

超高密度路網を基盤とする車両系伐出システムによる 間伐の労働生産性とコスト

澤口勇雄*・佐々木貴博**・立川史郎***・高橋健保*・菊地智久*・佐々木一也*

Labor productivity and costs of thinning with a vehicle logging system
based on hyper-density forest-road-networks

Isao SAWAGUCHI*, Takahiro SASAKI**, Shiro TATSUKAWA***, Takeyasu TAKAHASHI*
Tomohisa KIKUCHI* and Kazuya SASAKI*

1. はじめに

戦後造林地の成熟化や新興国の勃興などによる木材交易条件の変化などによって、国産材の供給量は平成14年度を境に僅かずつではあるが増大しつつあり、平成17年度には自給率が20%を越えた(6)。国産材の安定供給を図るための川上における重要課題として伐出コストの低減がある。しかしながら、伐出コストと密接な関係にある我が国の伐出労働生産性は依然低く、2005年農林業センサスによると $4.5\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ (概数値)とされている。一方、スウェーデンでは、2000年代中庸に $25\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ を越えたとされ(3)、また、ニュージーランドでは皆伐地で $30\sim 100\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ だったとする事例(9)、オーストリアでは緩傾斜地(～40%)で $30\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ 、急傾斜地(60%～)で $10\sim 20\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ という間伐の労働生産性も紹介されている(7)。我が国とは地形や立木の条件等が異なり一概に言えないが、先進林業国とりわけ平地林における高い労働生産性には驚かされる。しかしながら、オーストリアやドイツ等の山岳林業地に比較しても我が国の労働生産性が劣ることは明かであり、改善の余地は大きい。

林野庁は、我が国における伐出労働生産性を $10\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ に向上させることを当面の目標とし、全国で平成18年度から「低コスト作業システム構築事業」を展開している(5)。岩手大

Received January 19, 2009

Accepted February 13, 2009

* 岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター

** 岩手大学農学研究科農林環境科学専攻

*** 岩手大学農学部共生環境課程

学農学部御明神演習林は、「低コスト作業システム構築事業」のモデル林に選定されたことを機会に、「超高密度路網」と「ハーベスタ・フォワーダ」の車両系による伐出作業システムの開発に着手した。

本研究は、ハーベスタ・フォワーダ型の車両系作業システムを展開するために実施した試験の内、250m/haを越える超高密度路網を基盤に最大木寄（集材）距離を樹高程度とする伐出作業システム試験の労働生産性について報告するものである。

II. 試験地及び試験方法

1. 試験地の概要

試験地は、岩手大学農学部附属御明神演習林（岩手県岩手郡雫石町）第7林班わ2小班に設定した。試験は、平成19年10月下旬から11月上旬にかけての晴れ又は曇りの日に実施したので、気象による作業能率への影響はないと判断された。試験地は、列状間伐区1伐区（1伐3残）と定性間伐2伐区が連続する形で設定した（図-1）。試験地の林分概要を表-1に示す。

試験地面積はスギ人工林、林齢44年生に列状間伐区と定性間伐区あわせて0.71ha設定した。試験地全体の林分蓄積は582m³/ha、立木密度が1,519本/haなので、岩手県民有林スギ地位級3

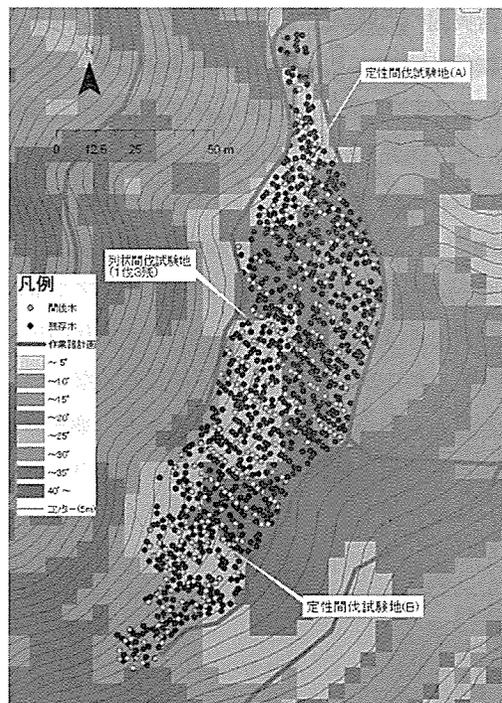
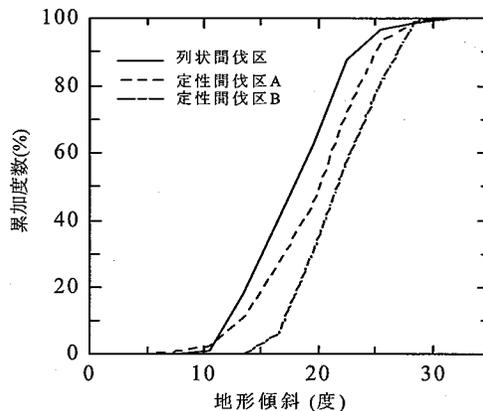


図-1 試験地の概要

表一 試験地の林分概要

林小班名	列状間伐区 (1伐3残)	定性間伐区A	定性間伐区B
樹種	スギ	スギ	スギ
林齢	44	44	44
面積 (ha)	0.33	0.20	0.18
平均地形傾斜 (度)	19.3	21.0	23.3
林分蓄積 (m ³ /ha)	632.1	554.3	520.9
立木密度 (本/ha)	1,545	1,486	1,509
間伐本数 (本)	136	72	82
間伐材積 (m ³)	57.15	20.21	25.15
間伐木平均幹材積 (m ³ /本)	0.42	0.28	0.31
間伐木平均胸高直径 (cm)	22.2	19.2	21.3
間伐木平均樹高 (m)	18.7	17.3	18.4
間伐率 (本数, %)	26.7	24.8	29.9
間伐率 (材積, %)	27.4	18.7	26.6



