

森林管理総合情報整備提供のための間伐支援ソフト用データ収集

— 列状間伐による伐出作業システムの生産性及び林地残材（未利用材）の生産に関する調査 —

白石 立・今井 信*・宮崎隆幸・青柳智司・近藤道治

間伐の促進と、森林資源をエネルギーとして有効活用するために、①森林資源量調査、②素材と林地残材の生産調査、③タワーヤーダを利用したハイリード方式による伐出システム（信州型搬出法）の生産性調査④残存木損傷調査を実施した。

①森林資源量調査を18年生のカラマツ林で実施した。ha当たりのバイオマス量（乾重量）は素材部68%、生き枝と葉が21%、枯れ枝が11%だった。

②素材と林地残材の生産調査を、40年生のスギ林と47年生のカラマツ林で実施した。素材は、タワーヤーダ集材とプロセッサ（ウインチ付）集材の生産性を調査し、林地残材は、フォワーダ集材の生産性を調査した。林地残材の生産性は、40年生のスギ林では、素材の1/4で、47年生のカラマツ林では1/5だった。

③タワーヤーダを利用したハイリード方式による伐出作業システム（信州型搬出法）の生産性を調査したところ、伐倒～土場までの労働生産性は $5.19 \text{ m}^3/\text{人日}$ だった。過去の信州型搬出法の事例での労働生産性は、 $2.36 \text{ m}^3/\text{人日}$ と今回の1/2で、現場の作業条件により労働生産性が大きく変化することがわかった。

④残存木損傷率は、タワーヤーダ点状間伐による下げ荷集材の12.5%～14.5%に比べて4.4%と低かった。このことから列状間伐では点状間伐に比べ残存木の損傷を軽減できることが明らかになった。

キーワード：素材生産、林地残材生産、列状間伐、労働生産性

1 はじめに

森林の有する多面的機能の高度発揮を図るためには、間伐の実施や複層林施業の普及等により、多様で健全な森林の整備を着実に進める必要がある。本調査では、間伐作業システムの開発を通じて、森林環境保全、地域の活性化、林業振興に資することを目的とした。ここでは、森林資源量調査、列状間伐による素材生産と林地残材（未利用材）生産の生産性比較調査及びタワーヤーダを利用したハイリード方式による伐出作業システム（信州型搬出法）の生産性と残存木損傷の実態調査を行った。

なお、本調査は、(社)林業機械化協会委託事業「森林管理総合情報提供事業（間伐支援ソフト用データ収集）」（2005～2007）によるものである。

2 調査地の概要

(1) 佐久市（旧望月町）調査地

長野県東部の佐久市（旧北佐久郡望月町）の18年生カラマツ林で森林資源量調査を実施した。林分は東向きゆるやかな山腹平衡斜面で、林床

にはササが一面に繁茂していた（写真 2-1）。



写真 2-1 佐久市の調査林分

(2) 中野市調査地

長野県北部の中野市の民有林で、高社山（標高 1,351m）山麓の東斜面に位置している。平均傾斜は18度と比較的なだらかで、標高は750mである。調査林分はスギとカラマツが混交する45年生林分で、平均樹高23m、平均胸高直径29.2cm、ha当たり761本の立木が成立していた。

(3) 飯綱町-1 調査地

長野県北部の長野県上水内郡飯綱町の民有林で、飯綱山（標高 1,917m）山麓の西斜面に位置している。平均傾斜は24度と比較的なだらかで、標高

* 現 長野県松本地方事務所

は650mである。調査林分は40年生スギ林で、平均樹高20.5m、平均胸高直径20.4cm、ha当たり1,633本の立木が成立していた。このスギ林では過去に間伐作業は実施しておらず、収量比数0.88とかなり混み合い、形状比も100を超える林分だった(写真2-2)。



写真2-2 飯綱町-1の調査林分

(4) 飯綱町-2 調査地

飯綱町の47年生カラマツ林で、飯綱山山麓の東斜面に位置している。平均傾斜は19度となだらかで、標高は650mである。林分には林道が隣接している。

(5) 信州新町調査地

長野県北部の長野県上水内郡信州新町左右地区の40年生スギ林である(4林班ほ・に小班)。平均傾斜は20度と比較的なだらかで、標高750mである。近くに車道が通っているが、車道から林分まで40mほどの距離がある(写真2-3)。



写真2-3 信州新町の調査林分

3 調査方法

3.1 毎木調査

調査対象林分内にプロットを設定し、プロット内の立木の胸高直径と樹高を測定した。胸高直径は直径巻き尺を用い0.1cm単位で測定するとともに、樹高はバーテックス(ハグロフ社製、バーテッ

クスⅢ)を用いて0.1m単位で測定した。

3.2 森林資源量調査

プロット内の立木の胸高直径の頻度分布を参考に、プロット内から優勢木に相当する立木1本、中庸木2本、劣勢木1本、合計4本を地上高0.2mの位置で伐倒した。伐倒後は以下の手順で調査を行った。

①地上高1.2m、2.2m、3.3m・・・と幹を1mごとに玉切った。また、切り株のバイオマス量を測定するため、切り株を地際近くで切り離した。

②切り離した1mの層ごとに枝を切り落とし、生枝と枯れ枝を分け、生枝については葉をむしり取り、枝と葉に分けて生重量を測定した。また、枯れ枝についても生重量を測定した。

