

中型タワーヤードを使用した列状・魚骨状間伐の集材に関する研究

誌名	愛媛県林業技術センター研究報告 = Bulletin of the Ehime Prefectural Forest Research Center
ISSN	13489534
著者名	谷山, 徹 戸田, 正和 石川, 実
発行元	愛媛県林業技術センター
巻/号	22号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-8
発行年月	2004年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



中型タワーヤーダを使用した列状・魚骨状間伐の集材に関する研究

谷 山 徹・戸 田 正 和*・石 川 実

主索式の中型タワーヤーダを使用し、スギ人工林において、列状間伐(伐採幅約 5m、残存列幅 15m)と定性間伐の集材試験を行った。その結果、列状間伐は定性間伐に比べて約 1.6 倍の生産性となった。主索式タワーヤーダは、非主索式と比べ架設・撤去作業に時間を要するものの、架線高さを高く張ることで残存列の横取りが容易となり、生産性を高めることができた。また、定性間伐の横取りは、下荷より上荷で行うことで生産性が高められ、残存木の損傷率も $1/2 \sim 1/3$ 少なかった。架線高さが低い場合は、魚骨状(架線を背骨とみなし魚の骨状に伐採)に間伐することで横取りが容易となり、定性間伐と比べて集材の生産性を 1.3~1.5 倍高めることができた。

キーワード — タワーヤーダ、列状間伐、魚骨状間伐、定性間伐、残存木損傷

1. 緒言

近年、材価の長引く低迷により人工林の間伐が遅れ、形質不良木の増大、林床植生の消失による表土流亡や地力の減退が懸念されている。適正な森林管理を持続的に行うためには、高性能林業機械をはじめとする伐採搬出システムの改善と、育林・保育作業の省力化・機械化によるコスト低減が重要な課題である。

本県では、搬出・造材用機械を主に高性能林業機械が導入されつつあるが、機械の能力を十分に発揮させ生産性を向上させる機械作業システム、あるいは高性能林業機械に適した森林施業法はまだ確立されていない。そこで、地形が急峻な本県の地理的条件から、タワーヤーダとプロセッサの間伐作業システムに着目し、主索式中型タワーヤーダを用いて列状・魚骨状・定性間伐の集材試験を行い、伐採方法や作業システムの違いによる生産性比較、集材距離による生産性の推定、残存木の損傷について調査したので報告する。

なお、この研究は国補課題「機械化作業システムに適合した森林施業法の開発研究」(平成 9 年度~13 年度)の中で行った。

2. 調査場所および方法

列状間伐、定性間伐、魚骨状間伐の試験地の地況・林況を表-1、作業システムおよび作業概要を表-2に示す。以下、各試験地の設定方法を述べる。

2.1 列状間伐試験

列状間伐の試験地を愛媛県上浮穴郡久万町のスギ人工林(38 年生)に設置し、主索式のジャストタワーヤーダ(KCZ-150JH:K 機械:図-1)を用いて上荷集材の列状間伐試験を行った。タワーヤーダの緒元は表-3のとおりである。

列状間伐の設定は、伐採列幅約 5m(以下、列状区)、残存列幅約 15m とし、残存列は列状区の対照区として定性単木伐採を行った。調査は、列状区と

残存列の伐採木を上荷または下荷で横取り(以下、横取り上荷区および横取り下荷区:図-2)する場合の生産性、横取りによる残存木損傷を比較した。また、タワーヤーダの架設・撤収人工数と集材作業時間から集材距離に対する生産性を推定するとともに、プロセッサ作業の待ち時間を調査した。時間観測は、土場と先山にビデオカメラを 2 台設置し、作業内容と時間を記録した。

通常、架線高さが低い場合の索張り方向は、残存木損傷を少なくするために傾斜方向に設定し、等高線方向はできるだけ避ける(岡、1999)。列状間伐試験地の索張りは、架線高さをできるだけ高くし、横取り作業を容易にするため、作業道(幅員 4~5m)から

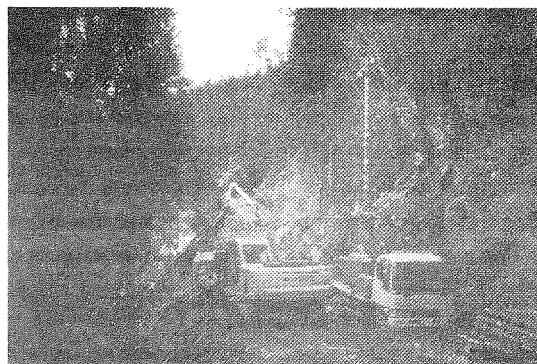


図-1 主索式の中型タワーヤーダとプロセッサ



図-2 列状間伐集材試験区の設定状況

* 現愛媛県今治地方局林業課

尾根に向かって等高線斜め方向に張った(図-3)。

伐採は先行伐採とし、集材はタワーヤーダオペレーター1人、先山荷掛け手1~2人の計2~3人で実施した。

2.2 定性間伐試験

単幹集材による定性間伐試験地を、同郡面河村のスギ人工林(42年生)に設定した。集材方法は、架線下まで全木横取り後、チェーンソー造材、タワーヤーダによる単幹集材とした。また、横取り方向を上荷と下荷に分け、集材の生産性を比較した(図-4)。