図一 試験地の地形傾斜の累積分布

に該当した(2)。間伐本数および間伐材積は、列状間伐区と定性間伐区を合わせて290本、102.5m³である。間伐率(本数率、材積率)は列状間伐区26.7%、27.4%、定性間伐区27.0%、22.2%だった。列状間伐の残存列は間伐していない。本数間伐率は列状間伐区、定性間伐区ともほぼ同率だった。材積間伐率は列状間伐区が定性間伐区に比べてやや高かった。列状間伐区の材積率は本数率に近似し、定性間伐区の材積率は本数率に比べて低かった。

地形傾斜の累積分布を図一2に示す。地形傾斜は7°~32°の範囲にあり、何れの伐区も平均20°程度で伐区間の差は小さく、中山的山岳林といえる(4)。

2. 試験方法

(1) 作業路網

試験地における計画路網密度は、既設作業林道 (55.3m/ha) と作業路 (210.2m/ha) の合計 265.5m/ha である。平成19年 5月～11月にかけて、当該区域に四万十式類似 (8) の全幅員約 3.5m の作業路を等高線沿いに、ほぼ50m間隔で5路線作設した。作業路間隔をほぼ50mとしたのは、路網からの最大木寄距離を樹高程度とすることにより、路上ではほぼ全ての間伐木を直接ハーベスタにより木寄することを可能にするためである。今回の試験対象地は、等高線作業路2路線に囲まれた伐区である (図-1)。

(2) 間伐作業パターン

間伐作業は列状間伐、定性間伐ともに下方伐倒・下荷木寄、上方伐倒・上荷木寄それぞれ1パターン、合計4パターン実施した。作業仕組、作業機の概要を表-2に示す。各作業工程に用いた作業機械は、伐倒；チェーンソー、木寄；ハーベスタとハーベスタ搭載ウインチ、造材；ハーベスタ、フォワーダ積込；ミニグラップル、運搬；フォワーダ、巻立；グラップルである。ハーベスタ搭載ウインチはハーベスタが直接木寄せできない場合に用いた。なお、本研究ではハーベスタから伐根までの最大到達距離が短いことから、集材作業と木寄作業の区分が困難なので、面から点への伐倒木の移動を木寄と定義した。フォワーダはグラップルを装着していないので、積込にはミニグラップルを用いた。荷下はフォワーダをダンプした。造材は末口径10cm上、長級4mで採材した。システムとしての要員数は3名である。

表-2 作業仕組と作業機械

工程	作業機	ベースマシン+アタッチメント	要員数
伐倒	チェーンソー		1
木寄	ハーベスタ ハーベスタ搭載ウインチ	CAT307B	1
造材	ハーベスタ	CAT307B+KETO51	
積込	ミニグラップル	PC35MR+GS-40LJ	1
運搬	フォワーダ	U-4S	
巻立	グラップル	PC78US+GS-65LHV	(1)

III. 結果と考察

1. 伐倒作業の労働生産性

表-3に伐倒作業の概要を示す。時間観測を行った伐倒本数は290本、伐倒幹材積は102.51 m³、36,185秒である。伐倒木の平均幹材積は0.38m³で、列状間伐が0.42m³/本、定性間伐が0.30m³/本だった。伐倒作業サイクルタイムは、列状間伐 (下方) の96秒/回が最短、最長は列状間伐 (上方) の196秒/回だった (表-3, 図-3)。伐倒作業サイクルタイムは間伐方法

よりも伐倒方向に影響された。列状間伐，定性間伐ともに下方伐倒が上方伐倒よりも短時間で行われた。伐倒方向がサイクルタイムに影響を及ぼした最も大きな要素は，矢打ちを含む伐倒（鋸断）時間である。すなわち，伐倒時間は，列状間伐（下方）58秒/本が列状間伐（上方）では125秒/本，同様に定性間伐では58秒/本が131秒/本と何れのケースも上方伐倒することで70秒/本前後増大した（図-3）。かかり木本数を伐倒本数で除したかかり木発生率は定性間伐（上方）25%，列状間伐（上方）6%，定性間伐（下方）と列状間伐（下方）が3.5%だった。かかり木処理に要した時間もほぼこの比率に対応し，定性間伐（上方）が18秒/本で最大，列状間伐（上方）が13秒/本で続いた。

以上の結果，伐倒作業の労働生産性（ $\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$ ）は列状間伐（下方）>定性間伐（下方）>列状間伐（上方）>定性間伐（上方）の順に， $15.7 \text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$ ， $9.4 \text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$ ， $7.8 \text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$ ， $6.0 \text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$ となった。なお，ここでの労働生産性は利用率（巻立量に対する伐倒量の割合，49.4%）を考慮しない値である。

図-4に間伐作業パターン別の伐倒木幹材積と伐倒時間の関係を示す。両者の関係を1次式

表-3 伐倒作業の概要

間伐方法	列状間伐		定性間伐	
	下方	上方	下方	上方
伐倒本数（本）	86	50	142	12
かかり木本数（本）	3	3	5	3
平均伐倒木幹材積（ $\text{m}^3/\text{本}$ ）	0.42	0.42	0.29	0.31
伐倒作業サイクルタイム（秒/本）	96	196	112	186
労働生産性（ $\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$ ）	15.7	7.8	9.4	6.0