③1mの層ごとに生枝2~3本、葉100g程度、枯れ枝100g程度を選び出し、生重量を測定したあと林業総合センターに持ち帰った。

④幹の重量を測定した。

⑤地上高1.2m、2.2m、3.3m・・・の元口(地面に近い方)より厚さ5cm程度の円盤を採取し、生重量を測定したあと林業総合センターに持ち帰った。

⑥生枝、葉、枯れ枝のサンプルは85℃で3日間、円板は90℃で約1週間乾かし、絶乾重を測定した。

⑦サンプルの絶乾重量をもとに、ha当たりの絶乾重量(バイオマス量)を計算した。

3.3 時間観測調査

3.3.1 素材生産

(1)中野市調査地は、過去に3残1伐の列状間伐を実施した林分で、今回は残存3列の中央列を列状に伐採した。平均傾斜は18度と比較的なだらかではあるが、緩傾斜の区域と急傾斜の区域が混ざっているため、集材作業はタワーヤーダで行った。作業システムは、チェーンソー伐倒、タワーヤーダ集材、プロセッサ造材、フォワーダ小運搬だった。このうちタワーヤーダ集材作業について時間観測を行った(写真3-1)。

タワーヤーダ集材は、機械を1箇所固定したまま複数の列を間伐するハイリード方式(信州型搬出法)で実施した。



写真 3-1 集材作業(タワーヤーダ)

(2) 飯綱町-1 調査地は、多雪地域で、過密状態にある林分であるため、強度に間伐を実施すると気象災害発生の危険性があることから、間伐作業は3残1伐の列状間伐で行った。伐採立木と作業路の距離は最大で50m程度である。立木は作業路側(谷側)に伐倒するため樹高を差し引けば、搬出距離は最大で30mだった。このように搬出距離が短いため、集材作業はウインチ付きのプロセッサで行った。

(素材生産の流れ)



写真 3-2 伐採(チェーンソー)



写真 3-3 集材(プロセッサ)

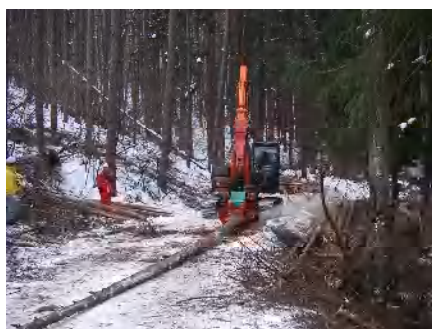


写真 3-4 造材(プロセッサ)



写真 3-5 集材(フォワーダ)

伐倒木がプロセッサのアームで届く範囲では、プロセッサが直接、アームの届かない範囲はプロセッサのウインチからワイヤーを引き出して集材を行った。

作業システムは、チェーンソー伐倒、プロセッサ集材、プロセッサ造材、フォワーダ小運搬である。各作業工程について時間観測調査を行った。(3) 飯綱町-2 調査地も、多雪地域で、過密状態にある林分で強度に間伐を実施すると気象災害発生の危険性があることから、間伐作業は3残1伐の列状間伐を行った。立木を林道側(谷側)に伐倒するとすべての立木が林道上のプロセッサ(イワフジGP40A)で届く範囲内だったため、林道までの集材はすべてプロセッサで行った。

作業システムは、チェーンソー伐倒、プロセッサ集材、プロセッサ造材、フォワーダ(イワフジU-4BG)による土場までの小集材(距離420m)である(写真3-2~5)。今回はすべての行程の作業時間観測調査を行った。

(4)信州新町調査地では、既設の車道から林分まで作業路を開設したのち間伐作業を実施した。作業はチェーンソー伐倒、タワーヤード（イワフジTY-U4）を利用したハイリード方式（信州型搬出法）による集材、プロセッサ（イワフジGP35A）造材、フォワーダ（イワフジU-4BG）による土場までの運搬（距離約 260m）である。今回は、伐倒～フォワーダに運搬までの一連の作業時間観測調査を行った。なお、間伐作業は3残1伐の列状間伐を行った。

3.3.2 バイオマス（枝条、端材、末材）生産

(1)飯綱町-1 調査地では、素材生産調査地で、素材を搬出したあと作業道周辺に残された、末木部、枝部、用材不適木等の集運材作業の時間観測を行った。作業は、作業路周辺の残材をフォワーダで集めて運搬し、土場に集積した。集積した残材をトラックに積み込み、約 25km 離れた長野市若穂にあるリサイクルセンター「神山緑地産業」まで運搬し、荷下ろしを行った。これら一連の作業を時間観測した（写真 3-6～11）。

（残材生産の状況）



写真 3-6 フォワーダへの積み込み



写真 3-7 搬出（フォワーダ）



写真 3-9 枝条等残材の土場集積場状況



写真 3-8 土場への荷卸状況



写真 3-10 トラックへの積込状況



写真 3-11 トラックからの荷卸状況

なお、リサイクルセンター「神山緑地産業」では、集まったバイオマスは、薪ストーブに利用可能なもの以外は、大型樹木破砕機で破砕してチップ化して堆肥生産している。

(1) 飯綱町-2 調査地では、用材を搬出したあと林道周辺に残されたバイオマス（枝条、端材、末木）集材作業の時間観測を行った。プロセッサで林道周辺に集積したバイオマスを、フォワーダのグラップルで集めて小集材（距離 420m）し、土場に集積した。集積したバイオマスをトラックに積込み、104km 離れた林業総合センターまで運搬し、積下しを行った。これら一連の作業を時間観測した（写真 3-12～15）。

