合研究所林業工学研究領域 2011）。この方式については、林業機械化センター・森林総合研究所が2011年度にスイングヤードにおける「伐倒同時集材

方式」の作業の手引き（以下、作業の手引き）を作成しており、伐倒同時集材方式は先行伐倒方式と比較して、生産性が2倍になると報告している。しかし、作業の手引きには伐倒・集材以外の作業や対象樹種等について記載されていない。また、通常、スイングヤードの集材作業は、プロセッサやハーベスタ等の造材機械と連携して行われているが、作業の手引きには、造材作業との連携について知見が得られていない。

そこで、岡山県への導入を検討するために、ヒノキを対象木として、伐倒同時集材方式（以下、伐倒同時集材）と造材作業との連携について実証試験および改良試験を行った。なお、当研究課題は、2013～2014年単県課題で取り組んだものである。

II. 研究方法

1 調査地概要

2013年度の調査地（以下、2013調査地）を岡山県新見市菅生の民有林内に、2014年度の調査地（以下、2014調査地）を岡山県新見市大佐田治部のおかやまの森整備公社林内に設定した（図-1, 2, 3）。調査地の概要を表-1に示す。2013調査地の作業条件は、樹種がヒノキ、林齢が32年、立木密度が1,570本/ha、平均胸高直径が