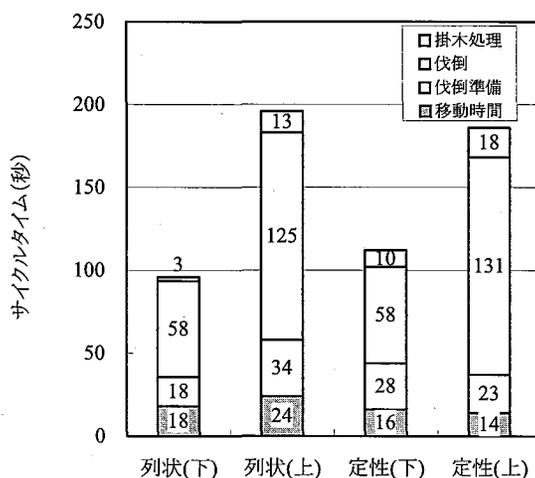
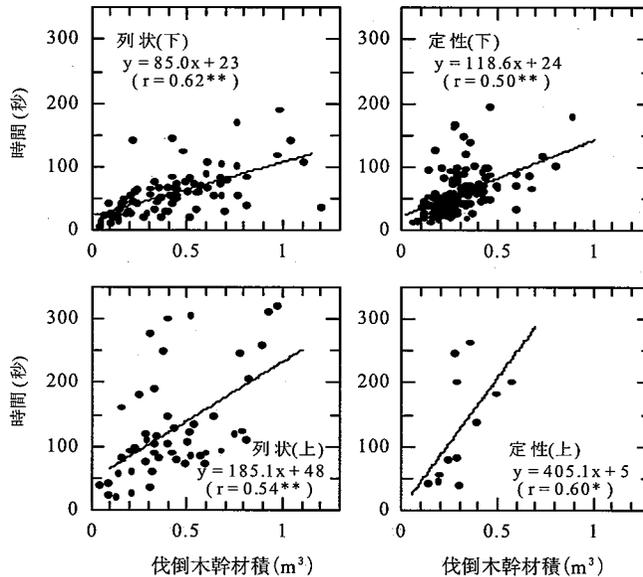


図-3 伐倒作業のサイクルタイム

回帰させたところ、何れのパターンも相関係数は1% (**) または5% (*) で有意だった。回帰係数は列状間伐(下方) < 定性間伐(下方) < 列状間伐(上方) < 定性間伐(上方) の順で小さいことから、伐倒時間の多寡が労働生産性に影響を与えたことが裏付けられるとともに、パターン間の立木幹材積の違いが労働生産性に与えた影響は小さいと言えた。



図一 4 伐倒木幹材積と伐倒時間の関係

2. 木寄作業の労働生産性

ハーベスタおよびハーベスタウインチによる木寄作業の概要を表一4～6に示す。本研究における木寄距離は、伐倒木の根張部がハーベスタヘッドまで移動する距離なので、ハーベスタ木寄距離は樹高から当該木が作業路にはみ出た距離を減じた長さにほぼ一致し、ハーベスタ木寄距離にウインチ木寄距離を加えたものがハーベスタから伐根までの距離にほぼ一致する。なお、本研究における距離は水平距離である。ハーベスタ木寄作業の時間観測は250サイクル(12,873秒)、ウインチ木寄作業は54サイクル(8,857秒)だった。木寄総本数は250本で、ウインチによるものが63本だったので、25%の伐倒木がハーベスタにウインチを併用した。定性(上荷)のパターンではウインチ木寄は行われなかった。

ハーベスタとウインチの最大木寄距離と平均木寄距離はそれぞれ、26mと13m、30mと11mだった。ハーベスタにウインチを加えた平均木寄距離は列状間伐(下荷)15m、列状間伐(上荷)12m、定性間伐(下荷)16m、定性間伐(上荷)15mだったので、定性間伐が列状間伐に比べて多少長めだったが、間伐作業パターン間に大きな差はなかった(図一5)。

ハーベスタの木寄作業サイクルタイムは、定性間伐(下荷)が46秒/本で最短、定性間伐

表-4 木寄作業（ハーベスタ）の概要

間伐方法	列状		定性	
	下荷	上荷	下荷	上荷
木寄方向				
サイクル数（回）	73	43	123	11
木寄本数（本）	73	43	123	11
木寄材積（m ³ ）	34.13	19.67	39.14	3.49
最大木寄距離（m）	25	21	25	26
平均木寄距離（m）	14.0	10.5	12.3	14.9
木寄作業サイクルタイム（秒/回）	51	63	46	72
労働生産性（m ³ /人・hr）	33.1	26.1	24.9	15.9

表-5 木寄作業（ウインチ）の概要

間伐方法	列状		定性
	下荷	上荷	下荷
伐倒・木寄方向			
サイクル数（回）	9	7	38
木寄本数（本）	11	7	45
平均木寄材積（m ³ /本）	0.57	0.42	0.36
最大木寄距離（m）	20	20	30
平均木寄距離（m）	7.3	10.4	11.5
平均索出速度（m/秒）	0.15	0.25	0.21
平均荷引寄速度（m/秒）	0.17	0.23	0.13
平均荷掛（秒/回）	23	19	10
平均荷卸（秒/回）	22	27	23
木寄作業サイクルタイム（秒/回）	159	138	168
労働生産性（m ³ /人・hr）	12.9	11.0	7.8