3.4 バイオマスかさ密度と含水率の測定

3.4.1 かさ密度の測定

飯綱町-2 調査地において、フォワーダで土場までバイオマスを小運搬する際に、荷台に積込まれたバイオマスの縦・横・高さを測定して容積を求めた。

このうち、端材、末木の容積は、枝条に比べて少なかったため、全体の容積から端材、末木の容積を差し引いた結果を用いた。

土場に到着したバイオマスは枝条、端材、末木の3種類に分けて、それぞれを「もっこ」に乗せロードセルにより重量を計測した（写真 3-16）。

(バイオマス生産の流れ)



写真 3-12 集積（プロセッサ）



写真 3-13 積込み（フォワーダ）



写真 3-14 トラックへの積込み



写真 3-15 トラックからの荷卸し



写真 3-16 重量の測定

3.4.2 含水率測定

飯綱町-2 調査地で採取した枝条、端材、末材は、総合センターに到着した後、試料片を取り出し含水率を測定した。枝条は大小とりまぜ 10 本選び出し、それぞれ 500 g（生重量）程度を試験片として取り出した。一方、端材は大小とりまぜ 6 本、末材は 10 本を選び出し、厚さ 5cm 程度の試験片を取り出した。

取り出した試験片は生重量を測定したのち、90℃の乾燥機に入れ、枝条は 3 日間、端材と末材は約 1 週間乾かし、絶乾重量を測定した。

3.5 残存木損傷調査

信州新町調査地では、プロット内で伐倒や集材作業により発生した損傷の原因と損傷の大きさ（平均長さや平均幅）等を計測した。

4 調査結果

4.1 毎木調査

各調査地の毎木調査結果は、表 4-1 のとおりとなった。

4.2 森林資源量調査

伐倒した 4 本のバイオマス量は、植栽年度が同じにもかかわらず立木間に大きな違いがみられた。劣勢木のバイオマス量は著しく少なく、生き枝と葉の割合が小さかった。これは被圧により成長が抑制され、枝の枯れ上がりが進んだためと考えた。

伐倒した 4 本の調査結果から ha 当たりのバイオマス量（乾重量）を算出すると、素材部 65.0t、枝部 13.8t、葉 5.3t、枯れ枝 10.4t となり、素材がバイオマスの 7 割近く占めた。なお、生き枝と葉が 2 割、枯れ枝が 1 割占めた。

4.3 時間観測調査

4.3.1 素材生産

(1) 中野市調査地では、タワーヤードによる集材作業が 42 サイクル行われ、43 本を搬出するのに、3 時間 43 分を要し、生産性は、立木材積で 4.78 m³/人・時だった。時間観測調査結果の概要は、表 4-2 のとおりである。

表 4-1 毎木調査の結果

調査地	樹種	林齢 (年)	平均樹高 (m)	平均胸高直 径 (cm)	間伐前本数 (本/ha)	調査面積 (ha)	標高 (m)	地形傾斜 (度)	実施年度
佐久市(旧望月町)	カラマツ	18	14.4	16.8	1,075	0.04	1,055	10	H17
中野市	スギ	45	23.0	29.2	767	0.31	750	18	H17
	カラマツ								
飯綱町-1	スギ	40	20.5	20.4	1,633	0.12	650	24	H17
飯綱町-2	カラマツ	47	22.9	23.8	1,079	0.09	650	19	H18
信州新町	カラマツ	40	23.4	25.8	1,233	0.18	750	21	H19

サイクル数 (回)	本数 (本)	材積 (m ³)	時間 (秒)	作業人員 (人)	生産性 (m ³ /時・人)	1サイクル平均			
						本数 (本)	材積 (m ³)	搬出距離 (m)	サイクルタイム (秒)
42	43	35.54	13396	2	4.78	1	0.85	50.6	319

搬出作業時間 3 時間 43 分 (13,396 秒) の要素作業ごとの時間割合を図 4-1 に示した。作業時間の 30% を占めた「付帯作業」の内訳を図 4-2 に示した。

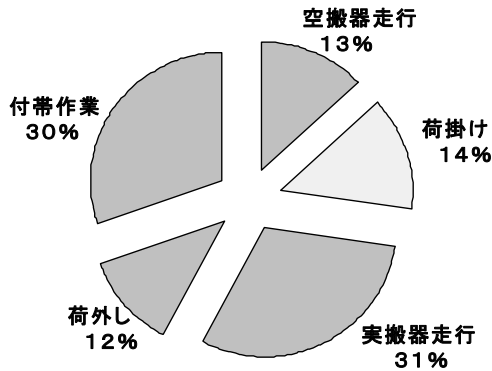


図 4-1 搬出作業の要素作業時間割合

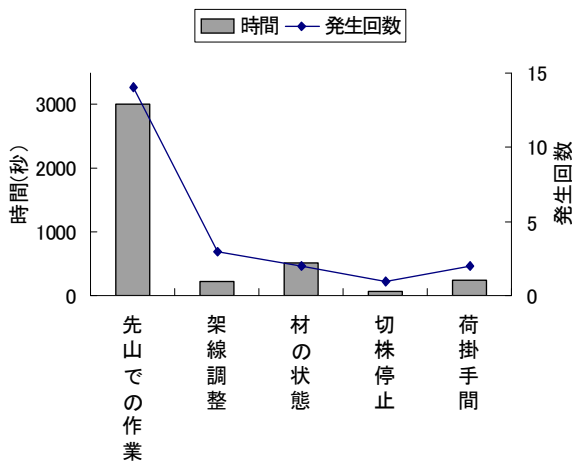


図 4-2 付帯作業の内容

「付帯作業」の中では 14 回発生した「先山での作業」が作業時間の 75% を占めた。「先山での作業」とは、先山での荷掛け作業時に、集材木の先端が搬出列からはずれて残存列内に入り、そのままでは搬出できないため、集材木を搬出列内へ引き出す作業（山へ引上げる作業）であり、伐倒時に伐倒木の先端が搬出列にあれば不要となる作業だった。