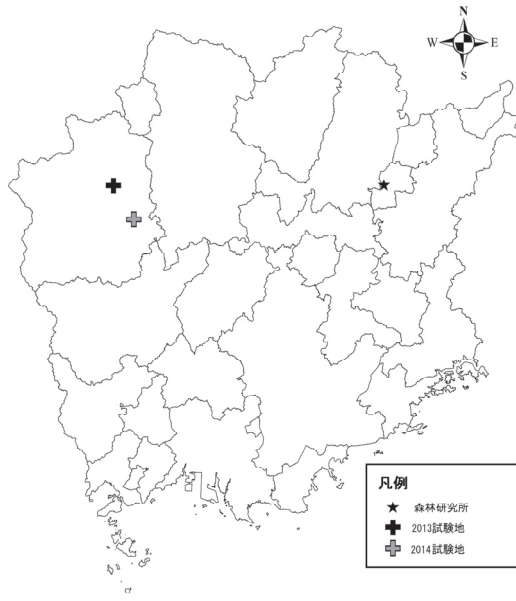


図-1 調査地位置図

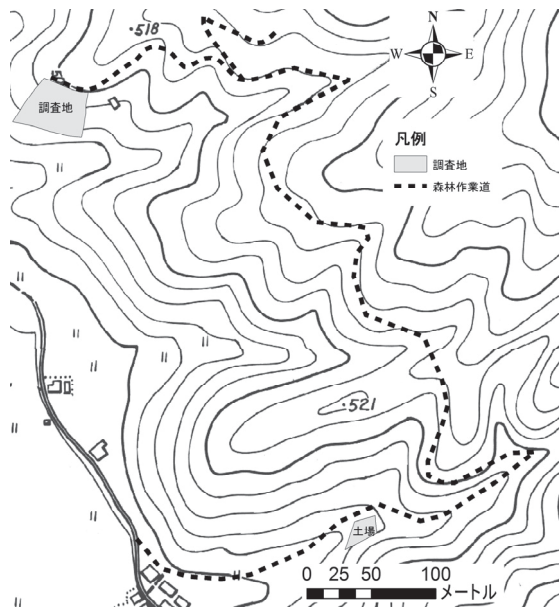


図-2 2013調査地

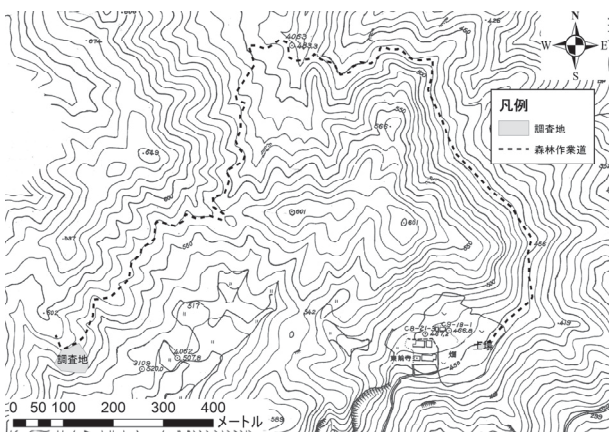


図-3 2014調査地

表-1 調査地の概要

区分	2013調査地	2014調査地
樹種	ヒノキ	ヒノキ
林齢(年生)	32	40
立木密度(本/ha)	1,570	1,150
胸高直径(cm)	19.8±4.3	18.7±3.2
樹高(m)	16.8±1.5	12.6±1.8
立木幹材積(m ³ /本)	0.28±0.13	0.18±0.07
斜面傾斜(°)	35	33

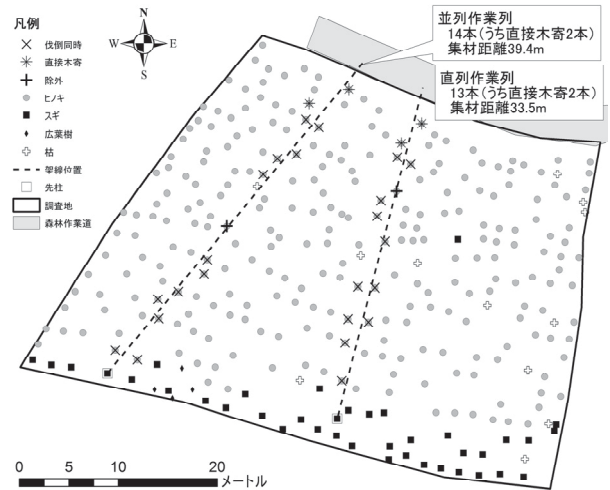


図-4 2013調査地立木位置図

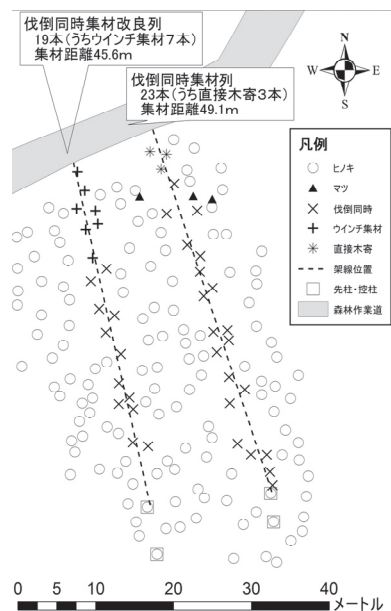


図-5 2014調査地立木位置図

19.8cm, 平均樹高が16.8m, 平均立木幹材積が0.28m³/本, 平均傾斜が35°であった。2014調査地の作業条件は, 樹種がヒノキ, 林齢が40年, 立木密度が1,150本/ha, 平均胸高直径が18.7cm, 平均樹高が12.6m, 平均立木幹材積が0.18m³/本, 平均傾斜が33°であった。

2013調査地内に、試験を実施する作業列を2列（並列作業列，直列作業列）設置した（図-4）。並列作業列の作業本数は、伐倒同時集材12本，直接木寄2本であった。直列作業列の作業本数は、伐倒同時集材11本，直接木寄2本であった。森林作業道から先柱までの水平距離は，並列作業列39.4m，直列作業列33.5mであった。2014調査地内に，試験を実施する作業列を2列（伐倒同時集材列，伐倒同時集材改良列）設置した（図-5）。伐倒同時集材列の作業本数は，伐倒同時集材20本，直接木寄3本であった。伐倒同時集材改良列の作業本数は，伐倒同時集材12本，ウインチ集材7本であった。森林作業道から先柱までの水平距離は，伐倒同時集材列49.1m，伐倒同時集材改良列45.6mであった。

