

岡山県における架設撤去作業を含めたスイングヤーダ集材の生産性

Productivity of uphill yarding using a swing-yarder with erection removal in Okayama Prefecture

片桐智之

Tomoyuki KATAGIRI

要 旨

片桐 智之：岡山県における架設撤去作業を含めたスイングヤーダ集材の生産性 岡山県農林水産総合センター森林研究所研究報告32：25-35（2016）架設撤去，横取り集材を含めた効率的なスイングヤーダ集材方法を検討するため，架設試験および集材試験を行った。架設試験では，今回行った安全性も考慮に入れた方式の中では，ホールバックラインシングル式が最も効率的な架設方法であり，その架設撤去時間の推定式を得ることができた。集材試験では，列状間伐，魚骨状横取間伐，定性横取間伐について，それぞれ集材作業時間の推定式を得ることができ，架設撤去の推定式と集材作業の推定式を用いて，本数密度1,600本/ha，施業プロット幅30m×長さ75mの条件下で，列状間伐（2伐4残，本数間伐率33%），魚骨状横取間伐（2伐列状1列，本数間伐率36%），定性横取間伐（2伐列状1列，本数間伐率33%）として，架設撤去を含んだ集材生産性をシミュレーションした。その結果，集材距離が55m未満であれば，魚骨状間伐の生産性が，集材距離が55m以上であれば列状間伐の生産性がそれぞれ最も高くなり，集材距離に応じた効率的な間伐方法を明らかにした。

キーワード：搬出方法，架設撤去，生産性，スイングヤーダ，横取り

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おり，ほとんどの林業事業体がウインチ集材を主体に作業を行っている（片桐 2011）。ウインチ集材については，これまでの研究で，ヒノキ急傾斜地（斜面傾斜35°）におけるウインチ集材（上げ木）の適用範囲は28.1m以内との報告（後藤 2008）や荷掛け手の生理的負担からウインチ集材の適用範囲は30m以内との報告（山田 2010）がある。今後，地形や地質等によっては，今よりも路網密度を低くした作業システムで素材生産を行わなくてはならず，その場合，集材距離が長くなるため，ウインチ集材では高い生産性を保って作業することができなくなる可能性がある。

現在，岡山県内には，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ダが36台（全高性能林業機械211台）導入されている（岡山県農林水産部林政課・治山課・組合指導課 2015）ことから，中密度路網（集材距離70m以内）とスイングヤーダの組合せによる簡易架線集材について効率的な集材方法を明らかにする必要がある。スイングヤーダによる簡易架線集材（以下，スイングヤーダ集材）については，列状間伐での事例報告（溝上ら 2004，櫻井ら 2004，山田ら 2010，山田・近藤 2010）は多数見受けられるが，横取

集材についての事例はほとんど報告されていない。また，スイングヤーダ集材では，先柱の架設撤去作業が必要となるが，その事例についての報告は少ない（渡井・近藤 2012，菅沼ら 2014）。そこで，効率的な架設撤去作業の把握および架設撤去作業を含めたスイングヤーダ集材の生産性を明らかにすることを目的として，架設試験および集材試験を行った。

なお，当研究課題は，2013～2015年度単県課題「スイングヤーダを用いた架線系作業システムの研究」で取り組んだものである。

II 研究方法

1. 調査地および調査プロット概要

調査は岡山県久米郡美咲町新城の町有林で行った（図-1，2）。架設試験では，調査プロットを2013年度に3カ所（以下，2013架設プロット）設置し，2014年度に1カ所（以下，2014架設プロット）設置した（図-2）。各プロットの概要は，表-1のとおりである。集材試験では，調査プロットを2013年度に1カ所（以下，2013集材プロット）設置し（図-2），定性間伐区（以下，ウインチ定性区），列状間伐区（以下，ウインチ列状区），定性横取間伐区（以下，ウインチ横取区）に区分した（図-3）。2014年度も1カ所（以下，2014集材プロット）



図-1 調査地位置図 (岡山県久米郡美咲町)

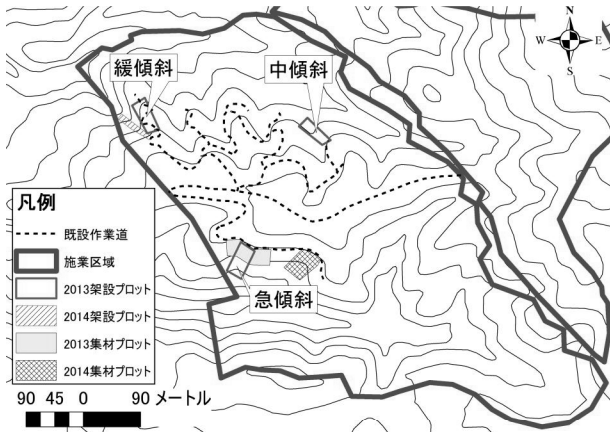


図-2 調査地位置図

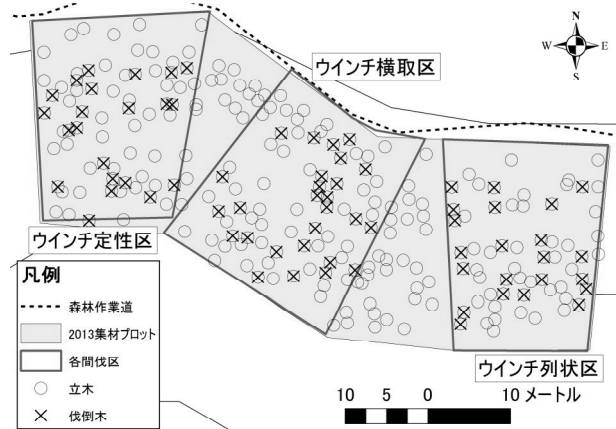


図-3 2013集材プロット

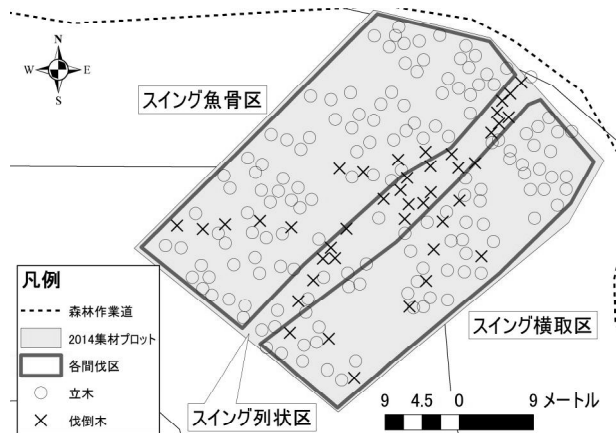


図-4 2014集材プロット

表-1 架設試験の各プロットの概要

架設プロット	架線名	平均傾斜 (°)	先柱	
			水平距離 (m)	DBH (cm)
2013	緩傾斜	14.2	33.2	17.7
	中傾斜	22.4	36.2	33.5
	急傾斜	27.7	32.1	25.2
2014	No.1		32.7	26.2
	No.2		38.0	19.5
	No.3	25.8	45.0	21.5
	No.4	(33.2)	49.1	21.2
	No.5		52.5	24.0
	No.6		55.9	26.3