表-6 木寄作業の労働生産性

間伐方法	列状		定性	
	下荷	上荷	下荷	上荷
木寄方向				
サイクル数（回）	73	43	123	11
最大木寄距離（m）	35	35	50	26
平均木寄距離（m）	15	12	16	15
木寄作業サイクルタイム（秒/回）	71	87	98	72
労働生産性（m ³ /人・hr）	23.8	18.9	11.7	15.9

（上荷）が最長の72秒/本だった。間伐方法が同じ場合、下荷が上荷より短かった。ハーベスタ木寄距離とサイクルタイムの関係は列状間伐（下荷）で有意な関係が認められたが、それ以外のパターンではなかった（図-5）。ハーベスタ木寄作業全体では木寄距離とサイクルタイムに弱い相関関係が認められた（図-6）。

ウインチ木寄距離と索出と荷引寄を合計した時間には、何れのパターンも有意な相関関係が認められ（図-7）、木寄速度は列状間伐（上荷）>定性間伐（下荷）、列状間伐（下荷）だった（表-5）。ハーベスタとウインチを合わせたサイクルタイムは、定性間伐（下荷）>列状間伐（上荷）>定性間伐（上荷）、列状間伐（下荷）の順だった（表-6）。これは、定性間伐

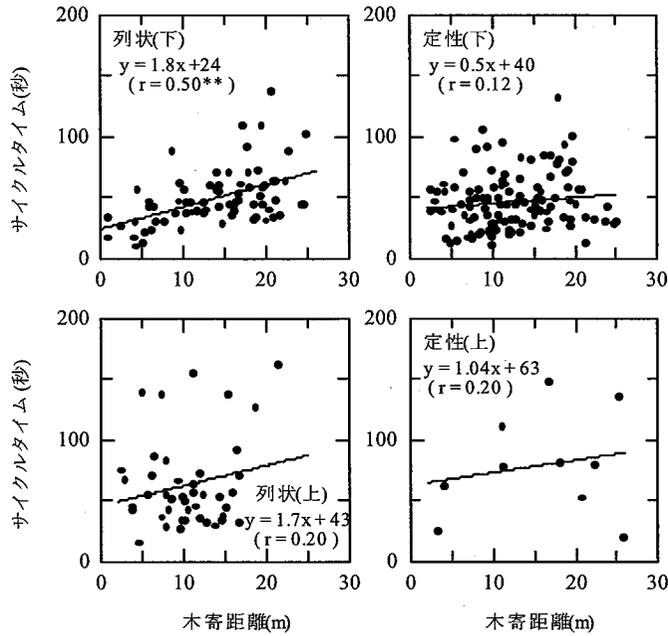


図-5 ハーベスタ木寄距離とサイクルタイムの関係(1)

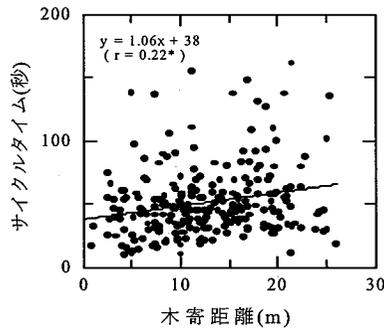
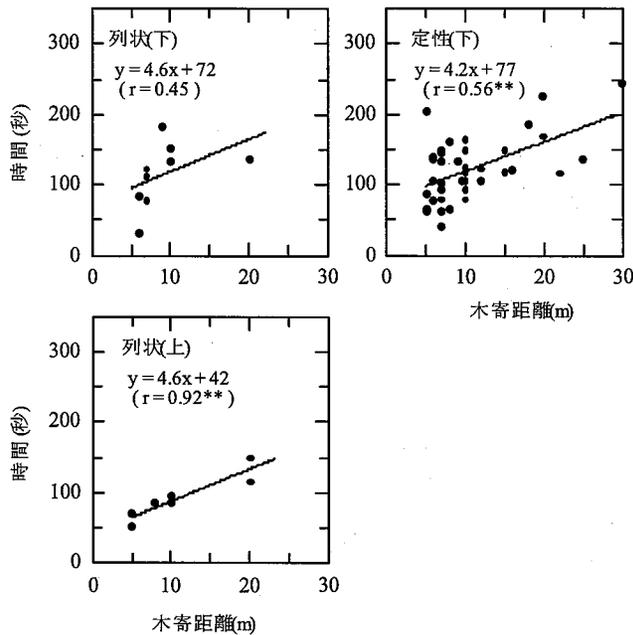


図-6 ハーベスタ木寄距離とサイクルタイムの関係(2)

(上荷)ではウインチ木寄がなく、定性間伐(下荷)は逆にウインチ木寄の比率が多く木寄距離も長かったことがサイクルタイムを増大させた原因である。

以上の結果、木寄作業の労働生産性 ($\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$) は列状間伐(下荷) > 列状間伐(上荷) > 定性間伐(上荷) > 定性間伐(下荷)の順で、それぞれ $23.8 \text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$, $18.9 \text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$, $15.9 \text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$, $11.7 \text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$ となった(表-6)。間伐作業システムパターンでサイクルタイムと労働生産性の関係が一致しないが、これは木寄幹材積の違いによる。なお、ここでの労働生産性は利用率(巻立量に対する木寄量の割合52.4%)を考慮しない値である。