2.3 魚骨状間伐試験 1

同郡面河村のスギ人工林(38年生)に、魚骨状間伐試験地1を設定した。魚骨状間伐とは、架線を背

骨とみなし魚の骨状に伐採する方法である(図-5)。

魚骨状間伐は、架線からの横取り角度が重要であり、生産性や残存木の損傷に与える影響が大きい。一般に適正横取り角度は、横取り幅、障害物密度、地形傾斜、伐倒方向等により求められる(吉田ほか、1997)。また、残存木の損傷を回避するための集材作業条件として、伐開幅、横取り角度、集材木の長さ、架線高さおよび材の横滑りがあり、これらに適合する作業条件が求められている(後藤・田中、1993)。

これらの集材作業条件を含め、試験地の設定は、等高線斜め方向に索張りを行い(架線高約8m)、横

表-1 調査箇所の地況・林況

所在地		列状間伐試験地	定性間伐試験地	魚骨状試験地1	魚骨状試験地2
		久万町	面河村	面河村	久万町
地況	面積(ha)	1.8	0.5	0.4	0.3
	平均傾斜(度)	36	30	32	37
	最小標高(m)	1,012	675	620	685
	最大標高(m)	1,072	720	670	785
	地形の複雑さ	中庸(山腹)	中庸(山腹・谷)	中庸(山腹)	中庸(山腹)
	障害物密度	中	中	中	中
	地利(m)	90	100	60	70
林況	林種	人工林	人工林	人工林	人工林
	林齢(年)	38	42	38	36
	樹種	スギ	スギ	スギ	ヒノキ(一部スギ)
	胸高直径(cm)	21	20	20	15
	平均樹高(m)	16	19	20	13
	立木密度(本/ha)	2,415	2,250	2,556	1,785
	立木材積(m ³ /ha)	362	410	380	220
伐採方法	伐採形式	列状+定性	定性	魚骨状+定性	魚骨状+定性
	伐採材積(m ³)	235	65	58	24
	本数伐採率(%)	45	35	38	38
	材積伐採率(%)	36	32	33	36

表-2 作業システムおよび作業概要

所在地	列状間伐試験地	定性間伐試験地	魚骨状試験地1	魚骨状試験地2
	久万町	面河村	面河村	久万町
伐倒作業	チェーンソー	チェーンソー	チェーンソー	チェーンソー
集材作業	タワーヤーダ	タワーヤーダ	タワーヤーダ	タワーヤーダ
造材作業	プロセッサ	チェーンソー	チェーンソー	チェーンソー
極積み作業	プロセッサ	グラフ°ロッカー	グラフ°ロッカー	グラフ°ロッカー
組人数(集材人数)	5~6(2~3)	4(3)	4(2~3)	3(2)
平均スパン長(m)	160	110	68	145
平均有効スパン長(m)	145	80	60	100
平均支間傾斜(度)	12	8	8	12
集材木の上荷、下荷	上荷	上荷	上荷	下荷
集材木の形状	全木	単材	全木(一部単材)	全木(一部単材)
平均集材距離(m)	84	79	36	51
最大横取り距離(m)	18	20	24	14
平均横取り距離(m)	10	12	11	7
平均集材量(m ³ /回)	0.30	0.47	0.26	0.39
土場出材積(m ³)	188	55	48	22

表-3 中型タワーヤードの諸元

機 種	ジャストタワーヤード	ワイヤーロープ仕様 (破断荷重 ton f)
ベース車仕様		スカイライン 6×WS(31)IWRC% 特 (26.4)
車 型	KC-FC2JEAA(4t 車)	コントロールライン 6×FI(29)% 特 (6.35)
エンジン形式	J08C (PTO)	リフティングライン 6×FI(29)IWRC% 特 (6.9)
エンジン排気量	7,961cc	アンカーライン 6×FI(29)IWRC% 特 (43.2)
エンジン出力	200PS/2900rpm	ガイドライン 6×FI(29)IWRC% B (10.8)
燃料消費量 (集材中)	5 リットル/時	キャレージ
総重量	7,880kg	形式 JUSY-1
全 長	7,430mm	寸法 全幅 475mm
全 幅	2,185mm	全高 960mm
動 力	トラックエンジンから P.T.O 駆動	全長 1708mm
ドラム寸法 外径× 内径× 幅		重量 200kg
CLL ドラム φ770×φ216×240mm 2 基		巻上能力 1150kgf
SKL ドラム φ790×φ318×380mm 1 基		巻上速度 0~50m/min
ガイドライン用手巻ドラム		走行速度 0~150m/min
φ195×φ89×178mm 4 基		ドラム寸法
ワイヤーロープ 直径 × 長さ		LFL ドラム φ340×φ165×179mm
スカイライン 18mm × 350m 1 本		ELL ドラム φ445×φ410×88mm
コントロールライン 10mm × 1000m 1 本		リフティングライン φ10×50mm
ガイドライン 12mm × 30m 4 本		操作方式 無線
アンカーライン 24mm × 20m 1 本		タワー高さ 地上高さ 8.8m
直引力 1,150kgf 平均巻込直径 400mm		旋回角度 360 度
ロープスピード 150m/min //		集材距離 300m
駆動方式 油圧駆動		アウトリガー 4 基
操作方式 リモコン操作(単動、連動)		