※2014プロットの平均傾斜の () 内の数値は最大傾斜を示す。

設置し (図-2), 列状間伐区 (以下, スイング列状区), 魚骨状横取間伐区 (以下, スイング魚骨区), 定性横取間伐区 (以下, スイング横取区) に区分した (図-4)。各プロットの概要は, 表-2のとおりである。

表-2 集材試験の各プロットの概要

集材プロット	間伐区	平均傾斜 (°)	伐倒本数 (本)	平均DBH (cm)	平均樹高 (m)
2013	ウインチ 定性		21	19.8	13.8
	ウインチ 列状	29.1	21	21.4	16.7
	ウインチ 横取		15	21.3	15.9
2014	スイング 列状	20.1	24	22.5	23.9
	スイング 魚骨	(31.2)	9	24.3	19.3
	スイング 横取		9	22.8	21.0

※平均傾斜の () 内の数値は最大傾斜を示す。

2. 調査方法

(1) 架設試験

2013架設プロットでは, 4つの架設方法 (従来型, 省略型, ホールバックラインシングル式 (以下, シングル式), ホールバックラインダブル式 (以下, ダブル式)) について比較試験を行った (図-5)。それぞれの方法について, 架設作業および撤去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。2014架設プロットでは, 2013架設プロットで最も効率的な方法と考えられた架設方法について, 距離別に架設作業お

よび撤去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。

(2) 集材試験

2013集材プロットでは、0.25クラスのウインチ付ハーベスタ（図-8）を用いて、各間伐区ごとにウインチ集材を行った。ウインチ横取区での横取り作業は滑車を立木に設置して行い、横取りが終わった後は、滑車からワイヤーをはずして作業道までウインチ集材を行った（図-6）。それぞれの作業について、荷掛け手およびハーベスタの各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。2014集材プロットでは、0.25クラスのスイングヤーダ（図-9）を用いて、各間伐区ごとにランニングスカイライン方式（図-7）によるスイングヤーダ集材を行った。それぞれの作業について、荷掛け手およびスイングヤーダの各作業をビデオカ

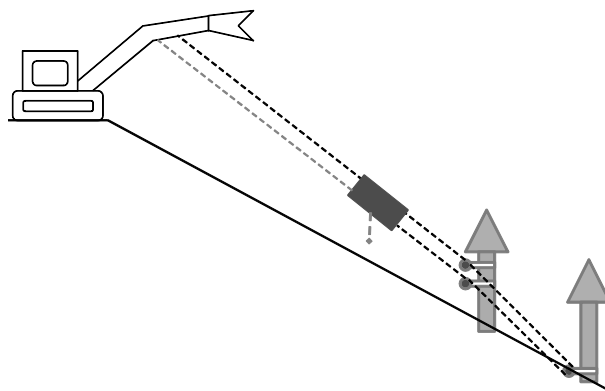


図-7 ランニングスカイライン方式イメージ図



図-8 ウインチ付ハーベスタ (0.25クラス)

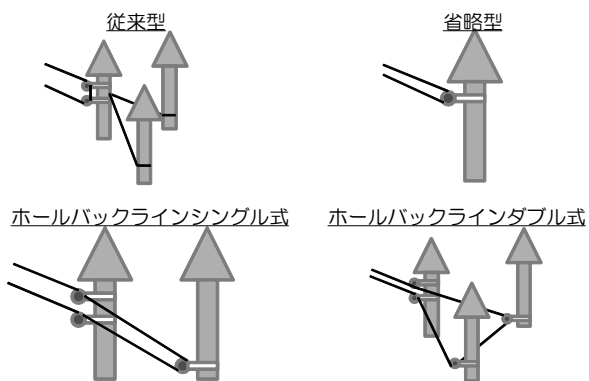


図-5 4つの架設方法 (省略型以外は、安全性あり)

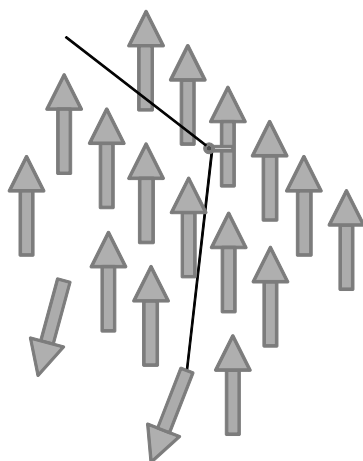


図-6 ウインチ横取りイメージ図

メラ（SONY製HDR-CX630V）で観測し、後に時間分析を行った。各プロットで使用した林業機械の諸元は、表-3のとおりである。全てのプロットにおいて、生産性は立木材積を用いて算出した。また、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。



図-9 スイングヤーダ (0.25クラス)

表-3 各プロットで使用した林業機械の諸元

集材プロット	林業機械名	ベースマシン	ヘッド	ウインチ
2013	ウインチ付ハーベスタ	ZAXIS75US	TAPIO 400EXS	MSE-HW45ACB
2014	スイングヤーダ	PC78US	GS-65LJV	TW-232B

III 結果と考察

1. 架設試験

(1) 架設方法の比較

2013架設プロットでの架設および撤去作業時間を表-4, 5に示す。架設作業は、全ての傾斜で作業時間が短い順に、省略型、シングル式、従来型、ダブル式となった。また、架設方法ごとの作業時間は、傾斜に関わらずほぼ一定となっていた。撤去作業は、急傾斜を除いて作業時間が短い順に、省略型、シングル式、ダブル式、従来型となった。急傾斜では、ダブル式と従来型が同じ作業時間となった。また、架設作業同様、架設方法ごとの作業時間は傾斜に関わらずほぼ一定となっていた。今回、試験を行った4つの架設方法から効率的な架設方法を検討する場合、作業時間のみで検討すると、省略型が最も効率的な方法となる。しかし、この方法は先柱の滑車を1つにして、先柱の控え索を除外した方法であり、安全性に問題がある。そのため、安全性を考慮に入れた方式では、シングル式が今回行った方式の中では、最も効率的な架設方法であると考えられた。そこで、2014年度架設試験において、シングル式について、詳しく考察することとした。

表-4 2013架設プロットでの架設作業時間

架線名	架設時間 (分)			
	従来型	省略型	シングル式	ダブル式
緩傾斜	21	5	16	23
中傾斜	19	5	15	20
急傾斜	17	7	15	22
平均	19	6	15	22

表-5 2013架設プロットでの撤去作業時間

架線名	撤去時間 (分)			
	従来型	省略型	シングル式	ダブル式
緩傾斜	14	4	8	12
中傾斜	15	4	10	12
急傾斜	13	4	7	13
平均	14	4	8	12