ここで「先山での作業時間」(50 分) を除くと、生産性は $6.15 \text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{時}$ となり、約 1.3 倍になる。このことから、列状間伐の集材作業では、伐倒時の伐倒方向が、搬出作業の生産性に大きく影響することが示された。

(2) 飯綱町-1 調査地でのチェーンソー伐倒、プロセッサ (ウインチ付) 集材、プロセッサ造材、フォワーダ小運搬の各作業工程の生産性は、表 4-3 のとおりだった。

表 4-3 調査結果の概要 (素材生産)

作業工程 (作業機械)	伐倒作業 (チェーンソー)	搬出作業 (ウインチプロセッサ)	造材作業 (プロセッサ)	小運搬 (フォワーダ)
生産性 ($\text{m}^3/\text{時}\cdot\text{人}$)	6.15	4.10	7.21	8.92

作業システムは、伐倒作業 2 名、ウインチ集材 2 名、プロセッサ造材及びフォワーダ小運搬各 1 名の並列作業、で実施された。

また、調査時は現地に約 50 から 60cm の積雪があった。その結果、伐倒作業の要素作業時間では、伐倒前の雪堀時間が 55% を占め生産性に大きく影響した。この雪堀作業時間を除くと、伐倒作業の生産性は $14.63 \text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{時}$ となり、2.4 倍になる。

(2) 飯綱町-2 調査地における時間観測調査結果の概要を表 4-4 に示した。

表 4-4 用材生産時間観測調査結果の概要 (飯綱町-2 調査地)

作業区分	材積 (m^3)	重量 (含水) (t)	サイクル数 (回)	平均運搬距離 (km)	作業時間 (秒)	生産性 ($\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{時}$)	1 サイクル平均			
							材積 (m^3)	重量 (t)	サイクルタイム (秒)	
チェーンソー伐倒	14.15	11.18	31	—	8,943	5.70	4.50	0.46	0.36	288
プロセッサ集材	14.15	11.18	31	—	4,627	11.01	8.70	1.27	0.36	149
プロセッサ造材	12.27	9.69	31	—	8,246	5.36	4.23	1.27	0.31	266
フォワーダ集材	12.27	9.69	4	0.42	7,349	6.01	4.75	1.27	2.42	1,837

①チェーンソー伐倒作業

プロット内では、3列で31本の立木を伐採し、樹種はカラマツ27本、アカマツ2本、スギ・トウヒが各1本だった。列ごとの伐倒本数は、1列目が12本、2列目が10本、3列目が9本だった。伐倒作業は、全木材31本、14.15 m³を伐倒するのに8,943秒(2時間29分3秒)を要した。

②プロセッサ集材作業

列ごとに林道側(谷側)に伐倒された立木を林道上のプロセッサ(イワフジG P40A)で林道と平行に集積した。集材作業は、全木材31本(14.15 m³)を集積するのに4,627秒(1時間17分7秒)を要した。

③プロセッサ造材作業

林道と平行に集積された全木材31本、14.15 m³を、林道上でプロセッサ(イワフジG P40A)により枝払い・玉切りを行った。2m、3m、4mの3種類の材長に玉切りを行い、2m材37本(1.99 m³)、3m材55本(3.73 m³)、4m材72本(6.56 m³)、合計164本(12.27 m³)の用材生産を行った。作業時間は、8,246秒(2時間17分26秒)を要した。

また、プロセッサは、造材作業中に用材とバイオマス(未利用材)の選別集積を特に行わず、普段同様、最後に林道上に残ったバイオマス(未利用材)を林道脇へ置いていた。

④フォワーダ集材作業

林道脇にプロセッサにより材長ごとに集積された材を、フォワーダ(イワフジU-4BG)により土場まで小集材(距離420m)を行った。164本(12.27 m³)の用材を4サイクルで集材し、7,349秒(2時間2分29秒)を要した。

(4) 信州新町調査地では、プロット内で3残1伐の列状間伐を3列実施して集材作業を行った。間伐率は28.8%だった。

時間観測調査結果の概要を表4-5に示した。

①チェーンソー伐倒作業時間

チェーンソーによる伐倒作業の時間観測の結果、生産性は立木材積で7.35m³/人・時だった。伐倒時間が46%、移動時間、かかり木処理時間がそれぞれ15%、その他作業時間が13%の順に高かった。その他作業時間とは、伐倒の際、危険やジャマになる枯れ木や雑木を処理した時間だった。

②架設作業時間

信州型搬出法によるタワーヤードの架設・張替・撤去作業の時間観測結果(架設については聞き取り調査の結果)、索撤去作業が3割、架設作業が7割を占めた。要素作業別の時間構成は、索人力引回しが37%、ジグザグ設置が17%、索人力引上げが16%の順に高かった。