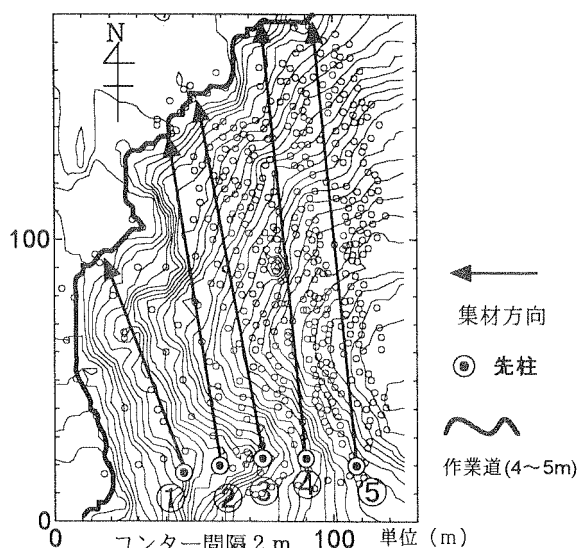


図-3 列状間伐索張り位置図

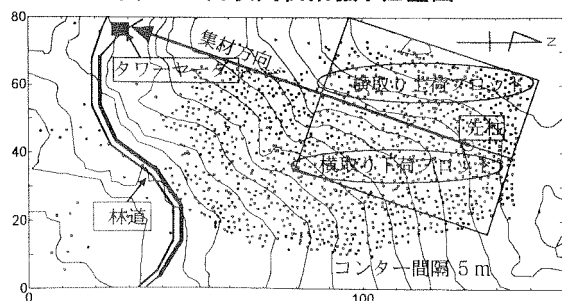


図-4 定性間伐(単幹集材)索張り位置図

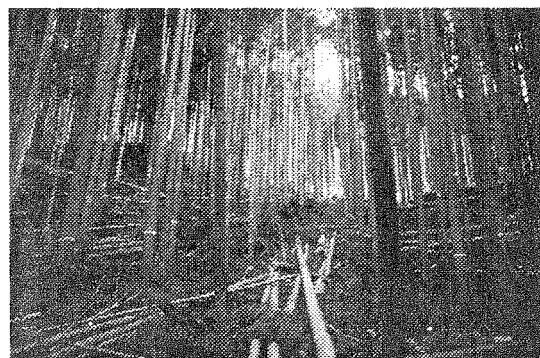


図-5 魚骨状間伐の伐採状況

取り幅約 15m、横取り角度 60 度、横取りを上荷および下荷で行う(以下、横取り上荷区、横取り下荷区)魚骨状間伐区(伐採幅約 2.5m、残存列幅約 5m)と定性間伐区を設けて生産性の比較を行った(図-6)。また、傾斜方向に架線を索張り替え(架線高約 5m)、横取り幅約 15m、横取り角度 20 度および 40 度(以下、20 度伐採区、40 度伐採区)の魚骨状間伐を設定し、横取り時間や生産性を比較した。

2.4 魚骨状間伐試験 2

魚骨状間伐試験地 2 は、同郡久万町のヒノキ人工林一部スギ(36 年生)に設定した(図-7)。試験地 1 では、元口側を荷掛けし横取りしたが、試験地 2 では梢側を荷掛け横取りし、架線下で荷掛け直し後、数本まとめて集材する方法とした。伐採方法は、架線に対し横取り角度約 60 度(横取り方向と集材方向のなす角)で伐採列幅約 2.5m、残存列幅約 5mの

魚骨状間伐と定性間伐とした。試験地のそれぞれの面積は、20m×45mの900 m²である。

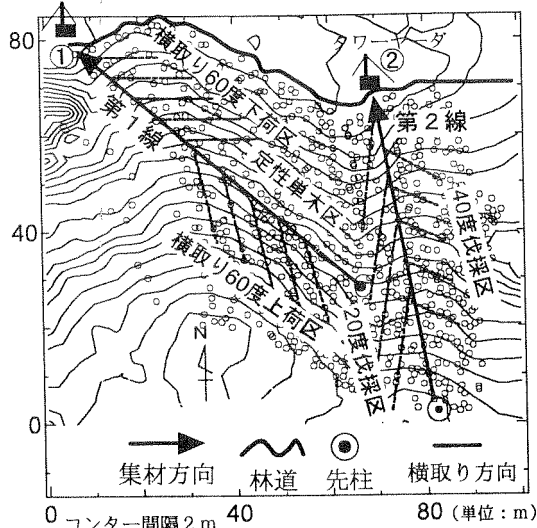


図-6 魚骨状間伐(1)索張り位置図

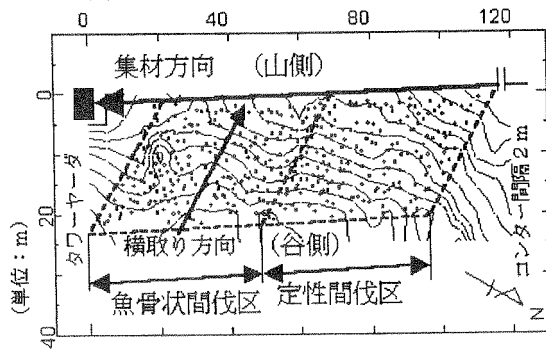


図-7 魚骨状間伐(2)索張り位置図

3. 調査結果と考察

3.1 列状間伐試験

3.1.1 列状間伐の生産性

列状間伐試験地の集材作業条件、生産性を表-4に示す。1 回当たりのタワーヤードの平均集材材積は、列状区 0.34m³/回>横取り上荷区 0.30m³/回>横取り下荷区 0.20m³/回の順で、集材の生産性は列状区 6.8m³/人・日(5.5 時間)>横取り上荷区 4.6m³/人・日>横取り下荷区 3.9m³/人・日となり、列状区は横取り上荷区および下荷区に比べて約1.6 倍の生産性となった。

3.1.2 列状間伐の集材における要素作業時間分析

搬器の空・実走行距離と走行時間の関係は、走行距離が長くなりに従い走行時間が長くなる傾向が示された(図-8)。特に、実搬器走行において走行時間が長くなり、搬器走行速度は空走行速度 154m/分(2.56m/秒)、実走行速度 116m/分(1.94m/秒)であった。