(2) 距離別作業時間

シングル式の架設作業の要素作業を、スイングヤードから先柱までワイヤーを持って行く「ワイヤー引き込み」、先柱にスリングや滑車等を設置する「先柱作成」、スイングヤード手前から先山まで搬器を移動させる「搬器送り」、搬器にHALとHBLを取り付ける「搬器取付」、架線のねじれなどの確認を行う「架線確認」、先山からスイングヤード手前まで搬器を移動させる「搬器戻し」、荷掛手が先山からスイングヤード手前まで移動する「上

歩行」に区分した。撤去作業の要素作業は、搬器からHALとHBLを取りはずす「搬器はずし」、荷掛手がスイングヤード手前から先山まで移動する「撤去下歩行」、先柱から滑車等をははずす「先柱撤去」、スイングヤードへワイヤーを巻き取る「ワイヤー巻き取り」、荷掛手が先山から作業道へ移動する「撤去上歩行」に区分した。どちらも打合せ等の遅延時間は除外した。

支間水平距離（スイングヤードと先柱の水平距離）と架設作業の各要素作業との関係を図-10~16に示す。架

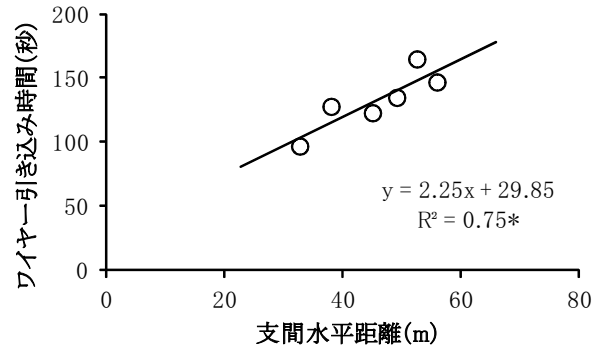


図-10 支間水平距離とワイヤー引き込み時間の関係
注) *は $p < 0.05$ を示す

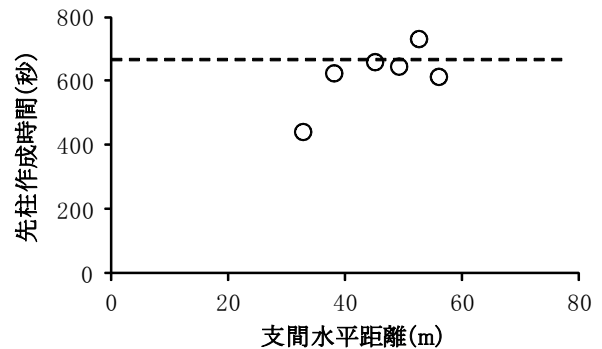


図-11 支間水平距離と先柱作成時間の関係
注) 点線は先柱作成時間の平均値を示す

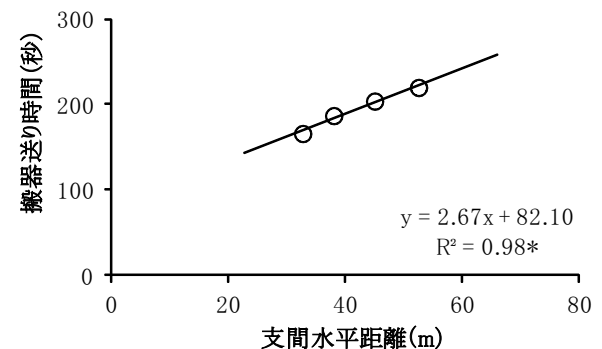


図-12 支間水平距離と搬器送り時間の関係
注) *は $p < 0.05$ を示す

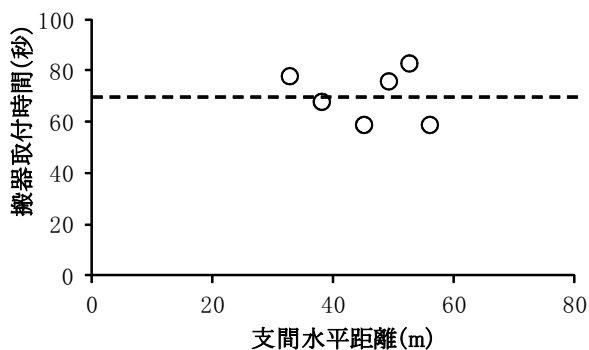


図-13 支間水平距離と搬器取付時間の関係
注) 点線は搬器取付時間の平均値を示す

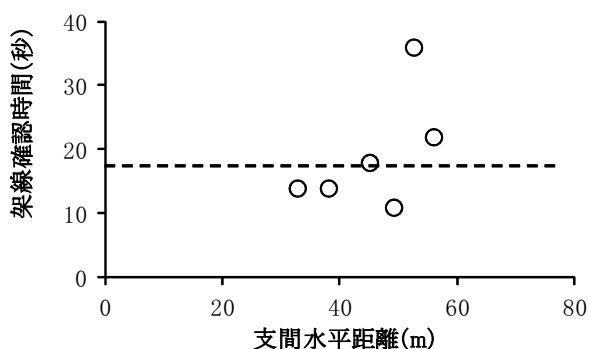


図-14 支間水平距離と架線確認時間の関係
注) 点線は架線確認時間の平均値を示す

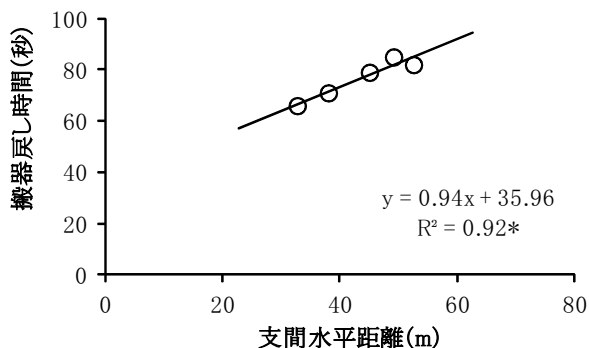


図-15 支間水平距離と搬器戻し時間の関係
注) *は $p < 0.05$ を示す

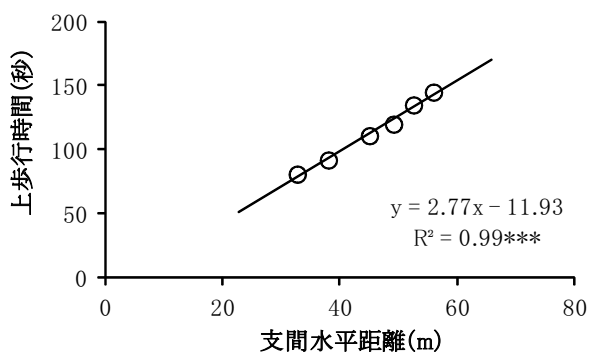


図-16 支間水平距離と上歩行時間の関係
注) ***は $p < 0.001$ を示す

設作業では、(1)，(3)，(6)，(7)式のとおり，支間水平距離とワイヤー引き込み時間，搬器送り，搬器戻し，上歩行との間に相関があった。相関が得られなかった要素作業は，それぞれの平均値を作業時間とした。