図一七 ウインチ木寄距離と木寄時間（索出，荷引寄）の関係

3. 造材作業の労働生産性

ハーベスタ造材作業の概要を表一七に示す。造材作業の時間観測は248本（33,385秒），造材材積は51.28m³，丸太数560本である。造材作業サイクルタイムは，107～203秒/回で，極積・整理と鋸断が多く割合を占め，パターン別では定性間伐（下荷）＜列状間伐（下荷）＜定性間伐（上荷）＜列状間伐（上荷）の順だった（図一八）。木寄方向が同じ場合，列状間伐が定性間伐に比べてサイクルタイムが長いのは，造材丸太が一箇所に集中するために極積や枝条整理に時間がかかり増したことによる。図一九に造材木幹材積と鋸断時間の関係を示す。幹材積と鋸断時間に正の相関関係が認められた。

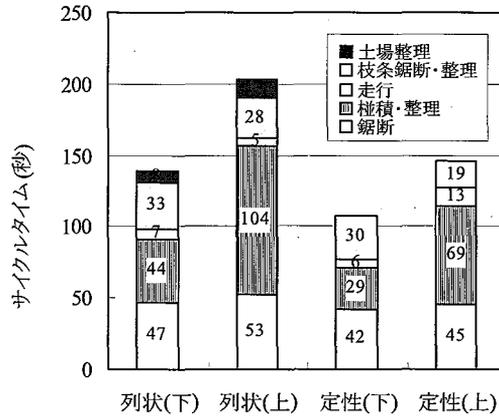
以上の結果，造材作業の労働生産性（m³/人・hr）は列状間伐（下荷）＞定性間伐（下荷）＞列状間伐（上荷）＞定性間伐（上荷）の順で，それぞれ6.5m³/人・hr, 5.7m³/人・hr, 4.4m³/人・hr, 3.9m³/人・hrだった（表一七）。パターン間でサイクルタイムと労働生産性の関係が一致しないのは幹材積が異なることによる。なお，ここでの労働生産性は利用率（巻立量に対する造材量の割合98.5%）を考慮しない値である。

4. 運搬作業の労働生産性

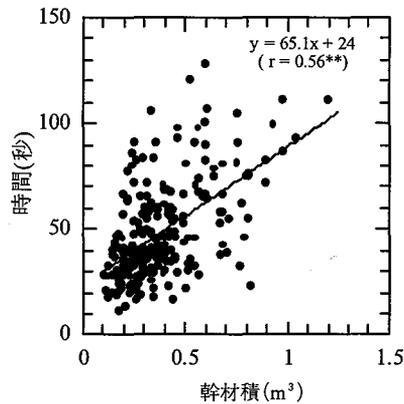
フォワーダ運搬作業の概要を表一八に示す。運搬作業の時間観測は間伐作業システム別には行っていない。時間観測した運搬回数は13回（25,555秒），運搬材積51.28m³，総運搬距離は空車（5,145m），実車（5,010m）である。運搬作業サイクルタイムは1,966秒/回，このうちミニグ

表一七 造材作業の概要

間伐方法	列状		定性	
	下荷	上荷	下荷	上荷
木材本数 (本)	72	42	123	11
造材材積 (m ³)	18.23	10.51	20.78	1.76
造材作業サイクルタイム (秒/回)	139	203	107	146
労働生産性 (m ³ /人・hr)	6.5	4.4	5.7	3.9



図一八 造材作業のサイクルタイム



図一九 造材木幹材積と鋸断時間の関係

ラップルによる積込が1,229秒/回で、運搬時間の62%を占めた (図一十)。走行は実走行と空走行を合わせて33%、荷下は1%に過ぎなかった。平均運搬材積は3.94m³/回、走行速度は空走行4,167m/hr、実走行4,503m/hrで実走行が空走行をやや上回った。これは、作業林道が順勾配で配置されていることと、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

たことによる。

ミニグラップルによる積込1回当たりの荷捆材積と積込時間の関係は相関関係が認められなかった(図-11)。このことは、1回当たりの荷捆材積をできるだけ多くすることが能率的なことを示している。1回当たりの積込本数は2本が42%、3本が31%で1本が16%だった。

以上の結果、運搬作業の労働生産性は $7.2\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$ だった(表-8)。なお、ここでの労働生産性は利用率(巻立量に対する運搬量の割合98.5%)を考慮しない値である。

5. 巻立作業の労働生産性

グラップルによる巻立作業は平坦な最終土場で行った。極数は1極である。時間観測は13,930秒、丸太本数563本、巻立材積 50.52m^3 、サイクル数は111回だった(表-9)。巻立作業の作業時間割合は極積73%、土場内での走行10%、荷捆7%だった。

以上の結果、巻立作業の労働生産性は $13.1\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$ だった(表-9)。

表-8 運搬作業の概要

運搬機械	フォワーダ
運搬サイクル数(回)	13
平均運搬材積($\text{m}^3/\text{回}$)	3.94
平均空走行距離(m)	396
平均実走行距離(m)	385
空走行速度(m/hr)	4,167
実走行速度(m/hr)	4,503
運搬作業サイクルタイム(秒/回)	1,966
労働生産性($\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{hr}$)	7.2