2 作業システム

2013調査地の並列作業列では，伐倒同時集材と造材作業を並列作業で行った。直列作業列では，伐倒同時集材を行った後に，造材作業を行った。伐倒作業はチェーンソー，集材作業はスイングヤード，造材作業はハーベスタで行った（表-2）。なお，土場までのフォワーダ集材については調査を行っていない。2014調査地の伐倒同時集材列では，従来の伐倒同時集材を行った。伐倒同時集材改良列では，作業道から15m以内の立木について，伐倒，ウインチ集材した後，残りの立木について伐倒同時集材を行った。使用した機械は，2013調査地と同じである（表-2）。なお，造材作業および土場までのフォワーダ集材については調査を行っていない。

伐倒同時集材の要素作業は，スイングヤード手前から先山まで搬器を移動させる「空搬器走行」，荷掛け手がワイヤーを材に掛ける「荷掛け」，先山からスイングヤード手前まで材と搬器を移動させる「実搬器走行」，オペレーターが材からワイヤーを取り外す「荷はずし」，材を作業道に引き寄せる「集材木引き寄せ」，荷掛け手が立木を伐倒する「伐倒」，造材作業の完了を待つ「造材待ち」の各要素作業に区分した。造材作業の要素作業は，集材木を掴んで玉切りする「造材」，伐倒同時集材の完了を待つ「待ち」の各要素作業に区分した。どちらも打合せ等の遅延時間は除外した。

3 調査方法

各作業列において，伐倒同時集材と造材作業をビデオカメラ（SONY製HDR-CX630V）で観測し，後に時間分析を行った。2013調査地の並列作業列は2013年7月16日に，直列作業列は2013年7月19日に調査を行った。2014調査地の伐倒同時集材列は2015年1月22日・23日に，伐倒同時集材改良列は2015年1月26日に調査を行った。作業実施前に，調査地内の立木の位置等の測量と立木の胸高直径の計測を行った。作業実施後，残存立木の樹高をレー

ザー距離計（Laser Technology社製TruPulse360）を用いて計測を行った。なお，当日の作業は民間事業者が行った。

立木材積は，立木幹材積表（林野庁計画課 1970）により算出した。用材材積については，2013調査地は直列作業列の用材について直径および長さを計測し，末口自乗法により用材材積および歩留まりを算出した。2013調査地の並列作業列および2014年調査地については，2013調査地直列作業列の歩留まりと立木材積から算出した。

III. 結果と考察

1 伐倒同時集材と造材作業の連携

2013調査地の伐倒同時集材，造材作業および伐倒同時集材から造材作業までのシステム生産性を表-3に示す。システム生産性は，並列作業列は2.21m³/時，直列作業列は2.34m³/時となり，両者にはほとんど差はみられなかった。従来行われている作業システム（先行伐倒とスイングヤード集材の組合せ，以下従来型システム）と比較するために，既存の事例（渡井・近藤 2012，古川 2003，（社）全国林業改良普及協会 2001）を参考にして従来型システムの生産性を試算した（表-4）。その結果，従来型システムの生産性は2.03m³/時となり，直列作業列の伐倒同時集材の生産性（3.18m³/時）は，

表-2 使用した機械

工程	機械	型式	備考（メーカー等）
伐倒	チェーンソー	-	
集材	スイングヤード	I社TW-302A	H社ZAXIS135US I社GS-90LJV
造材	ハーベスタ	I社GPi-40T	C社REGA312B

表-3 2013調査地の作業システム生産性

区分	並列作業列	直列作業列
伐倒同時		3.18 m ³ /時
造材		8.87 m ³ /時
システム生産性	2.21	2.34 m ³ /時
(1日6時間)	13.26	14.04 m ³ /日
(3人作業)	4.42	4.68 m ³ /人日
生産コスト	8,879	6,022 円/m ³