③タワーヤード木寄せ作業時間

タワーヤードによる木寄せ作業の時間観測結果を、表4-5に示した。生産性は、立木材積で4.26 m³/人・時だった。要素作業別の時間構成は、実搬器走行時間27%、付帯作業時間が17%、荷掛け時間が14%の順に高かった。付帯作業では、伐倒列からゾレた伐倒木を先山で引き上げる作業が8回発生していた。遅延時間としては、ジグザグ滑車の脱索修復、8の字素輪の切断修復、集材時の枝がらみの処理、切り株処理がそれぞれ1回発生した。

④プロセッサ造材作業時間

プロセッサによる材の引寄せ及び造材作業の時間観測結果を、表-5に示した。生産性は、素材材積で6.13 m³/人・時だった。要素作業別の時間

表 4-5 時間観測調査結果の概要(信州新町調査地)

作業区分	材積 (m ³)	サイクル数 (回)	平均 運搬距離 (km)	作業時間 (秒)	生産性		1サイクル平均	
					(m ³ /人・時)	(t/人・時)	材積 (m ³)	サイクルタイム (秒)
チェーンソー伐倒	42.80	78	—	10,477	7.35	4.50	0.55	134
タワーヤード木寄せ	46.71	72	81.7	19,728	4.26	8.70	0.65	274
プロセッサ造材	33.59	84	—	19,716	5.36	4.23	6.13	235
フォワーダ集材	31.39	7	259.01	12,956	8.72	4.75	4.48	1,851

構成は、造材時間 34%、桧積み時間が 24%、木寄せ時間が 18%の順に高かった。(木寄せ時間とは、信州型搬出法により列ごとに集材・集積された材をプロセッサの作業ポイント付近まで移動するために必要な作業時間を指し、信州型搬出法の場合、木寄せ作業が必要となることが多い。)

⑤フォワーダ集材作業時間

フォワーダによる集材作業の生産性は、8.72 m³/人・時だった。要素作業別の時間構成は、積込時間 39%、荷下時間が 37%、空走行 14%、実走行 10%の順に高く、空走行時間が実走行時間を上回った。これは、作業路が順勾配で配置され、空走行では作業路上をバック走行したために、走行速度が低下したためだった。

⑥システム全体の生産性

完全直列作業でのシステム労働生産性は 5.19 m³/人・日が得られた。なお、伐倒及び木寄せの労働生産性は木材利用率 72%を乗じた値とした。

北信木材生産センター協同組合が行った間伐作業について実施した伐区調査では、信州型搬出法は、車両系機械の導入など他のシステムが不可能な場合で、最終的に実施していた。また、信州型搬出法は、地形傾斜 20 度以上、タワーヤードによる木寄せ距離 50~200m (平均 100m) で実施しており、その結果、システム労働生産性 1.46 m³/人・日~3.42 m³/人・日、平均値 2.36 m³/人・日だった。

信州型搬出法は、事前の山見により索張り方法の検討を十分行ってから伐倒作業に入ることが必要であり、現実の生産性は、今回得られた結果よりも少し下がる場合もある。

しかし、作業条件が良い場合(地形傾斜 20 度、タワーヤード木寄せ距離 82m、平行型の単純な索張り)であれば、5.0 m³/人・日以上値が得られることが示された。

(5) 生産性のシミュレーション

伐倒、架設、木寄せ、造材、集材の各作業工程で、要素作業時間と立木材積や木寄せ距離などの作業条件との関係を検討し、各工程の作業時間(サイクルタイム)算出式を求めた(表 4-6)。

①チェーンソー作業

伐倒作業時間では、立木材積と伐倒時間の関係が、1%水準で有意だったため立木材積を従属変数として伐倒時間の回帰式を算出し、それ以外の時間(移動時間、かかり木処理時間など)を定数項に加えてサイクルタイム式を算出した。これにより立木材積と労働生産性(素材材積)の関係を算定した(図 4-3)。

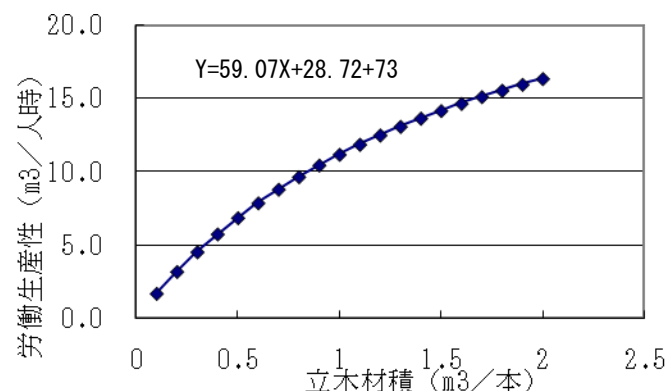


図 4-3 チェーンソー伐倒作業の労働生産性

②信州型搬出法

タワーヤード架設・張替・撤去作業架設及び撤去時間は定数とした。張替時間は、スパン長を変数として、索の人力引回し時間を算出し、ブロック架設・撤去時間や付帯作業時間定数項に加え、スパン長と張替本数による作業時間算出式とした。