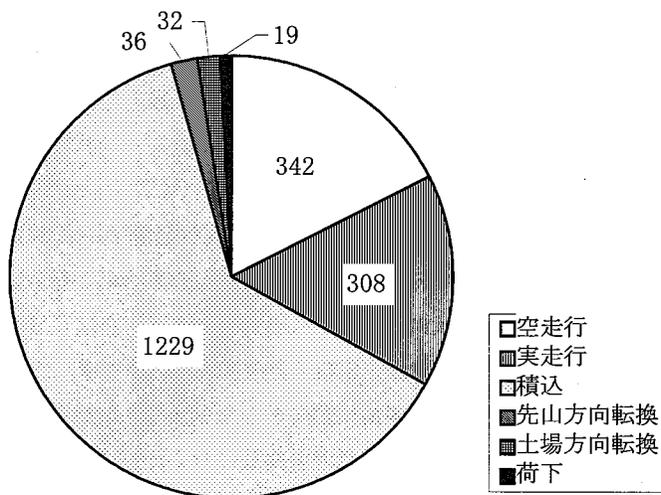


図-10 運搬作業のサイクルタイム

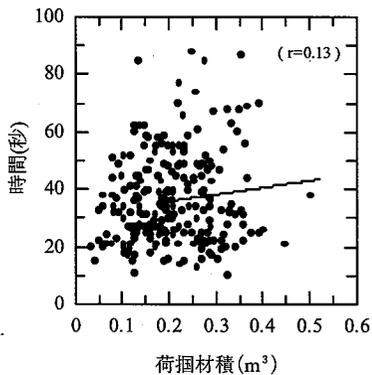


図-11 積込荷捆材積と積込時間の関係

表-9 巻立作業の概要

サイクル数 (回)	111
巻立材積 (m ³)	50.52
丸太本数 (本)	563
空走行 (秒)	804
実走行 (秒)	502
荷捆 (秒)	1,026
桎積 (秒)	10,198
選別 (秒)	547
土場整理 (秒)	853
巻立作業時間 (秒)	13,930
労働生産性 (m ³ /人・h)	13.1

6. 間伐作業システムのパターン別の労働生産性

間伐作業システムのパターン別の労働生産性を表-10, 11に示す。表-10は各作業工程における労働生産性から直接算出し、表-11は巻立材積をもとに利用率で補正した結果である。利用率補正を行うことで利用率の低い伐倒と木寄は直接算出した労働生産性のほぼ1/2に低下し、造材、運搬の労働生産性はあまり低下しない。この結果、利用率補正した総合労働生産性は補正前の約8割となった。

間伐作業パターン別の総合労働生産性(補正後)は、列状間伐(下方・下荷)が10.2m³/人・日で最も高い。次いで定性間伐(下方・下荷)7.8m³/人・日、列状間伐(上方・上荷)7.2m³/人・日、定性間伐(上方・上荷)6.6m³/人・日の順だった。最も高い生産性を示した列状間伐(下方・下荷)と定性間伐(上方・上荷)の総合労働生産性の差は3.6m³/人・日に達した。伐倒方向が同じであれば列状間伐は定性間伐に比べて生産性は高く、間伐方法が同じであれば下方・下荷が上方・上荷を上回った。

間伐作業パターン別の生産コスト(直接経費)を表-12、直接経費算出のための機械経費積算根拠を表-13に示す。生産コストは労働生産性の高低に一致し、列状(下方・下荷) < 定性(下方・下荷) < 列状(上方・上荷) < 定性(上方・上荷)で4,579円/m³~6,629円/m³の範囲に収まった。この経費は、直接経費のみなので実際には、間接経費を見込まなければならない。仮に間接経費を2割見込むと、伐出コストは5,494円/m³~7,955円/m³となる。

7. シミュレーションによる労働生産性の推定

間伐作業パターン別の労働生産性は伐倒、木寄、造材は異なり、パターンにとらわれず作業した運搬と巻立は同じ値になる。労働生産性に差異をもたらす大きな要因は立木幹材積と木寄距離と考えられる。したがって、ここでは両要因を変数にシミュレーションしパターン別の労働生産性を推定する。

シミュレーションのための伐倒サイクルタイムの回帰式は、伐倒木幹材積と伐倒時間の回帰

表-10 間伐作業パターン別の労働生産性(1)

区 分	列状間伐		定性間伐	
	下方・下荷	上方・上荷	下方・下荷	上方・上荷
伐倒 (m ³ /人・hr)	15.7	7.8	9.4	6.0
木寄 (m ³ /人・hr)	23.8	18.9	11.7	15.9
造材 (m ³ /人・hr)	6.5	4.4	5.7	3.9
運搬 (m ³ /人・hr)	7.2	7.2	7.2	7.2
巻立 (m ³ /人・hr)	13.1	13.1	13.1	13.1
総合労働生産性 (m ³ /人・hr)	2.1	1.6	1.7	1.4
総合労働生産性 (m ³ /人・日)	12.6	9.6	10.2	8.4

注) 1日当たりの労働時間は6時間とした。

表-11 間伐作業パターン別の労働生産性(2)

区 分	列状間伐		定性間伐	
	下方・下荷	上方・上荷	下方・下荷	上方・上荷
伐倒 (m ³ /人・hr)	7.8	3.9	4.6	3
木寄 (m ³ /人・hr)	12.5	9.9	6.1	8.3
造材 (m ³ /人・hr)	6.4	4.3	5.6	3.8
運搬 (m ³ /人・hr)	7.1	7.1	7.1	7.1
巻立 (m ³ /人・hr)	13.1	13.1	13.1	13.1
総合労働生産性 (m ³ /人・hr)	1.7	1.2	1.3	1.1
総合労働生産性 (m ³ /人・日)	10.2	7.2	7.8	6.6

注) 利用率補正した労働生産性である。

表-12 間伐作業パターン別の伐出コスト

区 分	列状間伐		定性間伐	
	下方・下荷	上方・上荷	下方・下荷	上方・上荷
伐倒 (円/m ³)	406	812	688	1,055
木寄 (円/m ³)	760	960	1,558	1,145
造材 (円/m ³)	1,485	2,210	1,697	2,501
運搬 (円/m ³)	1,388	1,388	1,388	1,388
巻立 (円/m ³)	540	540	540	540
コスト (円/m ³)	4,579	5,910	5,871	6,629