$$t1 = 2.25d + 29.85 \quad (R^2 = 0.75) \quad \dots \dots (1)$$

$$t2 = 656 \quad \dots \dots (2)$$

$$t3 = 2.67d + 82.10 \quad (R^2 = 0.98) \quad \dots \dots (3)$$

$$t4 = 71 \quad \dots \dots (4)$$

$$t5 = 19 \quad \dots \dots (5)$$

$$t6 = 0.94d + 35.96 \quad (R^2 = 0.92) \quad \dots \dots (6)$$

$$t7 = 2.77d - 11.93 \quad (R^2 = 0.99) \quad \dots \dots (7)$$

ただし， $t1$ ：ワイヤー引き込み時間 (秒)， $t2$ ：先柱設置時間 (秒)， $t3$ ：搬器送り時間 (秒)， $t4$ ：搬器取付 (秒)， $t5$ ：架線確認 (秒)， $t6$ ：搬器戻し時間 (秒)， $t7$ ：上歩行時間 (秒)， d ：支間水平距離 (m)。したがって，架設作業の作業時間は，(8)式のとおり，支間水平距離で表せる。

$$tk = t1 + t2 + t3 + t4 + t5 + t6 + t7$$

$$= 8.63d + 881.98 \quad \dots \dots (8)$$

ただし， tk ：架設作業時間 (秒)

支間水平距離と撤去作業の各要素作業との関係を図-17～21に示す。撤去作業では，(10)，(13)式のとおり，支間水平距離と撤去下歩行，撤去上歩行との間に相関があった。相関が得られなかった要素作業は，架設作業同様それぞれの平均値を作業時間とした。

$$t8 = 43 \quad \dots \dots (9)$$

$$t9 = 2.21d - 18.59 \quad \dots \dots (10)$$

$$t10 = 277 \quad \dots \dots (11)$$

$$t11 = 100 \quad \dots \dots (12)$$

$$t12 = 2.84d - 5.53 \quad \dots \dots (13)$$

ただし， $t8$ ：搬器はずし時間 (秒)， $t9$ ：撤去下歩行時間 (秒)， $t10$ ：先柱撤去時間 (秒)， $t11$ ：ワイヤー巻き取り時間 (秒)， $t12$ ：撤去上歩行時間 (秒)， d ：支間水平距離 (m)。

したがって，撤去作業の作業時間は，(14)式のとおり，支間水平距離で表せる。

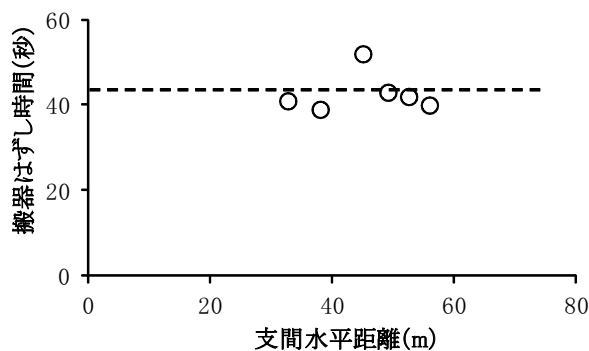


図-17 支間水平距離と搬器はずし時間の関係
注) 点線は搬器はずし時間の平均値を示す

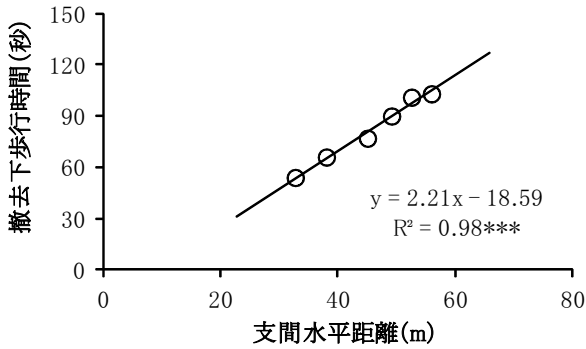


図-18 支間水平距離と撤去下歩行時間の関係
注) ***は $p < 0.001$ を示す

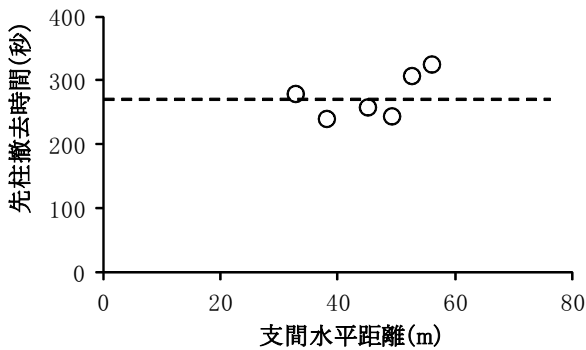


図-19 支間水平距離と先柱撤去時間の関係
注) 点線は先柱撤去時間の平均値を示す

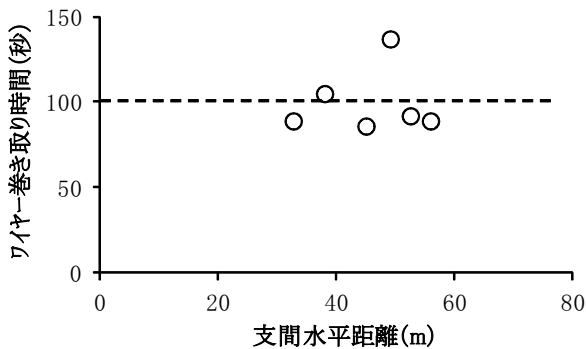


図-20 支間水平距離とワイヤー巻き取り時間の関係
注) 点線はワイヤー巻き取り時間の平均値を示す

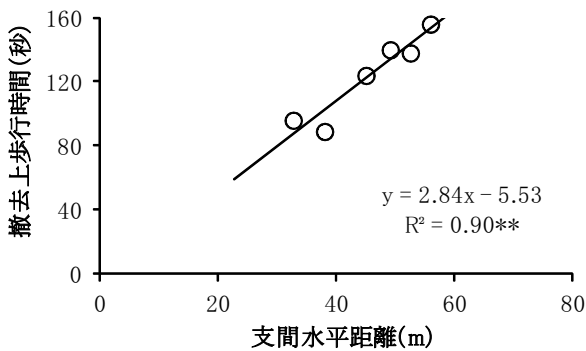


図-21 支間水平距離と撤去上歩行時間の関係
注) **は $p < 0.01$ を示す

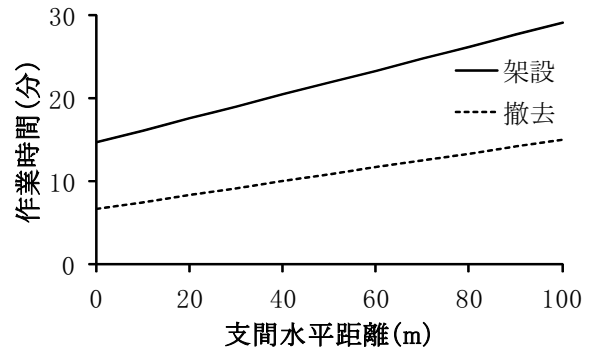


図-22 支間水平距離と架設および撤去作業時間

$$tt = t8 + t9 + t10 + t11 + t12$$

$$= 5.50d + 395.88 \dots \dots \dots (14)$$

ただし、 tt : 撤去作業時間 (秒)