③タワーヤード作業

空搬器走行時間は搬器走行距離と、実搬器走行時間は搬器走行距離及び立木材積との関係がそれ

表 4-6 各作業工程のサイクルタイム算出式

作業工程	作業時間 (サイクルタイム) 式	変数	
		X	Y
チェーンソー伐倒	サイクルタイム=59.07X+101.72	立木材積	
信州型架設・張替・撤去	架設時間=(7.86X+2,565)Y+15,077	スパン長	張替え本数
タワーヤード木寄せ	サイクルタイム=0.83X+10.59Y+201.3	搬器走行距離	集材量(立木材積)
プロセッサ造材	サイクルタイム=72.97X+197.38	立木材積	
フォワーダ集材	サイクルタイム=1.42X+1465.14	走行距離	

それぞれ1%水準で有意だったため搬器走行距離と立木材積を変数に、空搬器走行時間及び実搬器走行時間の回帰式を算出した。それ以外の時間（荷掛け・荷外し時間、付帯作業時間など）を定数項に加えてサイクルタイム式を算出した。これにより搬器走行距離及び立木材積と労働生産性の関係を算定した（図4-4）。

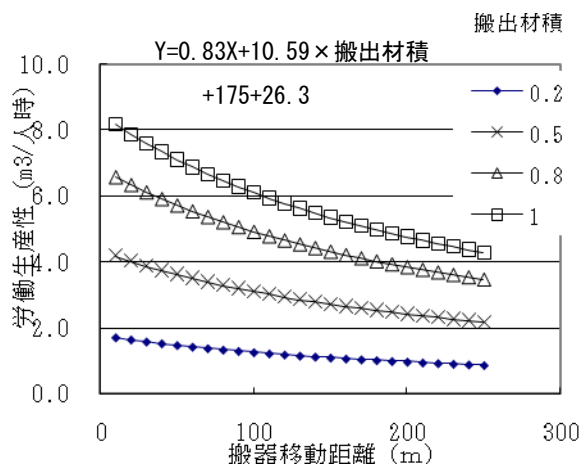


図4-4 タワーヤード木寄せ作業の労働生産性

④プロセッサ作業

プロセッサ作業時間のうち、造材時間は、立木材積との関係が1%水準で有意だったため、立木材積を従属変数に回帰式を求めた。造材時間以外の時間（木寄せ、桧積み、末木枝条整理など）は、定数項に加えてサイクルタイム式を算出した。これにより立木材積と労働生産性の関係を算定した（図4-5）。

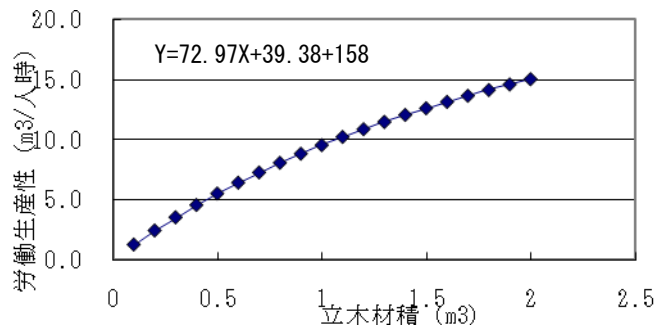


図4-5 プロセッサ造材作業の労働生産性

⑤フォワーダ作業

空走行時間及び実走行時間ともに、走行距離との関係が1%水準で有意だったため、走行距離を変数に回帰式を求めた。走行時間以外の時間（積

込、荷下時間など）は定数項に加えてサイクルタイム式を算出した。これにより走行距離と労働生産性の関係を算定した（図4-6）。

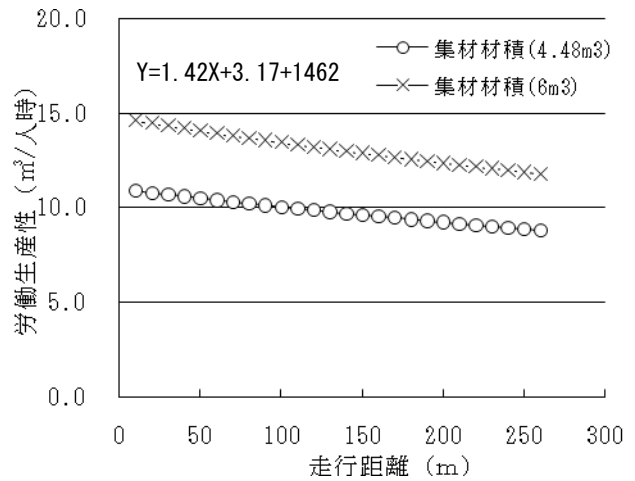


図4-6 フォワーダ作業の労働生産性

4.3.2 バイオマス（枝条、端材、末材）生産

(1) 飯綱町-1 調査地でのフォワーダ小運搬、トラック運搬による生産性は、表4-7のとおりだった。

表4-7 調査結果の概要（残材生産）

作業工程 (作業機械)	小運搬 フォワーダ	運材 トラック
生産性 (t/時・人)	2.36	2.12

*t(重量)は生(含水)

ここで、フォワーダ小運搬の素材の生産性は8.92 m³/人・時だったのに対し、残材生産の生産性は枝条の割合が多かったこともあり2.36t/人・時だった。素材の比重を1と仮定した場合、残材生産は素材生産に比べ0.26倍の生産性となる。