注) 利用率補正した労働生産性によるコストである。

式(図-4)に伐倒以外の固定的時間を定数項に加えたものである(表-14)。伐倒作業シミュレーション結果を図-12に示す。この結果によると、労働生産性は幹材積が0.25m³以上では列状(下方・下荷) > 定性(下方・下荷) > 列状(上方・上荷) > 定性(上方・上荷)となり、試験結果に一致した。ハーベスタ木寄の木寄距離と木寄時間の相関関係は、間伐作業パターン全体で関係が有り認められたので(図-6)、この結果からハーベスタの木寄サイクルタイム式を設定した(図-13, 表-14)。ウインチ木寄は木寄距離と木寄時間に相関関係が認められたので(図-7)、索速度と荷掛・荷下時間をもとに木寄距離を変数とするサイクルタイム式を決定した(図-13, 表-14)。造材は造材木幹材積と鋸断時間に正の関係が認められたの

表-13 機械経費積算根拠

機 械	区 分	チェーンソー	ハーベスタ	フォワーダ	グラップル	ミニグラップル
		ハスクバーナ	KETO	イワフジ	イワフジ	イワフジ
	製造元		KETO	イワフジ	イワフジ	イワフジ
	規 格	40ccクラス	KETO51	U4S	GS65	GS40
機械購入価格	(円)	160,000	17,000,000	9,500,000	10,000,000	5,500,000
耐用年数	(年)	3	7	7	7	7
年間使用時間	(時間)	900	1,000	1,000	1,000	1,000
燃料消費量	(ℓ/hr)	1	7	5	6	6
軽油価格	(円/ℓ)	130	130	130	130	130
利率		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
保険料等		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
固定費 (円/hr)	年間利子	3	255	143	150	83
	保険料等	4	425	238	250	138
減価償却・修理費 (円/hr)	減価償却費	59	2,429	1,357	1,429	786
	修理費	59	2,429	1,357	1,429	786
直接運転費 (円/hr)	燃料費	130	910	650	780	780
	潤滑油費	26	182	130	156	156
	維持費、洗浄費	375	375	375	375	375
小 計 (円/hr)		656	7,005	4,250	4,569	3,104
オペレータ経費 (円/hr)		2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
合 計 (円/hr)		3,156	9,505	6,750	7,069	5,604

で(図-9)、幹材積を変数に鋸断時間以外の時間を定数項に加えてサイクルタイム式を設定した(図-14、表-14)。運搬は運搬速度と運搬速度に関与しない要素作業時間から運搬距離を変数に設定した(図-15、表-14)。

表-14 各作業工程のサイクルタイム式

区分	列状間伐		定性間伐		変数
	下方・下荷	上方・上荷	下方・下荷	上方・上荷	
伐倒	$y=85.0x+61$	$y=185.1x+118$	$y=118.6x+78$	$y=405.1x+60$	幹材積
ハーベスタ木寄		$y=1.06x+38$			
ウインチ木寄	$y=12.50x+45$	$y=8.34x+46$	$y=11.76x+33$	—	木寄距離
造材	$y=65.1x+116$	$y=65.1x+174$	$y=65.1x+89$	$y=65.1x+125$	幹材積
運搬		$y=1.664x+1,315$			運搬距離

表-15にシミュレーションによる労働生産性を示す。シミュレーションの条件は、幹材積 $0.4\text{m}^3/\text{本}$ 、運搬距離 400m 、木寄距離および利用率は試験地と同じとした。定性間伐(上方・上荷)はウインチ木寄を行っていないことからシミュレーションから除外した。この結果、労働生産性は、実際の試験と同様の順番で列状(下方・下荷) > 定性(下方・下荷) > 列状(上方・上荷)で、それぞれ $9.48\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ 、 $8.88\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ 、 $6.96\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ だった。実際の試験では、定性間伐の幹材積は列状間伐よりも $0.12\text{m}^3/\text{本}$ 小さかったため、シミュレーションではこの分が補正され、定性間伐(下方・下荷)の労働生産性を若干向上させた。シミュレーションの結果、間伐作業システムパターンと労働生産性の関係を工程別に見ると、