横取り上荷区・下荷区において、残存列の伐採木を荷掛け位置から架線線下まで横取りに要した時間(荷掛け後の待避時間、荷掛け材を荷掛け位置から架線下まで牽引する時間、荷掛け直し等の遅延時間の合計)と距離の関係を図-9に示す。全木材を線下まで横取りする時間は、横取り下荷の方が短く、

横取り上荷は下荷に比べてばらつきが大きい傾向となった。これは、荷掛け直しや荷掛け本数が多かったこと、残存木損傷回避のため搬器移動等を行ったことによるものと思われる。

次に、1 回当たりの集材材積と横取り速度の関係を図-10 に示す。横取り上荷は集材材積が多くなれば横取り速度が遅くなる傾向であったが、横取り下荷はばらつきが大きい結果となった。横取り下荷は、横取りが材の荷重により架線方向(下方)へ流れ、集材材積による横取り速度の変化が少なかったものと思われる。

横取り距離と横取り幅の関係を図-11、上荷による横取り角度と伐倒角度の関係を図-12 に示す。横取り上荷の平均横取り角度は、架線高さ約16mにおいて約68 度、横取り下荷には約64 度であった。また、上荷による横取り角度は伐倒角度よりやや鈍角であった。

表-4 列状間伐の作業条件及び生産性

面積 (ha)	1.8
立木密度 (本/ha)	2,415
胸高直径 (cm)	21
間伐率 (%)	40
スパン長 (平均)	160
支間傾斜角 (度)	12
平均集材距離 (m)	列状区 84 横取上荷区 87 横取下荷区 79
平均集材材積 (m ³ (本)/回)	列状区 0.345(2.4) 横取上荷区 0.303(1.8) 横取下荷区 0.204(1.6)
サイクルタイム (秒)	列状区 250 横取上荷区 321 横取下荷区 235
生産性 (m ³ /人・日)	列状区 6.8 横取上荷区 4.6 横取下荷区 3.9

注：1 日当たり実働5.5時間として計算

3.1.3 架設・撤去人工数の推定

架設・撤去にかかる作業組人数は概ね4人で、スパン長と作業人工数の関係を図-13 に示す。なお、作業人工数は1日5.5時間として計算した。

架設距離(LS:単位m)と架設人工数(TK:人)の間には

$$TK = 0.0211LS + 2.1626 \quad \cdots \cdots \text{式1}$$

の関係がみられた。

3.1.4 列状間伐集材作業時間の推定

大型タワーヤードを使った集材作業のサイクルタイム(1 回当たりの集材に要した時間)は、平均集材距離 100m~350m 支間主索の支間傾斜角 10~20 度の範囲では、平均集材距離により推定された(戸田ら、1998)。

今回は、中型タワーヤードを使用し、列状区、横取り上荷区・下荷区の集材作業時間を推定するため、図-8~13 の調査結果を参考にサイクルタイムを算出した。集材作業のサイクルタイムは一般的に式 2

により表される。

$$T = L \times (1/v_1 + 1/v_2) + h_1 \times (1/v_1 - 1 + 1/v_1 - 2) + h_2 \times (1/v_2 - 1) + h_3 \times (1/v_2 - 2) + r \times (1/v_3 + 1/v_4) + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_0 \quad \dots \text{式2}$$

T: 1サイクル時間(秒) L: 集材距離(m)

r: 横取り距離(m) h₁: 土場索高さ(m)

h₂: 先山索下げ高さ(m) h₃: 先山索上げ高さ(m)

v₁, v₂: 空、実搬器走行速度(m/秒)

v₁₋₁, v₁₋₂: 土場索上げ、索下げ速度(m/秒)

v₂₋₁, v₂₋₂: 先山索下げ、索上げ速度(m/秒)

v₃: 索引込み(荷掛け歩行速度)速度(m/秒)

v₄: 引寄せ(横取り)速度速度(m/秒)

t₁: 荷掛け時間(秒) t₂: 荷揚げ待避時間(秒)

t₃: 荷外し歩行時間(秒) t₄: 荷外し時間(秒)

t₅: 索上げ待避時間(秒)

t₆, t₇: 搬器クランプ、解除時間(秒)

t₀: 集材ロス時間(秒)

式2に調査結果を当てはめると

v₁=2.60

v₂=1.78(列状) 1.95(横取上荷) 1.98(横取下荷)

h₁/v₁₋₁=11.3 h₁/v₁₋₂=15.8

h₂/v₂₋₁=13.6 h₃/v₂₋₂=17.3(列状), 8.0(横取上下荷)

v₃=0.94(横取上荷), 0.87(横取下荷)

v₄=0.45(横取上荷), 0.51(横取下荷)

r=10.5(横取上荷), 8.8(横取下荷)

	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₀
列状	17.1	6.9	5.2	20.5	5.4	20.8	21.6	9.6
横取上荷	16.3	7.8	6.7	22.3	5.3	21	22.8	17.8
横取下荷	12.5	8.1	5.1	21.8	4	21	22.8	8.4

から

列状区 $T = 0.95 \times L + 165 \dots \text{式3}$

横取り上荷区 $T = 0.90 \times L + 170 \dots \text{式4}$

横取下荷区 $T = 0.89 \times L + 153 \dots \text{式5}$

となる。

以上の結果より、列状区、横取り上荷区・下荷区の集材距離に対する生産性を推定した(図-14: 実働時間を5.5時間/日として計算)。ただし、1回当たりの集材材積は平均集材材積とし