フォワーダ小運搬の要素作業時間を、素材生産と残材生産で比較した結果、残材生産は、素材作業に比べ積込作業時間の割合が高いが、荷下し作業時間の割合は低かった。残材生産の積込作業時間は、バラバラに放置された枝条をまとめてからつかむため、素材生産に比べて時間がかかると考えた。また、素材生産の荷下し作業は、材の種類による桧積みが必要になるが、残材生産の場合は、ただ積荷を下ろすだけの作業となるため作業時間

割合が低いと考えた。

(2) 飯綱町-2 調査地の用材を搬出したあと林道周辺に残されたバイオマス（枝条、端材、末木）の生産量を表 4-9 に示した。含水重量量は、2.169 t だった。内訳は枝条 1.499 t、端材 0.277 t、末木 0.393 t だった。

①バイオマス生産量

表 4-9 の結果から、1 ha 当りのバイオマス生産量を換算すると、含水重量 23.4t/ha、乾燥重量 12.1t/ha だった。

②フォワーダ集材作業

林道脇にプロセッサにより集積されたバイオマス（枝条、端材、末木）を、フォワーダ（イワフジU-4BG）により土場までの運搬（距離 420m）を行った。4 サイクルで運搬し、8,196 秒（2 時間 16 分 36 秒）を要した。

③トラック積込み、運搬、積下し作業

土場に集積したバイオマスをトラック付属のグラップルでトラックの荷台に積込みこんだ。22 回の積込み作業で 1,016 秒（16 分 56 秒）を要した。トラック運搬は、林道 0.2km、一般道 22.2km、高速道路計 81.6km、合計 104km を運搬し、5,985 秒（1 時間 39 分 45 秒）を要した。積下しは、積込み同様トラック付属のグラップルで行い、22 回の積下し作業を 687 秒（11 分 27 秒）で行った。

フォワーダ集材、トラック積込み、運搬、積下し作業の各作業は 1 名の直列作業で実施した。

また、バイオマスのフォワーダ集材作業、トラック積込み・運搬・積下しの時間観測調査結果の概要を表 4-10 に示した。

この結果、フォワーダ集材の用材の生産性は 6.01 m³/人・時だったのに対し、バイオマスの生産性は枝条の割合が多かったこともあり 0.95t/人・時だった。用材の容積重は、かさ密度（容積重）端材の測定結果から 0.79t/m³と推定でき、含水質量を指標とした用材の生産性は 4.75t/人・時と試算した。含水質量で比較した場合、バイオマスは用材に比べ 0.20 倍という低い生産性だった。

なお、全乾質量による生産性を積算した結果、用材は、2.88t/人・時、バイオマスは 0.49t/人・時となり、バイオマスは用材に比べ 0.17 倍とさらに低い生産性だった。また、平均サイクルタイムはバイオマスが 2,049 秒、用材が 1,837 秒でありそれほど差はないことから、積載重量の違いが生産性に大きく影響を及ぼしていると考えた。

④フォワーダ作業の要素作業別時間割合の比較

フォワーダ集材の要素作業別の時間割合を図 4-7 に示した。

各要素作業の時間割合は、積込み作業ではバイオマスが、積下し作業では用材の方が時間割合は大きかった。バイオマスの積込み作業は、プロセッサで林道周辺に集積したバイオマスをフォワーダのグラップルで集めてつかむため、用材に比べて

表 4-9 バイオマス生産量

部位	容積 (m ³)	含水重量 (t)	含水率 (%)	乾燥重量 (t)	かさ密度	
					含水(t/m ³)	乾燥(t/m ³)
枝条	18.13	1.499	49.60	0.755	0.083	0.042
端材	0.35	0.277	39.60	0.167	0.795	0.480
末木	0.40	0.393	50.90	0.193	0.978	0.480
全体	18.88	2.169	48.50	1.117	0.115	0.059

表 4-10 バイオマス（枝条，端材，末木）生産時間観測調査結果の概要

作業区分	材積 (m ³)	重量 (含水) (t)	サイクル数 (回)	平均 運搬距離 (km)	作業時間 (秒)	生産性 (m ³ /時・人)	生産性 (t/時・人)	1サイクル平均		
								材積 (m ³)	重量 (t)	サイクルタイム (秒)
フォワーダ集材			4	0.45	8196	8.29	0.95	4.72	0.54	2049
トラック積込み	18.88	2.169	22	—	1016	66.90	7.69	0.86	0.10	46
トラック運材			1	104	5985	11.36	1.30	18.88	2.17	5985
トラック積下し			22	—	687	98.93	11.37	0.86	0.10	31

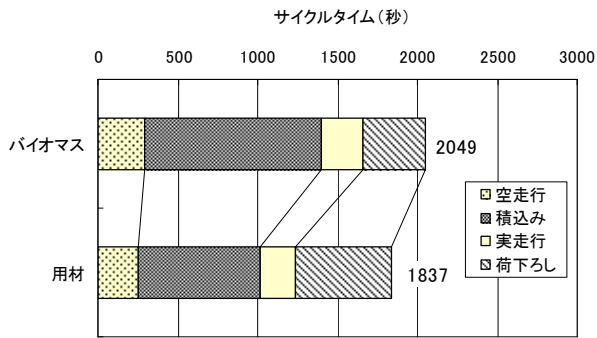


図 4-7 バイオマス及び用材の
フォワーダ作業の要素別作業割合

で時間がかかった。これはフォワーダのグラブプルでは端材などの積込みが行いにくいためと考えた。また、用材の荷下し作業は、材の種類による極積みが必要になるが、バイオマスの場合は、ただ積荷を下ろすだけの作業となるため作業時間割合が低いと考えた。この結果は、飯綱町-1 調査地の調査結果と同様だった。