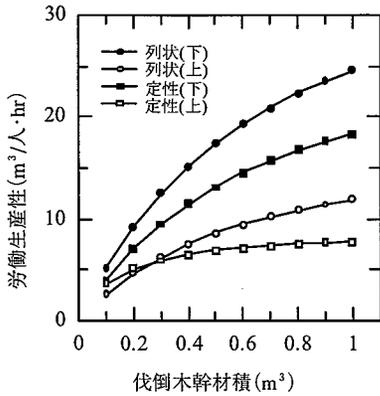


図-12 伐倒作業シミュレーション

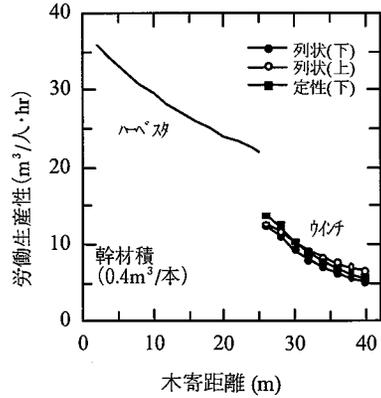


図-13 木寄作業シミュレーション

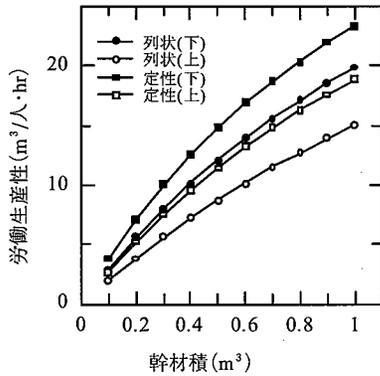


図-14 造材シミュレーション

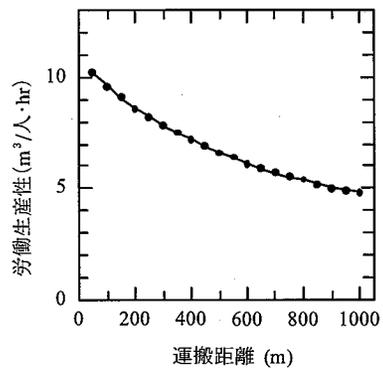


図-15 運搬作業シミュレーション

伐倒：列状（下方・下荷）＞定性（下方・下荷）＞列状（上方・上荷）

木寄：列状（下方・下荷）＞列状（上方・上荷）＞定性（下方・下荷）

造材：定性（下方・下荷）＞列状（上方・上荷）＞列状（下方・下荷）

だった。伐倒は間伐方法よりも伐倒方向，木寄と造材は間伐方法の影響が大きいことが明らかになった。

シミュレーションによる伐出コスト（直接費）を表-16に示す。間伐システムパターン別の労働生産性と伐出コストは逆で，伐出コストは列状（下方・下荷）＜定性（下方・下荷）＜列状（上方・上荷）の順で，5,040円/m³～6,377円/m³の範囲だった。

表-15 シミュレーションによる労働生産性

区 分	列状間伐		定性間伐
	下方・下荷	上方・上荷	下方・下荷
伐倒 (m ³ /人・hr)	7.5	3.7	5.7
木寄 (m ³ /人・hr)	10.6	8.7	7.7
造材 (m ³ /人・hr)	5.3	3.8	6.6
運搬 (m ³ /人・hr)	7.1	7.1	7.1
巻立 (m ³ /人・hr)	13.1	13.1	13.1
総合労働生産性 (m ³ /人・hr)	1.58	1.16	1.48
総合労働生産性 (m ³ /人・日)	9.48	6.96	8.88

表-16 シミュレーションによる伐出コスト

区 分	列状間伐		定性間伐
	下方・下荷	上方・上荷	下方・下荷
伐倒 (円/m ³)	422	855	555
木寄 (円/m ³)	897	1,093	1,234
造材 (円/m ³)	1,793	2,501	1,440
運搬 (円/m ³)	1,388	1,388	1,388
巻立 (円/m ³)	540	540	540
コスト (円/m ³)	5,040	6,377	5,157

IV. おわりに

山岳林の中齢級スギ人工林の間伐において、10m³/人・日の労働生産性を目標とする車両系伐出システムによる作業試験を行った。山岳林において、伐出労働生産性を向上させるためにクリアしなければならない条件はいろいろあるが、本研究ではフォワードによる短幹システムにおいて集材距離（木寄距離）を極力短縮することを主眼にして、超高密度作業路網を作設してシステムを試験した。

労働生産性のパターン別の優位性は、列状間伐>定性間伐、下方・下荷>上方・上荷だった。試験結果から得られたサイクルタイム式を用いて、立木幹材積0.4m³/本、運搬距離400m、木寄距離および利用率を試験地と同条件でシミュレーションした結果、労働生産性は、列状（下方・下荷）>定性（下方・下荷）>列状（上方・上荷）で、それぞれ9.48m³/人・日、8.88m³/人・日、6.96m³/人・日だった。利用率が49.4%と低い水準だったが列状間伐（下方・下荷）でほぼ目標の水準に達した。立木幹材積の増加や運搬距離の短縮、利用率の向上が期待できる場合、目標とする10.0m³/人・日の達成は十分可能である。

なお、本報告での伐出作業システムでは木寄距離をできるだけ短くするために作業路方向に伐倒した。このため、造材の際、伐倒方向側の林内に送材されることになり、残存立木への損傷が発生したが、このことに関しては既報した（1）。

引用文献

- (1) 平林慧遠・澤口勇雄・立川史郎 (2008) 超高密度作業路網を基盤とした高性能林業機械間伐作業による残存木への損傷. 岩手大学農学部演習林報告 39: 37~46.
- (2) 岩手県林業水産部 (1983) 岩手県民有林スギ収穫予想表等作成に関する基礎調査書.
- (3) Jan Fryk (2007) Log on! Innovations in Forest Operations. 3rd Forest Engineering Conference, Quebec, Canada.
- (4) 神崎康一・藤井禰雄・古谷士郎訳 (1988) 森林経営基盤整備の基本思想と計画. 325pp, 林土連研究社, 東京.
- (5) 林野庁 (2007) 平成19年度林野庁予算の重点事項. 機械化林業 640: 3~20.
- (6) 林野庁 (2008) 平成20年版森林・林業白書. 172pp, 日本林業協会, 東京.
- (7) 白井裕子 (2007) オーストリアの林業機械化と伐出作業システム. 森林利用学会誌 23: 197~204.
- (8) 田邊由喜男監修 (2008) 図解 これならできる山を育てる道づくり—安くて長もち, 四万十式作業道のすべて—. 157pp, 農山魚村文化協会, 東京.
- (9) 矢野俊夫 (2008) ニュージーランド林業の今. 森林技術797: 12~18.