得られた (8), (14) 式を用いて、支間水平距離と架設作業時間および撤去作業時間の関係を図-22に示す。2013架設プロットの支間水平距離33.8mでの架設作業時間は19.5分 (1,174秒)、撤去作業時間は9.7分 (582秒)となり、2013架設プロットでの実際の作業と比較すると、架設作業時間でやや過剰な値となったが、撤去作業時間ではほぼ同じ値となった。したがって、これら推定式は実際の作業に適合した式であると考えられた。

後藤 (2008) は、ヒノキ急傾斜地 (斜面傾斜 35°) におけるランニングスカイラインによる上げ木集材の適用範囲は、28.1~74.8mと報告している。そこで、支間水平距離を30~70mとすると、シングル式は、架設19~25分、撤去9~12分、合計28~37分かかると推測された。

2. 集材試験

(1) ウインチ集材

2013集材プロットで行ったウインチ集材の木寄工程の生産性を表-6に示す。各間伐区の木寄工程の生産性は、高い順に、ウインチ列状区、ウインチ横取区、ウインチ定性区となり、ウインチ列状区とウインチ列状区はほぼ同じであった。一般に、列状間伐の生産性は、定性間伐よりも高くなると言われており (溝上ら 2004)、本試験でも、同様の結果が得られた。しかし、ウインチ列状区の生産性は、ウインチ横取区の列状部分の生産性の約半分であり、今回のウインチ列状の生産性が必ずしも高いとは言えない。そこで、後述する2.(3)において、

表-6 ウインチ集材の木寄工程の生産性

間伐区	生産性(m ³ /時)		
	全体	うち列状部分	うち横取部分
ウインチ定性区	2.91	-	-
ウインチ列状区	4.94	-	-
ウインチ横取区	4.75	9.29	3.10

シミュレーションを行う際には、ウインチ集材の木寄工程の生産性は、ウインチ列状区とウインチ横取区の列状部分を合わせて再計算した生産性 (5.89m³/時) を適用することとした。

(2) スイングヤード集材

2014集材プロットで行ったスイングヤード集材の各工程の生産性を表-7に示す。伐倒工程、木寄工程、システムの生産性は、高い順に、スイング列状区、スイング魚骨区、スイング横取区となり、横取作業を行うと生産性が低下することが示された。特に、斜めに列状間伐を行う魚骨状横取り (スイング魚骨区) よりも定性横取り (スイング横取区) の生産性がより低下していた。

スイングヤード集材の共通作業の要素作業を、空搬器走行のために索を張り上げる「空搬器張り上げ」、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」、荷掛けのために搬器を地面に下ろす「空搬器緩め」、荷掛け手が索を材まで引き込む「索引き込み」、荷掛け手が索にワイヤーを掛ける「荷掛け」、実搬器走行のために索を張り上げる「実搬器張り上げ」、先山からスイングヤード手前まで搬器を移動させる「実搬器走行」、荷はずしのために搬器を地面に下ろす「実搬器緩め」、材を作業道脇におろす「荷はずし」に区分した。魚骨状横取作業の要素作業を、荷掛け手が搬器から荷掛け位置まで索を引き込む「魚骨状索引き込み」、荷掛け位置から搬器を材まで引く「魚骨状横取り」に区分した。定性横取作業の要素作業を、荷掛け手が搬器から荷掛け位置まで索を引き込む「定性索引き込み」、荷掛け位置から搬器を材まで引く「定性横取り」に区分した。魚骨状横取作業、定性横取作業に共通の要素作業として、横取作業中に搬器が移動しないように固定する「搬器固定」に区分した。また、打合せ等の遅延時間は除外した。

集材距離と各要素作業との関係を図-23~32に示す。共通作業では、(16)、(21) 式のとおり、集材距離と空搬器走行、実搬器走行との間に相関が認められた。他の要素作業については、集材距離に関わらずほぼ一定の値を示したことから、平均値をその要素作業の作業時間とした。横取共通作業である搬器固定も集材距離との間に相関は認められなかった。また、若干のバラツキはあるものの、ほぼ一定の値を示したことから、平均値を作業時間とした。

表-7 スイングヤード集材の各工程の生産性

工程	スイング列状区 (m ³ /時)	スイング魚骨区 (m ³ /時)	スイング横取区 (m ³ /時)
伐倒	18.99	16.32	15.95
木寄	4.29	4.11	3.75
システム	3.50	3.28	3.04