表-4 従来型システムの生産性試算

工程	人員	生産性 (m ³ /時)	備考
伐倒	1人	3.00	(社) 全国林業改良普及協会 (2001)
集材	2人	6.30	渡井・近藤 (2012) , 古川 (2003)
システム	3人	2.03	直列試算

従来型システムの生産性の約1.6倍となった。作業の手引きでは、伐倒同時集材の生産性は従来型システムの2倍になるとされており、今回の結果はやや劣る結果となった。

各作業列のスイングヤードベースの要素作業別割合を図-6に示す。直列作業列の伐倒同時集材では、伐倒作業と集材作業の割合はそれぞれ20%と80%であった。伐倒同時集材では、追口を作製する時間は必ず生じるため、この伐倒時間を短縮することは難しく、今後、生産性を高めるためには、集材作業の時間短縮が必要である。今回の実証試験では、荷はずし作業は、オペレーターがスイングヤードから降りて手作業で行っていた。この作業には、無線で作業が可能なオートジョーカーがあり、それを用いることで作業時間の短縮は可能と考えられる。

並列作業列では、スイングヤードに造材待ちが発生し、集材木引き寄せの割合が直列作業列より増加した。また、ハーベスタは50%以上が待ち時間であった。伐倒同時集材方式は斜面下部から作業を行う方式であるため、初期の段階ではスイングヤードは立木間に入って作業することになる。そのことにより、スイングヤードとハーベスタが並んで作業するスペースがなく、スイングヤードが作業列から移動するまでハーベスタが集材木を受け取ることができず、伐倒同時集材が1サイクル終わるまでハーベスタは待機していた。集材木を受け取ったハーベスタは、作業道脇に立木があるために、集材木を移動させることができず、一部造材作業を行った後移動しており、ハーベスタが移動するまでスイングヤードは待機していた。また、作業道脇に集材木が集積した状況では、ハーベスタが集材木を掴みにくいため、スイングヤードの作業に材を作業道まで引き寄せる作業が加わった。このように、作業道脇の立木が伐倒同時集材と造材作業の連携

を困難にしていたため、並列作業が非効率になっていると考えられた。

次に、伐倒から造材までの生産コストについて検討した。生産コストの諸評価値は、機械化のマネジメント（(社)全国林業改良普及協会 2001）を参考に表-5のとおりとし、耐用年数は経済寿命とした。なお、今回の生産コストには、機械搬送費等は含めていない。

伐倒から造材までの生産コストを表-6に示す。全体の生産コストは、並列作業が8,879円/m³、直列作業が6,022円/m³となり、直列作業が並列作業より低くなった。特に、造材作業の生産コストは、直列作業が並列作業に比べ約2,000円/m³低くなった。

伐倒同時集材と造材作業の連携において、並列作業と直列作業を比較すると、以下のことが明らかとなった。

- ・造材作業までのシステム生産性は同程度である
- ・並列作業は直列作業より余分な作業が生じる
- ・並列作業の造材作業に待ち時間が生じる
- ・並列作業は直列作業より生産コストが高くなる