列状区: 0.345m³/回

横取り上荷区: 0.303m³/回

横取下荷区: 0.204m³/回

を用いた。

図-14より、集材距離150mにおける集材の生産性は列状区(3.0m³/人・日) > 横取り上荷区(2.1m³/人・日) > 横取下荷区(1.8m³/人・日)となった。

図-14の集材距離と生産性を参考に、伐区を矩形モデル化し、間伐面積3ha、出材積100m³/ha、横取り距離15m、実働時間5.5時間を条件とし、列状間伐等の集材生産性および経費を試算した。

その結果、スパン長約125~175mにおいて生産性が高く、スパン長150mにおける生産性は、列状区4.8m³/人・日、横取り上荷区4.0m³/人・日、横取下荷区3.5m³/人・日であった(図-15)。集材経費

は、スパン長約125m~225mにおいて経費が安く、スパン長150mにおける集材経費は、列状区6.3千円/m³、横取り上荷区7.9千円/m³、横取下荷区8.5千円/m³となり、列状区は横取り上・下荷区と比べ2~3割安い結果となった(図-16)。

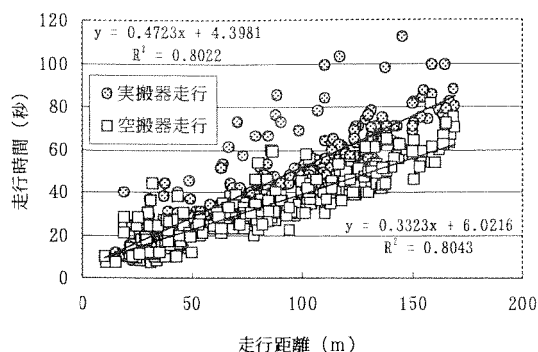


図-8 列状間伐の搬器走行距離と時間

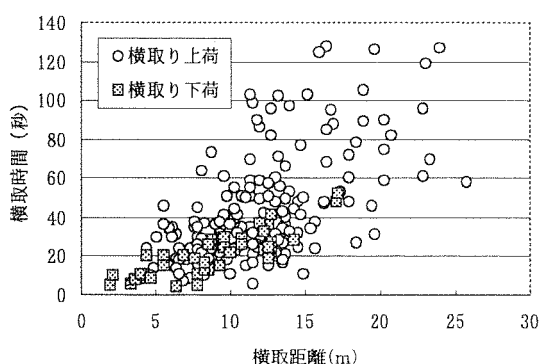


図-9 列状間伐の横取り距離と横取り時間

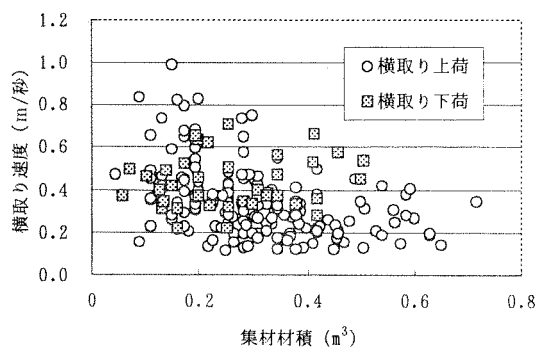


図-10 列状間伐の集材材積と横取り速度

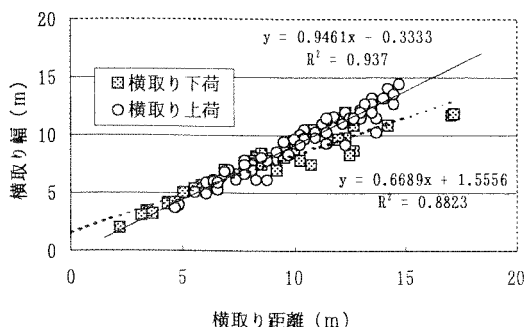


図-11 列状間伐の横取り距離と横取り幅

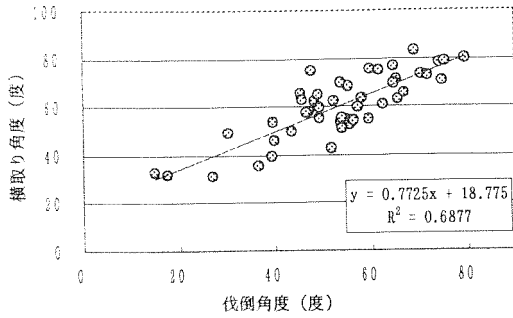


図-12 列状間伐の伐倒角度と横取り角度

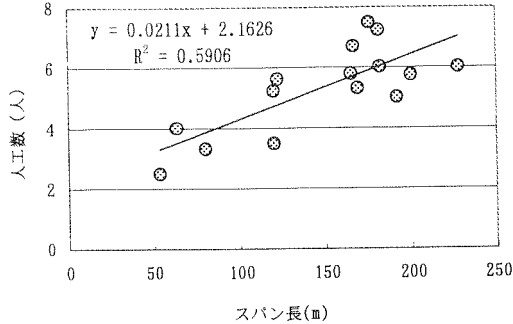
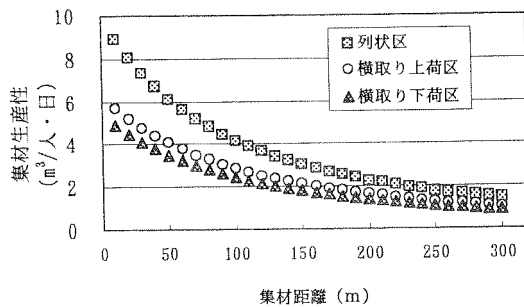
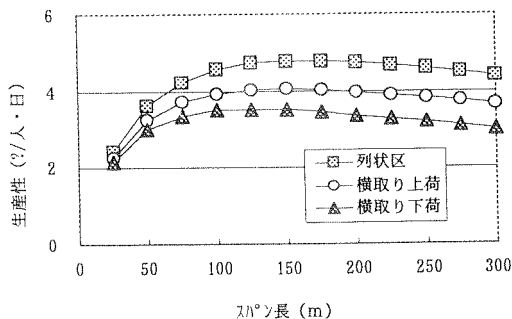