※システム生産性は、伐倒工程と木寄工程を直列作業として計算

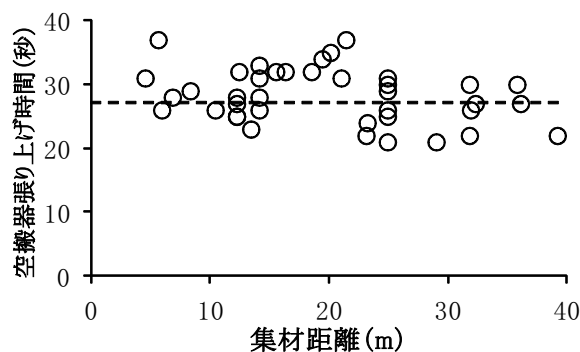


図-23 集材距離と空搬器張り上げ時間の関係
注) 点線は空搬器張り上げ時間の平均値を示す

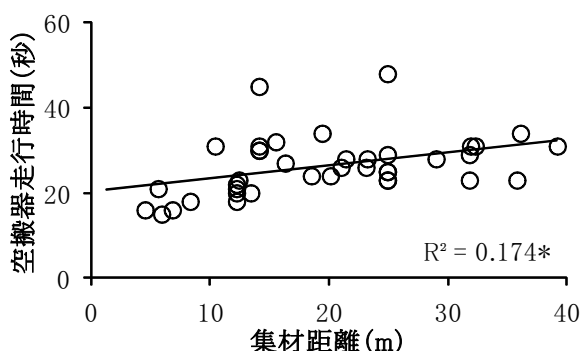


図-24 集材距離と空搬器走行時間の関係
注) *はp<0.05を示す

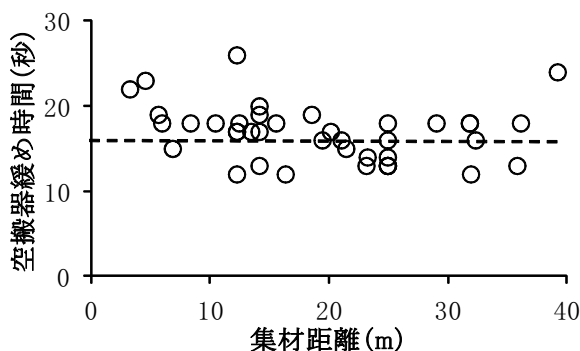


図-25 集材距離と空搬器緩め時間の関係
注) 点線は空搬器緩め時間の平均値を示す

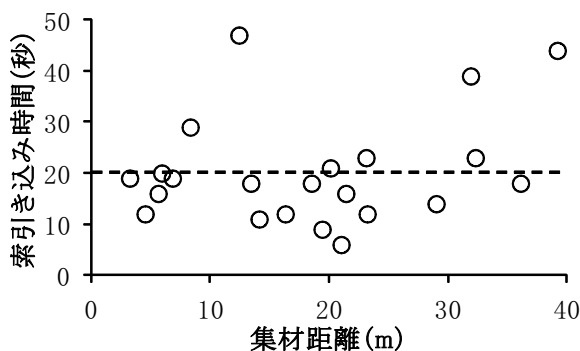


図-26 集材距離と索引き込み時間の関係
注) 点線は索引き込み時間の平均値を示す

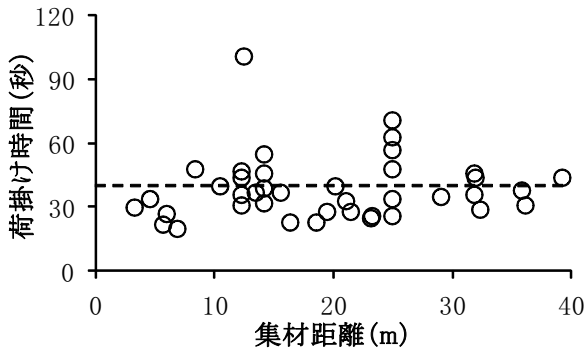


図-27 集材距離と荷掛け時間の関係
注) 点線は荷掛け時間の平均値を示す

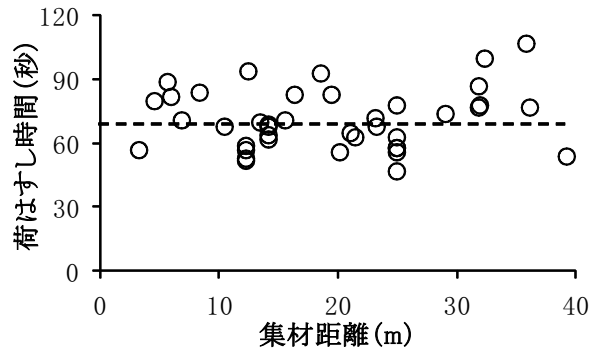


図-31 集材距離と荷はずし時間の関係
注) 点線は荷はずし時間の平均値を示す

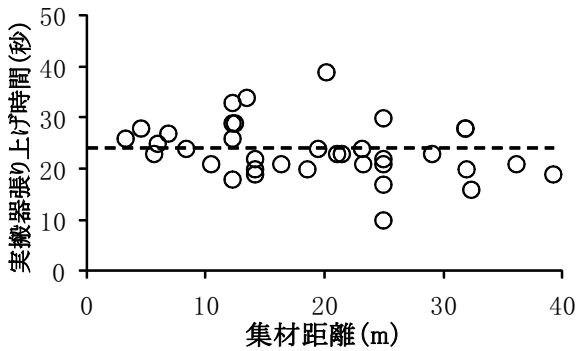


図-28 集材距離と実搬器張り上げ時間の関係
注) 点線は実搬器張り上げ時間の平均値を示す

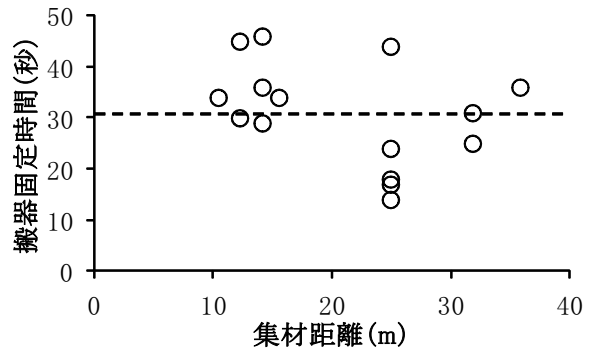


図-32 集材距離と搬器固定時間の関係
注) 点線は搬器固定時間の平均値を示す

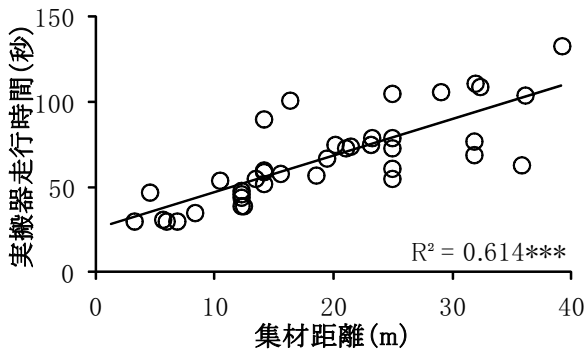


図-29 集材距離と実搬器走行時間の関係
注) ***は $p < 0.001$ を示す

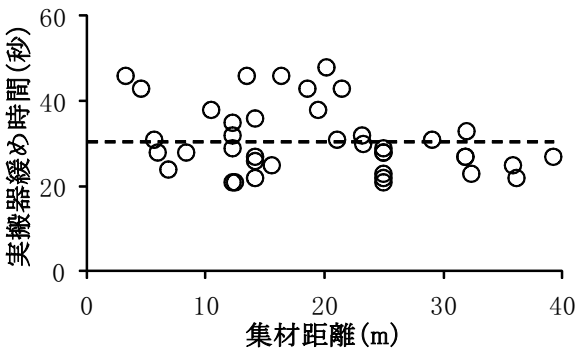


図-30 集材距離と実搬器緩め時間の関係
注) 点線は実搬器緩め時間の平均値を示す

横取距離と各要素作業との関係を図-33~36に示す。魚骨状横取作業では、横取距離との間に相関は認められなかった。しかし、海外製タワーヤードによる横取作業(中澤 2016)では、荷上げ作業時間と横取り距離および索引込作業時間と索引込距離には相関があること($y = 37.74e^{0.03x}$, ただし y : 荷上げ時間(秒), x : 横取り距離(m)および $t = 2.00d$, t : 索引込時間(秒), d : 索引込距離(m)), 今回の横取距離と魚骨状横取り引き込み時間および魚骨状横取り時間との間に右肩上がりの傾向がみられたことから、今回の魚骨状横取りは9本しか集材しておらず、データが少なかつたために相関が得られなかったと考え、それぞれの作業時間を(24), (25)式のとおりとした。