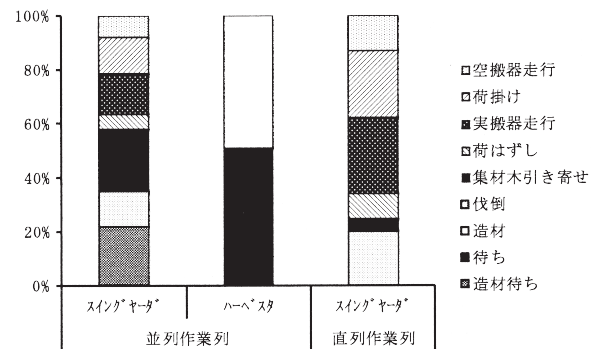


図-6 スイングヤードベースの要素作業割合

表-5 生産コストの諸評価値

項目		チェーンソー	スイングヤード	ハーベスタ
労務費	オペレーター日給 (円)	20,000	20,000	20,000
	購入価格 (円)	202,000	20,500,000	25,000,000
	耐用時間 (時)	3330	6660	4968
	耐用年数 (年)	3.7	7.1	4.6
固定費	年間稼働日数 (日)	150	150	180
	償却費率	0.9	0.9	0.9
	年間管理費率	0.065	0.048	0.044
	年利率 (%)	5	5	5
	保守修理費率	0.85	0.26	0.46
変動費	燃料油脂費 (円/時)	259	950	1,401
	消耗品費 (円/時)	60	495	320

表一 伐倒から造材までの生産コスト

工程	並列作業	直列作業	
伐倒	1,219	853	円/m ³
集材	3,263	2,641	円/m ³
造材	4,397	2,528	円/m ³
伐倒～造材	8,879	6,022	円/m ³

つまり、生産性は同じであるが、並列作業は直列作業よりもコスト高になっているため、伐倒同時集材と造材作業を行う場合、直列作業が効率的であると考えられた。

2 集材木が伐倒同時集材に及ぼす影響

伐倒同時集材と造材作業を直列作業で行った場合、集材木が作業道脇の一箇所に集積されることから、伐倒同時集材に影響を及ぼす可能性が考えられる。そこで、2013調査地において、伐倒同時集材の要素作業ごとに集材木の影響について検討した。

胸高直径と伐倒生産性の関係を図-7に示す。全伐倒木について、胸高直径と生産性の間に相関があった ($p < 0.01$)。そのうち、集材木が集積している作業道から15m以内について、伐倒生産性が特に低くなることはなかった。そのため、今回の集材距離では集材木が伐倒作業へ影響を及ぼしていないと考えられた。集材距離と空搬器走行時間の関係を図-8に示す。並列作業では、集材距離と空搬器走行時間の間に相関があった ($p < 0.01$) が、直列作業では相関が認められなかった ($p > 0.05$)。集材距離と荷掛け時間の関係を図-9に示す。並列作業、直列作業ともに集材距離と荷掛け時間の間に相関は認められなかった ($p > 0.05$)。また、荷掛け時間の平均は、並列作業49秒、直列作業46秒となり、並列作業と直列作業に差はなかった (Welchのt検定, $p > 0.05$)。集材距離と実搬器走行時間の関係を図-10に示す。並列作業では、集材距離と実搬器走行時間の間に相関があった ($p < 0.05$) が、直列作業では相関が認められなかった ($p > 0.05$)。集材距離と荷はずし時間の関係を図-11に示す。並列作業、直列作業ともに集材距離と荷はずし時間の間に相関は認められなかった ($p > 0.05$)。また、荷はずし時間の平均は、並列作業20秒、直列作業22秒となり、並列作業と直列作業に差はなかった (Welchのt検定, $p > 0.05$)。

並列作業と直列作業の作業条件の違いは、集材木が架線下に集積されているかどうかのみであり、両作業の間に違いがあれば、集材木の影響を受けているといえる。

荷掛け作業と荷はずし作業は、集材距離と作業時間の間に相関がなく、並列作業と直列作業の平均作業時間に差もないことから、集材木の影響は受けていないと考えられた。一方、空搬器走行と実搬器走行については、直