図-13 中型タワーヤード架設撤去人工数

図-14 列状間伐の集材距離と生産性
(架設・撤去含む)図-15 列状間伐のスパン長と生産性
(架設・撤去含む)

3.1.5 プロセッサの作業待ち時間

生産性の向上には、タワーヤードの集材とプロセッサ造材の相互の生産性を高めることが重要である。プロセッサにおける1本当たり造材・極積み処理に要する作業時間は、調査結果より概ね271秒(タワーヤードからプロセッサが造材作業を行う土場までの距離約30mの実移動を含む)であった。タワーヤード集材距離が100mを超えると、図-17に示すよ

うにプロセッサに作業時間待ちが生じ、残存列を横取りする場合はさらに待ち時間が長くなる結果となった。この待ち時間の短縮が作業効率向上の上から重要であり、作業システムの改良が必要となる(戸田ら、1998)。

プロセッサの作業待ち時間を少なくするためには、タワーヤード集材における1回当たりの集材量を多くすること、集材木を貯めておける作業スペースの大きさを確保すること、機械および作業員の配置を考える必要がある。また、能率の低い集材とプロセッサ造材を分離する「時間差作業」が有効である(中島ら、1999)。

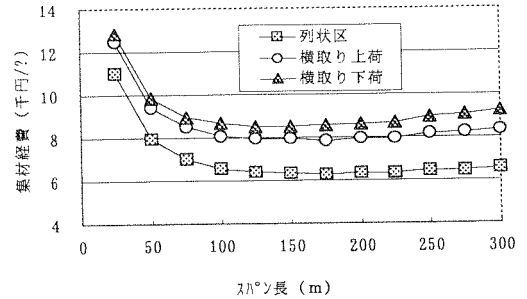


図-16 列状間伐のスパン長と集材経費

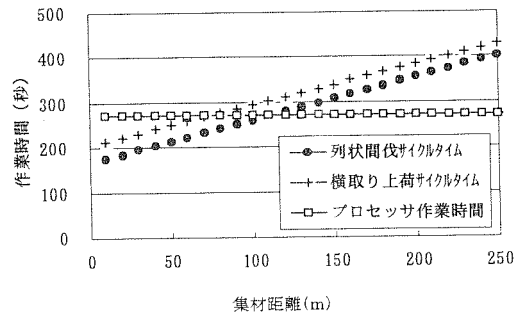


図-17 タワーヤード集材距離と作業時間

3.1.6 横取り作業の残存木損傷

残存列の横取りによる残存木損傷本数は、横取り下荷区は上荷区に比べて約2倍(横取り下荷区損傷率11%、上荷区損傷率6%)、損傷が所数では約3倍多く発生した(図-18)。また、横取り下荷区は残存木損傷位置も高く架線付近の林縁木に多く発生した(図-19)。損傷は、材の衝突やワイヤーのこすれによるものであり。等高線斜め方向に索張りをし、残存列を定性間伐する場合、横取り下荷幅と上荷幅をいくらとればよいのか、架線高さによる適正な横取り幅については、今後の課題として残った。

3.2 定性間伐試験

3.2.1 定性間伐の集材の生産性

集材の結果、定性間伐による集材の生産性は2.7 m³/人・日となり、列状間伐試験地の列状区と比べて約3/5倍、同試験地の残存列間伐区と比べて約4/5倍であった。生産性が低かった理由として、横取り作業と先山でのチェーンソーによる造材作業に時間を要したことがあげられる。

調査区別に横取り作業を見ると、1時間当たりの

横取りの生産性は横取り上荷区 $3.4\text{m}^3/\text{時間}$ 、横取り下荷区 $3.1\text{m}^3/\text{時間}$ となった。横取り上荷区が下荷区に比べて生産性が高くなったのは、荷掛け歩行時間、材の滑りや材の移動時間、架線下での玉切り時間、作業待ち時間が少なかったことによるものと思われる（図-20）。

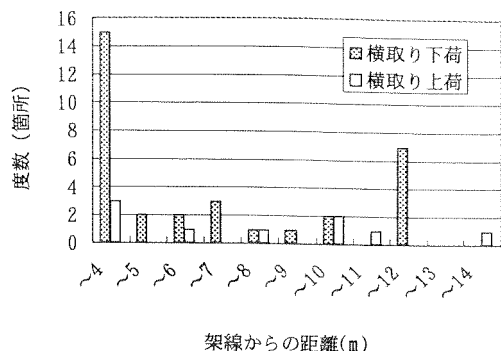


図-18 定性間伐による損傷位置
(水平分布: $1,000\text{m}^2$ 当たり)

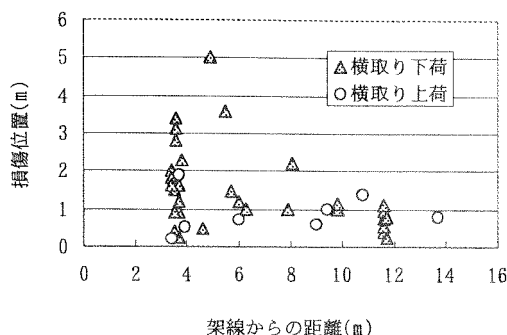


図-19 定性間伐による損傷位置
(垂直分布: $1,000\text{m}^2$ 当たり)