4.4 残存木損傷調査

残存木の 4.4% に損傷が発生していた(表 4-11)。タワーヤード点状間伐による下げ荷集材の損傷率 12.5%~14.5% と比較して、残存木損傷率は極めて低く、点状間伐に比べ列状間伐では残存木損傷を軽減できることが今回の調査からも明らかとなった。また、過去に調査した信州型間伐法による残存木損傷は今回の調査結果とほぼ同じ 2.3% と 6.7% で、信州型搬出法の残存木損傷率は 5% 程度と考えられた。

表 4-10 残存木損傷調査結果

伐採前本数 (本)	間伐本数 (本)	間伐率 (%)	間伐後本数 (本)	損傷本数 (本)	損傷率 (%)	プロット面積 (ha)
222	64	28.8	158	7	4.4	0.18
(1,233)	(355)		(878)			

()ha 当たり本数で、単位は本/ha

5 まとめ

5.1 森林資源調査

佐久市で実施した森林資源調査において 1 ha 当たりのバイオマス量(乾重量)は、素材部 65.0 t、枝部 13.8 t、葉部 5.3 t、枯れ枝部 10.4 t 計 94.5 t だった。

5.2 生産性の比較

5.2.1 伐倒作業

伐倒作業の生産性は、34.20~44.10m³/人・日で、平均は 38.40m³/人・日だった(表 5-1)。伐倒作業は、調査時に 50 から 60cm の積雪あった飯綱町-1 の現場では、伐倒作業時間全体に占める雪掘作業時間が 55% に達した。

5.2.2 木寄せ作業

木寄せ作業は、プロセッサとタワーヤードを使用して実施した。

①プロセッサによる木寄せ

谷側伐倒で林道及び作業路に向けて伐倒された材をプロセッサを使用して木寄せする作業の労働生産性は、プロセッサ直取 66.06m³/人・日、プロセッサ直取+車載ウインチ使用 24.60m³/人・日だった。プロセッサで直接材をつかんで木寄せする方法は労働生産性が最も高かった。

②タワーヤードによる木寄せ

タワーヤードを使用した信州型搬出法は、25.56~28.68m³/人・日で平均 27.12m³/人・日だった。

タワーヤードを使用した信州型搬出法は、伐倒時に搬出列を外した作業をした場合、木寄せ作業時に集材材木を搬出列に戻す作業が必要となった。この作業時間は 50 分(3,000 秒)で、この時間を除くと労働生産性は約 1.3 倍となる。列状間伐は木寄せ作業を効率よくするために伐倒方向に注意して作業することが重要である。

5.2.3 造材作業

造材作業では、プロセッサをすべての調査地で使用した。度労働生産性は、32.16~43.26m³/人・日だった。

5.2.4 集材作業

フォワーダを使用した集材作業の労働生産性は、36.06~53.52m³/人・日で平均 47.30m³/人・日だった。労働生産性は、集材距離が短い調査地が高い結果となった。

5.2.5 バイオマスの労働生産性

素材とバイオマスの労働生産性は、含水質量では素材 28.5t/人・日、バイオマス 5.70 t/人・日

だった。全乾重量では、素材 17.28 t/人・日、バイオマス 2.94 t/人・日だった。バイオマスの労働生産性は素材の 1/5~1/4 という値になり、生産コスト等、バイオマスの利用を考える場合この労働生産性の低さが問題となると考える。

5.2.6 残存木損傷率

タワーヤーダ使用の列状間伐による下げ荷の残存木の損傷は、残存木本数 158 本のうち、損傷本数 7 本で、損傷率 4.4% だった。過去に調査した

タワーヤーダによる点状間伐下げ荷搬出の損傷率が 12.5~14.5% だった。また、過去の調査で、列状間伐の損傷率が 2.3~6.7% であったことから、点状間伐と比較すると列状間伐の損傷率は低い。

6 謝辞

本調査の実施に当たり、現場での作業を担当していただいた北信木材生産センター共同組合には大変お世話になった。ここに深く感謝申し上げる。

表 5-1 作業工程別労働生産性

実施年度	調査地名	単木材積 m ³	作業工程							
			伐倒 m ³ /人・日	木寄せ				造材 m ³ /人・日	集材	
				プロセッサ (直取) m ³ /人・日	プロセッサ(直取) + 車載ウインチ使用 m ³ /人・日	タワーヤーダ 信州型 m ³ /人・日	木寄せ 距離 m		フォワーダ m ³ /人・日	集材 距離 m
17	佐久市	0.17								
17	中野市	0.75				28.68 **(36.90)	51			
17	飯綱町-1	0.32	36.90 *(87.78)		24.60		最大 30	43.26	53.52	
18	飯綱町-2	0.53	34.20	66.06			—	32.16	36.06	420
19	信州新町	0.64	44.10			25.56	82	32.16	52.32	259
平均値			38.40	66.06	24.60	24.60		35.86	47.30	340

注) * () は、伐倒工程の時間観測調査結果から雪堀時間を除いた時間により算出した労働生産性の数値

** () は、木寄せ工程の時間観測調査結果から列からはずれた伐倒木を列内に引き出す「先山での作業」の時間を除いた時間により算出した労働生産性の数値

1 日当たりの労働時間は 6 時間とした。