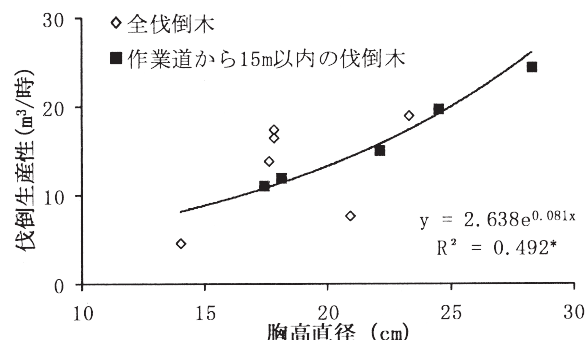


図-7 胸高直径と伐倒生産性の関係

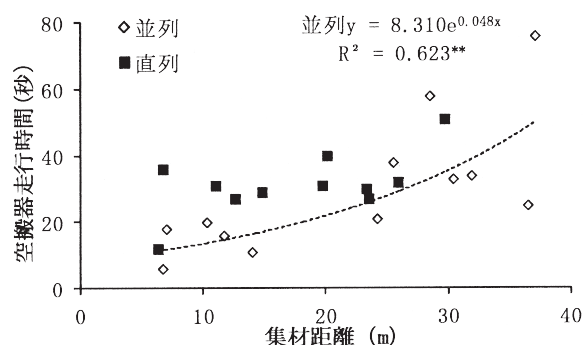


図-8 集材距離と空搬器走行時間の関係

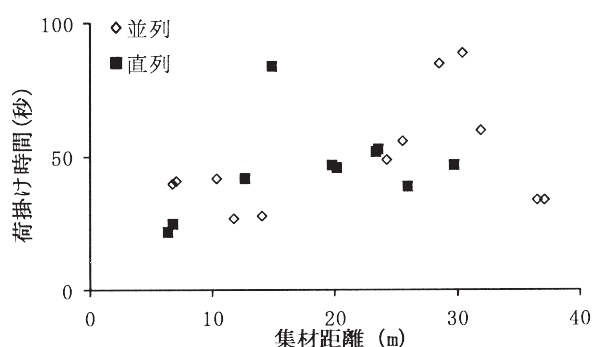


図-9 集材距離と荷掛け時間の関係

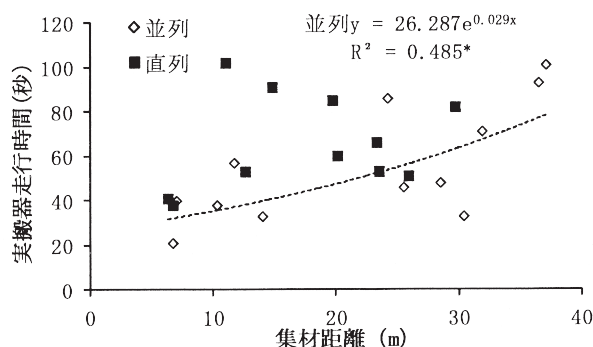


図-10 集材距離と実搬器走行時間の関係

注. *は5%水準で有意

注. **は1%水準で有意

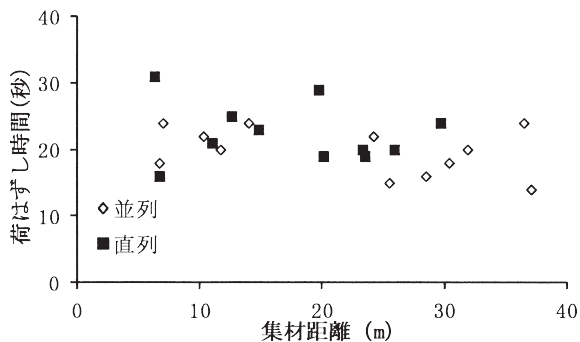


図-11 集材距離と荷はずし時間の関係

列作業では相関がみられず、集材木が各搬器走行へ影響していると考えられた。特に、直列作業の実搬器走行では、集積木よりも元山側（作業道から10～20m）の集材木において、同距離の並列作業より高い値を示していた。これは、伐倒同時集材の初めのうちは、集積木が少ないため実搬器走行への影響はないが、ある程度作業が進むと集積木の山を乗り越える必要が生じ、実搬器走行時間が増加したといえる。これらのことから、伐倒同時集材と造材作業が直列作業の場合、作業道脇の集積木の増加が空搬器走行と実搬器走行へ影響することが明らかとなった。