定性横取作業では横取距離との間に相関は認められなかった。これは、伐倒木の位置により集材しやすい伐倒木については横取距離が長くても作業時間が短く、集材しづらい伐倒木については横取距離が短くても作業時間が長くなつたために、明確な傾向が得られなかったと考えられた。そのため、定性横取作業については、全て平均値を作業時間とした。

$$t'1 = 28 \quad \dots \dots \dots (15)$$

$$t'2 = 0.3d + 20.4 \quad \dots \dots \dots (16)$$

$$t'3 = 17 \quad \dots \dots \dots (17)$$

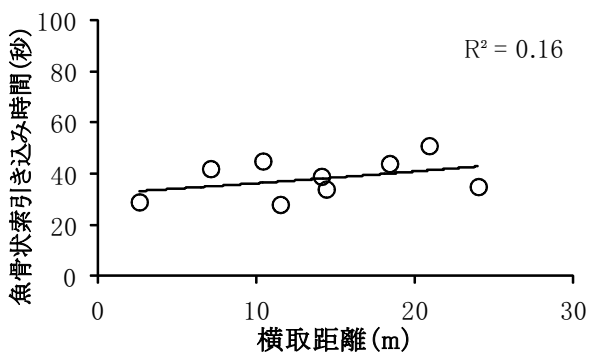


図-33 横取距離と魚骨状索引き込み時間の関係

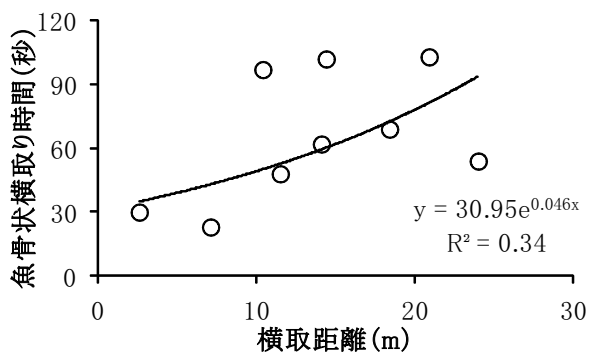


図-34 横取距離と魚骨状横取り時間の関係

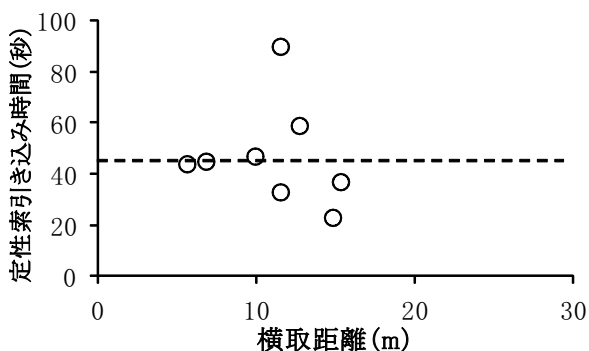


図-35 横取距離と定性索引き込み時間の関係
注) 点線は定性索引き込み時間の平均値を示す

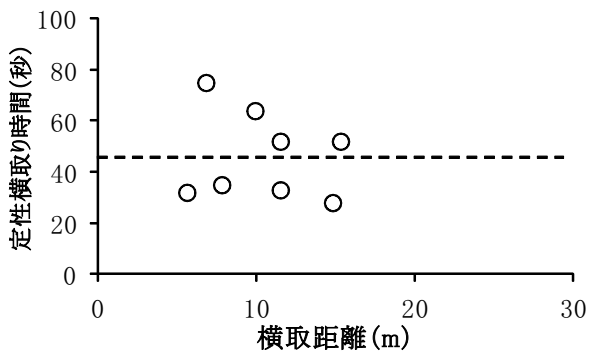


図-36 横取距離と定性横取り時間の関係
注) 点線は定性横取り時間の平均値を示す

- $t'4=20 \dots \dots \dots (18)$
- $t'5=39 \dots \dots \dots (19)$
- $t'6=24 \dots \dots \dots (20)$
- $t'7=2.1d+25.6 \dots \dots \dots (21)$
- $t'8=31 \dots \dots \dots (22)$
- $t'9=71 \dots \dots \dots (23)$
- $t'10=0.4d'+32.5 \dots \dots \dots (24)$
- $t'11=30.95e^{0.046d'} \dots \dots \dots (25)$
- $t'12=47 \dots \dots \dots (26)$
- $t'13=46 \dots \dots \dots (27)$
- $t'14=31 \dots \dots \dots (28)$

ただし、 $t'1$:空搬器張り上げ時間(秒)、 $t'2$:空搬器走行時間(秒)、 $t'3$:空搬器緩め時間(秒)、 $t'4$:索引き込み時間(秒)、 $t'5$:荷掛け時間(秒)、 $t'6$:実搬器張り上げ時間(秒)、 $t'7$:実搬器走行時間(秒)、 $t'8$:実搬器緩め時間(秒)、 $t'9$:荷はずし時間(秒)、 $t'10$:魚骨状横取り引き込み時間(秒)、 $t'11$:魚骨状横取り時間(秒)、 $t'12$:定性横取り引き込み時間(秒)、 $t'13$:定性横取り時間(秒)、 $t'14$:横取搬器固定時間(秒)、 d :集材距離(m)、 d' :横取距離(m)。

したがって、スイングヤード集材の列状間伐作業の合計作業時間は、(29)式のとおり集材距離で、魚骨状横取り作業の合計作業時間は、(30)式のとおり集材距離と横取距離で、定性横取り作業の合計作業時間は、(31)式のとおり集材距離で表せる。

$$\begin{aligned}
 t'r &= t'1 + t'2 + t'3 + t'4 + t'5 + t'6 + t'7 + t'8 \\
 &\quad + t'9 \\
 &= 2.4d + 276 \dots \dots \dots (29) \\
 t'gy &= t'1 + t'2 + t'3 + t'4 + t'5 + t'6 + t'7 + t'8 \\
 &\quad + t'9 + t'10 + t'11 + t'14 \\
 &= 2.4d + 0.4d' + 30.95e^{0.046d'} + 319.5 \dots \dots (30) \\
 t'ty &= t'1 + t'2 + t'3 + t'4 + t'5 + t'6 + t'7 + t'8 \\
 &\quad + t'9 + t'12 + t'13 + t'14 \\
 &= 2.4d + 380 \dots \dots \dots (31)
 \end{aligned}$$

ただし、 $t'r$:列状間伐作業合計作業時間(秒)、 $t'gy$:魚骨状横取り作業合計作業時間(秒)、 $t'ty$:定性横取り作業合計作業時間(秒)

(3) シミュレーションによる生産性比較

ここまでの解析から、シングル式による架設撤去作業時間推定式((8),(14)式)、作業道から30m以内のウインチ集材の生産性、スイングヤードによる列状間伐の作業時間推定式((29)式)、魚骨状横取り間伐の作業時間推定式((30)式)および定性横取り間伐の作業時間推定式((31式))が得られた。そこで、面積0.225ha(75×30m)、本数密度1,600本/haの林分において、列状間伐(以下、列状)、列状間伐+魚骨状横取り間伐(以下、魚骨状)、列状間伐+定性横取り間伐(以下、定性横取)の3パター