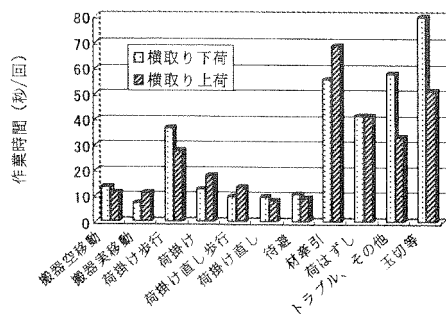


図-20 定性間伐による横取り要素時間

3.2.2 定性間伐の横取り作業における残存木損傷

調査の結果、横取り下荷区 35 か所（損傷割合 9.6%）、横取り上荷区 6 か所（損傷割合 3.2%）発生し、横取り下荷における損傷が多かった。

3.3 魚骨状間伐試験1の結果と考察

3.3.1 魚骨状間伐の生産性

調査伐区別の作業条件及び生産性を表-5に示す。第1線目の横取り方向別および定性単木伐採の生産性は、横取り上荷区 ($3.7\text{m}^3/\text{時}$) > 横取り下荷区 ($2.9\text{m}^3/\text{時}$) > 単木伐採区 ($2.3\text{m}^3/\text{時}$) の順となり、横取り上荷区は下荷区に比べて横取り時間が少ない結果となった（図-21）。また、第2線目の横取り

角度別の生産性は、20 度伐採区は 40 度伐採区に比べて横取り時間が少なく（図-22）、生産性は横取り 20 度伐採区 ($3.9\text{m}^3/\text{時}$) > 横取り 40 度伐採区 ($3.4\text{m}^3/\text{時}$) となった。

架線高さが低い場合、横取り角度が大きくなると荷掛け歩行、横取り距離は短くなるが、架線下での材の方向転換に荷掛け直しや玉切り等の遅延時間に多くの時間を要する結果となった（図-23）。

伐採方法の違い（列（ここでは魚骨状）・単木等）

表-5 魚骨状間伐の作業条件及び生産性

調査区内容	魚骨60度		定性単木		魚骨20度	魚骨40度
	横取り下荷	横取り上荷	横取り下荷	横取り上荷	横取り上荷	横取り上荷
架線番号	第1線	第1線	第1線	第2線	第2線	第2線
面積 (m ²)	476	542	396	604	463	
立木密度 (本/ha)	2,375	2,839	2,730	2,137	2,699	
平均胸高直径 (cm)	19.9	19.0	16.7	20.4	18.5	
平均樹高 (m)	20.9	20.5	19.8	21.1	20.4	
間伐率 (%)	31.0	27.9	37.0	36.4	33.6	
スパン長 (m)	80.5	80.5	80.5	53.4	53.4	
平均集材距離 (m)	21.6	60.0	53.9	29.0	37.5	
平均横取り距離 (m)	8.3	8.6	7.4	10.9	10.3	
索の平均高さ (m)	8.0	8.0	8.0	5.0	5.0	
平均集材材積 (m ³ /回)	0.218	0.317	0.207	0.302	0.288	
サイクルタイム (秒)	225	317	326	243	287	
生産性 (m ³ /hr)	2.92	3.71	2.37	3.95	3.41	
残存木損傷 (箇所/0.1ha)	29	6	20	5	7	

注意：生産性は平均集材距離50mとして計算した

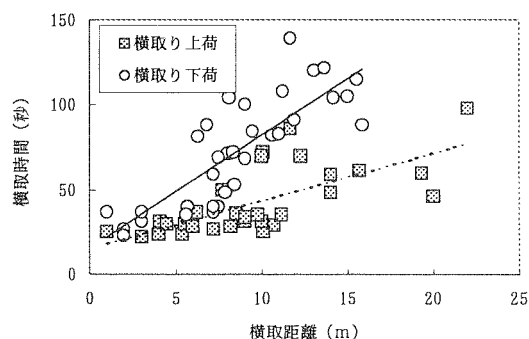


図-21 魚骨状間伐の横取り距離と時間

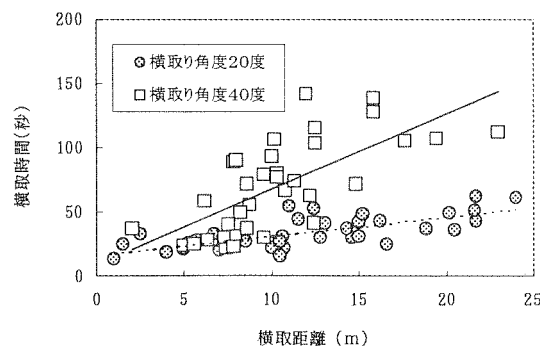


図-22 横取り角度別の横取り距離と時間

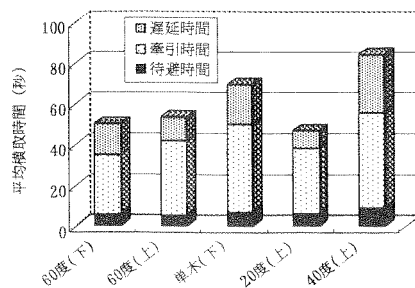


図-23 魚骨状間伐の横取り遅延時間

による横取り速度、遅延時間について、魚骨状は単木より横取り速度が速く、遅延時間は魚骨状が短く、また下荷より上荷の方が短い(吉田ら, 1998)結果と同様な傾向であった。