今回の実証試験では集材距離40m以内としたが、スイングヤード集材の適用距離は75mと報告されており（後藤 2008）、集材距離が伸びることで集積木の影響を受ける集材木の本数が増加することが予測される。そのため、伐倒同時集材と造材作業が直列作業の場合は、伐倒同時集材方式に集積木の影響を受けない次のような改良を加え、作業を効率化させる必要があると考えられた。

- ①伐倒同時集材を行う前に作業道から15m以内の立木に対して伐倒・ウインチ集材を行う
- ②①により作られた架線脇のスペースに伐倒同時集材の集材木を集積する

このように改良することで、伐倒同時集材の直列作業は並列作業時と同様の作業になり、効率的に行えると考えられた。

3 伐倒同時集材の改良

2014調査地において、ウインチ集材と組み合わせた伐倒同時集材（以下、改良方式）について、伐倒同時集材との比較試験を行い、伐倒同時集材と造材作業が直列作業の場合に課題となった空搬器走行および実搬器走行についてその効果を検証した。

集材距離と空搬器走行の関係を図-12に示す。集材距離と空搬器走行時間の間には、伐倒同時集材、改良方式ともに相関は認められなかった（ $p>0.05$ ）。改良方式では、道から遠い立木に搬器を送る際にギヤを2速にして

高速にしたため、道から近い立木と遠い立木で走行時間に違いが生じなかった。そこで、集材距離と空搬器走行速度の関係を図-13に示す。改良方式、従来方式ともに走行速度と集材距離に相関が認められ（ $p<0.001$ ）、改良方式は従来方式より高速で走行していることが明らかとなった。これは、集材木が架線下にないため、先山の状況が従来方式に比べ把握しやすかったためと考えられ、改良方式の効果といえる。

集材距離と実搬器走行時間の関係について図-14に示す。集材距離と実搬器走行時間の間には、伐倒同時集材は1%水準で、改良方式は5%水準で相関が認められた。また、改良方式は、2013並列作業と同様の傾向を示し、