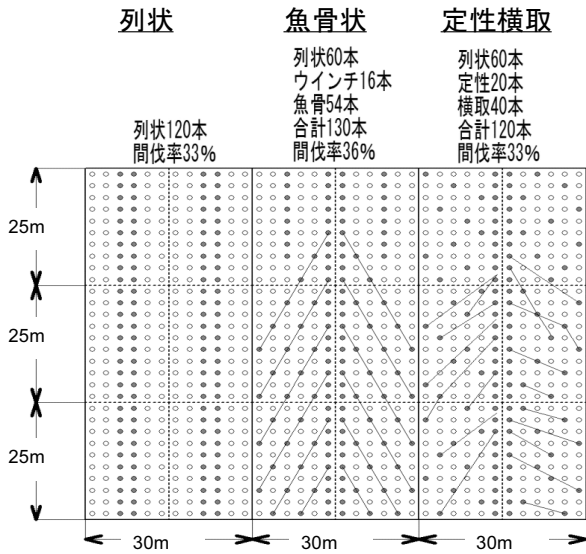


図-37 シミュレーション図

表-8 シミュレーション条件

	列状	魚骨状	定性横取
列状	2伐2列 120本	2伐1列 60本	2伐1列 60本
ウインチ集材	なし	25m以内 列状1伐2列 16本	25m以内 定性 20本
横取	なし	魚骨状 54本	定性 40本
合計処理本数	120本	130本	120本
間伐率	33%	36%	33%

ン(図-37)で集材を行った場合について表-8の条件で、架設撤去を含めた集材作業のシミュレーションを行った。架設撤去を除いた集材作業のシミュレーション結果を図-38に示す。集材生産性は、列状間伐が最も高く、定性横取間伐が最も低くなった。また、魚骨状横取間伐は、集材距離が短いときは、列状間伐と同程度の生産性であったが、距離が長くなるにしたがい、両者の差は広がった。これは、集材距離が短い時は、魚骨状横取作業本数が少ないため生産性の低下が小さかったが、集材距離が長くなるにつれ、魚骨状横取作業本数が多くなり、生産性の低下が大きくなったためと考えられた。次に、架設撤去を含めた集材作業のシミュレーション結果を図-39に示す。架設撤去を含めた集材生産性は、集材距離が55m未満であれば、魚骨状横取間伐が最も高くなり、集材距離が55m以上であれば、列状間伐が最も高くなった。定性横取間伐は、架設撤去を含めた場合も最も生産性は低くなった。列状間伐と魚骨状横取間伐は、集材距離が短いときは、架設撤去を除いた集材生産性に大きな差はなく、今回の条件では、列状間伐は魚骨状横取間伐より架設撤去を1回多く行うため、集材生産性の逆転が起こったと考えられた。しかし、集材距離が長くなれば、

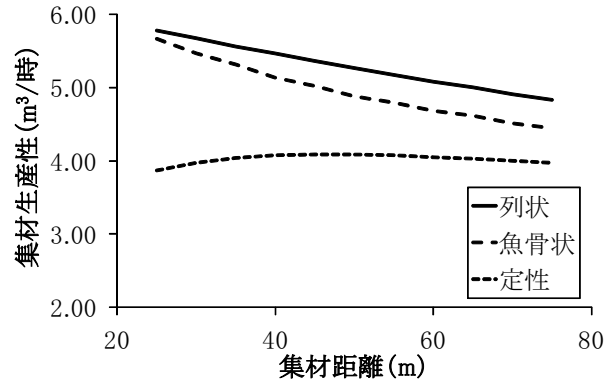


図-38 架設撤去を除いたシミュレーション結果

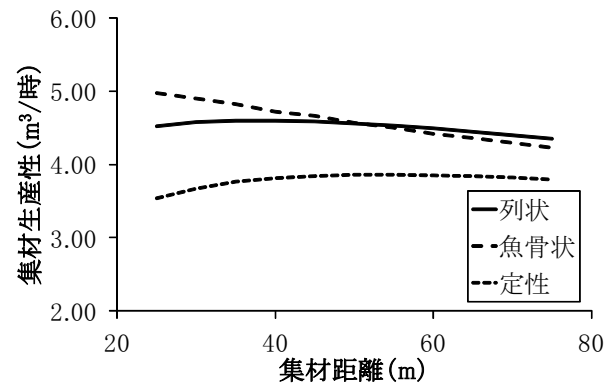


図-39 架設撤去を含めたシミュレーション結果

架設撤去を1回多く行うことによる生産性の低下よりも魚骨状横取作業を行うことによる生産性の低下の影響が大きくなるために、列状間伐の方が効率的な作業になると考えられた。このことから、スイングヤード適用範囲内である30~70mの中でも、30~55m未満では魚骨状横取間伐による集材を行い、55~70mでは架設撤去回数が増えるが、列状間伐による集材を行うことで生産性を高めることができると推測された。

IV おわりに

本研究では、架設撤去、横取り集材を含めた効率的なスイングヤード集材方法を明らかにすることを目的に、間伐作業の生産性調査を行った。その結果、安全で効果的なスイングヤード架設撤去方法を明らかにし、作業時間予測式を導出することができた。また、横取作業を含めた上げ木集材作業の作業時間予測式を導出することができ、架設撤去を含めた集材距離に応じた効果的なスイングヤード集材方法を明らかにすることができた。

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農林水産総合センター普及連携部普及推進課に深く感謝の意を表します。

V 引用文献

- 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.
- 溝上展也・阿南篤宜・岡田広行・井上昭夫・山下健一・小濱享（2004）スイングヤーダによる列状間伐と単木間伐の生産性比較－宮崎県椎葉村での事例－．日本林学会学術講演集115：580.
- 中澤昌彦（2016）高知県香美森林組合に導入されたけん引式タワーヤーダの生産性－上げ荷横取り集材作業の生産性－．機械化林業746：9-16.
- 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.
- 櫻井倫・姫野光雄・二元隆・仁多見俊夫・小林洋司（2004）スイングヤーダ列状間伐における作業システムの連携について．森林利用学会誌18（4）：245-248.
- 菅沼伸仁・石川知明・板谷明美（2014）スイングヤーダの木寄せ距離と作業時間ならびに経費との関係．中部森林研究62：131-134.
- 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.
- 山田容三・近藤稔（2010）架線系集材作業における先行集材システムと連携作業システムの生産性比較－熊本モデル林におけるスイングヤーダによる列状間伐事例－．森林利用学会誌25（1）：29-34.
- 山田容三・近藤稔・與儀兼三（2010）単線地曳き木寄せと索張り木寄せにおける荷掛手の生理的負担の比較－広島県三次市におけるスイングヤーダ木寄せの実験例－．森林利用学会誌25（4）：233-237.