3.3.2 魚骨状間伐における残存木の損傷

横取り角度 60 度における横取り下荷の残存木損傷か所数は、横取り上荷に比べて約 5 倍多く発生した。これは、列状間伐試験と同様に材の激突やワイヤーのこすれによる損傷が原因である。

以上の結果から、魚骨状間伐は架線高さ(約 10m 以下)が低い場合、横取り角度を小さくすること(概ね 30 度以内)により横取りが容易であった。また、下荷より上荷で横取りする方が生産性も高く、残存木の損傷が少ないことがわかった。

3.4 魚骨状間伐試験2の結果と考察

3.4.1 魚骨状間伐の生産性

集材の結果、1 回当たりのタワーヤードの平均集材材積は、魚骨状間伐区 $0.29\text{m}^3/\text{回}$ > 定性間伐区 $0.17\text{m}^3/\text{回}$ 、生産性は魚骨状間伐 $1.9\text{m}^3/\text{時}$ > 定性間伐区 $1.3\text{m}^3/\text{時}$ となり、魚骨状間伐区は定性間伐区に比べて約 1.4 倍の生産性となった(表-6)。なお、調査伐区の平均集材距離は 65m として計算した。魚骨状間伐 2 では、横取り距離の短縮および 1 回当たりの集材材積を増すことで生産性向上につながった。しかし、荷掛け手の上下の荷掛け歩行や、荷掛け直しが多く発生した。

表-6 魚骨状間伐2の作業条件及び生産性

	魚骨状	定性
面積(m^2)	990	987
立木密度(本/ha)	1939	1632
胸高直径(cm)	15.6	15.7
間伐率(%)	38	35
平均集材材積(m^3)	0.387	0.158
平均集材本数	2.2	1.3
生産性(m^3/h)	1.9	1.3

3.4.2 魚骨状間伐における残存木の損傷

魚骨状間伐区では、伐採方向を上側とし梢を荷掛けして線下まで横取りする作業となり、線下で材を旋回する時、内側の残存木に集中して損傷が発生する結果となった。残存木の損傷を抑えるためには、旋回内側の残存木に保護具(土木用資材を利用したプロテクター等; 図-24)をつける必要があると思われる。

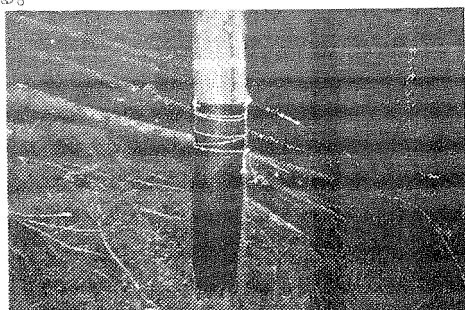


図-24 土木用資材を利用した保護具

4. 結言

今回調査した列状間伐や魚骨状間伐の試験結果から、次のことがわかった。

- ① 主索式のタワーヤードを使用し列状間伐を行うことで、定性間伐と比べ集材の生産性を約 1.6 倍高め、集材経費を安くできた。
- ② 伐区を矩形モデル化し、中型の主索式タワーヤードを使用した列状間伐の生産性と経費を試算すると、スパン長約 125~175m において生産性が高く、スパン長 125~225m において集材経費が安くなった。
- ③ 架線が低い(樹高より低い)場合は、魚骨状に間伐することで横取りも容易となり、定性間伐と比べ約 1.3~1.5 倍集材の生産性を高めることができた。ただし、横取り角度を鋭角(概ね 30 度以内)にするとともに、伐開幅、集材木の長さ、架線高さ、材の横滑りを考慮する必要がある。
- ④ 定性間伐の横取り方向別の損傷率は、下荷の方が上荷に比べて約 2 倍多く発生した。
- ⑤ 主索式タワーヤードは、架設撤去作業に時間を要することから、1 線当たりの集材量を多くし、生産性向上を図るため、列状間伐と魚骨状間伐をミックスした間伐方法を検討する必要がある。

謝辞—現地調査に当たり、快く集材作業及び時間観測調査等にご協力いただいた(株)「いぶき」の小原均氏、白川哲也氏、現場の社員の皆様、また、研究全般にわたってご指導をいただいた(独)森林総合研究所の井上源基領域長、岡勝チーム長、吉田智佳史研究官及び大型プロジェクト研究に携わってこられた道県の研究員の皆様に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 岡 勝(1999)機械化作業システムに適合した森林施業法の開発. 機械化林業 553:1-6.
- 後藤純一・田中憲司(1993)軽架線を用いた間伐材搬出方法の導入条件. 日林論 104:837-838.
- 戸田正和・谷山 徹(1998)大型タワーヤードを使った集材作業に関する研究. 愛媛県林試研報 19:41-51.
- 戸田正和・谷山 徹(1998)プロセッサによる造材作業について. 愛媛県林試研報 19:52-64.
- 中島嘉彦、芦田素廣、旦 良則、山岡嘉助(1999)高性能林業機械を用いた列状間伐と定性間伐の比較試験. 岡山県林試研報 15:1-6.
- 吉田智佳史・岡 勝・井上源基・戸田正和・山中千代志(1998)タワーヤードによる適正作業方法の解明(Ⅱ)—伐採方法の検討—. 日林論 109:449-450.
- 吉田智佳史・岡 勝・田中良明、井上源基・飯田富士雄(1997)タワーヤードによる適正作業方法の解明(Ⅰ). 日林論 108:445-448.