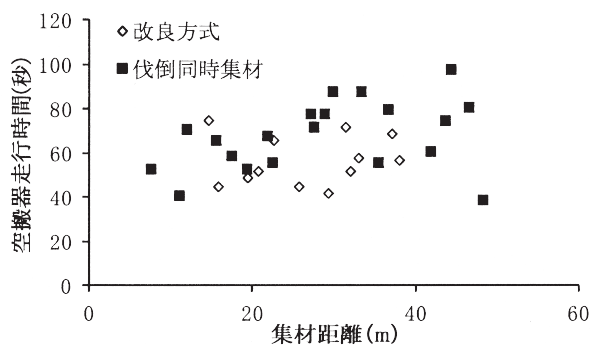


図-12 集材距離と空搬器走行時間の関係

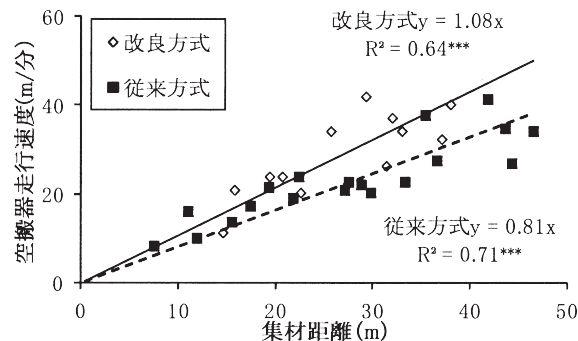


図-13 集材距離と空搬器走行時間の関係

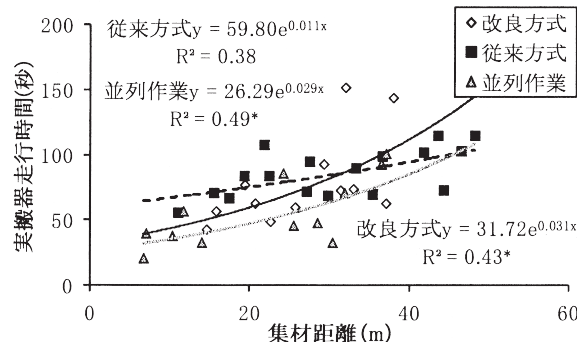


図-14 集材距離と実搬器走行時間の関係

注. *は5%水準で有意, **は1%水準で有意

表一 7 伐倒同時集材と改良方式の生産性および生産コスト

	伐倒同時集材	改良方式	
生産性	2.12	2.53	m ³ /時
(1日6時間)	12.72	15.18	m ³ /日
(2人作業)	6.36	7.59	m ³ /人日
生産コスト	6,859	5,501	円/m ³

道に近い立木ほど作業時間が短くなっていた。しかし、伐倒同時集材は、道に近い立木ほど作業時間が改良方式や2013並列作業より長くなる傾向を示した。これらのことから、伐倒同時集材で道から近い立木で作業時間がなかったのは、集積木の影響と示唆された。したがって、改良方式は集積木の影響を排除することができたといえる。

次に、伐倒から集材までの生産性および生産コストについて検討した。生産コストの諸評価値は、機械化のマネジメント（(社) 全国林業改良普及協会 2001）を参考に表一5のとおりとし、耐用年数は経済寿命、材積は幹材積を用いた。なお、今回の生産コストには、機械搬送費等は含めていない。伐倒同時集材と改良方式の生産性および生産コストを表一7に示す。伐倒から集材までの生産性は、伐倒同時集材2.12m³/時、改良方式2.53m³/時となり、改良方式の生産性は約20%向上した。生産コストは、伐倒同時集材6,859円/m³、改良方式5,501円/m³となり、改良方式が約1,300円/m³低くなった。

このように、集積木の搬器走行への影響、生産性および生産コストの面から、改良方式は伐倒同時集材よりも効率的な方法であると考えられた。

IV. おわりに

本研究では、岡山県に伐倒同時集材を導入することを目的に、造材作業との連携および改良方式について検討した。その結果、伐倒同時集材と造材作業は直列作業とするシステムが効率的であるが、その場合、集積木の影響から伐倒同時集材部分が非効率となっており、改良の可能性があった。そこで、伐倒同時集材を、ウインチ集材と伐倒同時集材を組み合わせる方式に改良することで、より効率的な作業とすることができた。

最後に、本調査を実施するにあたり、現場作業を実施していただいた（有）杉産業に感謝の意を表します。

V. 引用文献

- 古川邦明（2003）岐阜県における林業機械化作業システム研究の取り組み。機械化林業597：5-10。
 後藤純一（2008）傾斜地における高密作業路網を活用した間伐材搬出システムの選択。機械化林業658：1-6。
 片桐智之（2011）岡山県における林業機械に関するアン

ケート調査。岡山県農林水産総合センター森林研究所研究報告27：33-46。

岡山県農林水産部林政課・治山課・組合指導課（2015）岡山県森林・林業統計。110pp。

林野庁計画課（1970）立木幹材積表 西日本編。319pp。東京都。（株）日本林業調査会。

森林技術総合研修所林業機械化センター・（国研）森林総合研究所林業工学研究領域（2011）スイングヤーダにおける「伐倒同時集材方式」作業の手引き。11pp。

（社）日本森林技術協会（2010）低コスト作業システム構築事業事業報告書。268pp。

（社）全国林業改良普及協会（2001）機械化のマネジメント。240pp。東京都。

渡井純・近藤恵一（2012）路網密度に対応した間伐作業システムの労働生産性—スイングヤーダとプロセッサを使用した調査事例—。静岡県農林技術研究所研究報告5：53-58。