

# 効率的な皆伐作業システムの構築

高野毅\*、小山泰弘、百瀬浩行、大矢信次郎

県内人工林は資源として利用可能な収穫時期を迎え、皆伐再造林が進みつつある。県営林でも皆伐施業に向けた検討がされているが、現在、事業の設計積算に用いている「素材生産設計システム」は、間伐作業に対応したシステムであるため、皆伐及び近年普及し始めている伐採から造林までの一貫作業システムには対応していない。そこで伐採造林一貫作業等の工期調査を行い、皆伐版の素材生産設計システムを調製した。

なお、事例が少ないために参考資料とはなるが、下層木が繁茂するカラマツ林を皆伐すれば下層木処理に一定の掛かり増しを検討する必要があること、広葉樹林を皆伐した場合の用材歩留まりは採材に時間をかけても15%に留まること、一般的な目立てを行えば、直径20cmのアカマツは10秒以内で鋸断できることが示された。

キーワード：皆伐再造林、設計積算システム、伐採造林一貫作業、下層木処理、広葉樹造材

## 第1章 はじめに

長野県内の人工林は資源として利用可能となり、皆伐作業が増加傾向にある。しかし、本県における皆伐作業の標準的な経費の算出については、標準的な作業工期が示されていないため、間伐作業の経費からの推測に留まっている。そこで、本研究では現在主流となっている高性能林業機械を使用した皆伐作業システムについて、通常の皆伐及び伐採造林一貫作業を念頭に、皆伐版の素材生産設計システム（以下、「皆伐設計版」という。）を調製することとした。また、今回の工期調査を行う中で得られた、作業効率に影響を与える課題についても一部整理した。

本報告の目次は以下のとおりである。

## 第1章 はじめに

## 第2章：皆伐設計版の調製

- 2.1 背景及び目的
- 2.2 皆伐設計版の概略
- 2.3 調査方法
- 2.4 伐倒工期調査
- 2.5 木寄せ工期調査
- 2.6 造材工期調査
- 2.7 小運搬工期調査
- 2.8 機械地拵え工期調査
- 2.9 皆伐設計版の調製

## 第3章：効率性に影響を与える作業実態

- 3.1 下層木が繁茂している場合の扱い
- 3.2 広葉樹皆伐作業における造材
- 3.3 チェーンソーの標準鋸断時間

## 第4章 まとめ

なお、本研究は平成29～令和元年度にかけて県単研究課題として実施し、得られた成果の一部は、中部森林学会（高野ら2017、高野ら2018、百瀬ら2018、高野ら2019、百瀬ら2019、高野ら2020、小山ら2020）で発表したほか、学術誌等へ投稿した（小野・高野2018）。

\* 現 北アルプス地域振興局

## 第2章 皆伐設計版の調製

### 2.1 背景及び目的

現在、長野県が県営林事業で皆伐を行う場合、間伐作業で調製された素材生産設計システム（以下「間伐設計版」という。）を用い、間伐率100%を皆伐として扱い設計積算を行っている。しかし、作業の支障となる立木が無い等皆伐施業での特徴が反映された作業工程にはなっていないと推察される。また、皆伐作業と並行若しくは直後に地拵えを行い、植栽を行う一貫作業システムにも対応していない。

そこで本章では、伐採造林一貫作業の現場を中心に工程調査を行い、皆伐設計版の調製を行った。

### 2.2 皆伐設計版の概略

間伐設計版は、県営林における素材生産の設計積算を行うためのシステムで、Microsoft社の表計算ソフトであるExcelで作成されている。林況（立木密度、平均胸高直径、平均樹高等）、間伐率、伐採方法（定性、列状）、搬出率、利用率、作業システム等を入力し、表2-1に示した1サイクル当たりの作業時間式又は作業工程式と素材生産量から各作業に必要な人工数、機械損料、燃料費等を算出し、各作業費としている。その各作業費を足し上げて直接費とし、諸経費（共通仮設費、現場管理費等）、消費税を加えて事業費を積算している。

皆伐設計版でも間伐設計版の方法を踏襲し、作業ごとの工程調査を行うことで作業時間式を調製した。なお、工程調査ができなかった作業については、既存文献（今井ら2003、今井ら2007、水田・水戸辺2008、宮崎・白石ら2011、宮崎・今井ら2011、白石ら2009、梅田ら1982、林業機械化協会1996、林野庁1998、全国林業改良普及協会2001）から作業時間式又は作業工程式を調製した。

各作業費は、まず1サイクル当たりの作業時間、1サイクル当たりの処理量及び1日の実働時間から、各作業の生産性を求めた。

$$Lv = Vu \times Hw / Ta$$

Lv：各作業の生産性[m<sup>3</sup>/日]

Vu：1サイクル当たりの処理材積[m<sup>3</sup>/1サイクル]

Hw：1日当たりの実働時間[s/日]

Ta：1サイクル当たりの作業時間[s/1サイクル]

なお、生産性を、その作業に必要なとなる人員数で割ると労働生産性となる。また、1日当たりの実働時間は6時間とした。

各作業の単位材積当たりの費用は次式のとおりとなる。

$$Cp = \Sigma Ct / Lv$$

ただし、

Cp：各作業の単位材積当たりの費用[円/m<sup>3</sup>]

ΣCt：各作業に必要な1日当たりの作業員賃金、機械経費（損料、燃料、雑材料）の合計[円/日]

各作業の単位材積当たりの生産費に生産量を掛けることにより各作業費を算出した。

なお素材売上高は、林分調査結果から丸太生産の見通しを作り、運搬費、市場手数料等を減じて算出した。

### 2.3 調査方法

調査は、材積把握、時間分析及び位置把握による工程調査を行った。

材積把握は、林分調査と造材後の丸太調査を行い、各作業の処理材積を算出した。

時間分析は、各作業を家庭用のビデオカメラ（SONY社製HDR-CX485、HDR-CX680）で撮影し、ビデオの映像から表2-2に示す、分類した作業（以下「単位作業」という。）に細分化し、その時間をPC画面で計測し集計した。繰り返される一連の作業を1サイクルとして、1サイクル当たりの作業時間式を調製した。

位置把握は、立木位置は電子コンパス（LaserTechnology社製TruPulse360）により、伐倒木・搬器等はGPS受信機（Garmin社製eTrex20）及びレーザー距離計（LaserTechnology社製TruPulse200）により、得られたデータをCAD化し、木寄せ距離等をCAD上で測定した。

表 2-1 間伐設計版における作業種別 1 サイクル当たりの作業時間式・作業工程式

作業種	1 サイクル当たり作業時間式	摘要
伐倒 $T_b$	定性間伐 $81.759\text{Ln}(V) + 349.74$ [s]	V: 平均立木材積[m <sup>3</sup> ] V>0.58m <sup>3</sup> は定性間伐を適用
	列状間伐 $173.06\text{Ln}(V) + 399.27$ [s]	傾斜度、地表植生、伐採率補正あり
伐木造材 (チェーンソー)	易: $8.999321\sqrt{V} - 0.48817$ [m <sup>3</sup> /人日]	V: 平均立木材積[m <sup>3</sup> ]
	中: $7.539593\sqrt{V} - 0.41758$ [m <sup>3</sup> /人日]	易中難はha当たりの伐採量で区分
	難: $5.908030\sqrt{V} - 0.26168$ [m <sup>3</sup> /人日]	傾斜度、地表植生補正あり
タワーヤード	信州型 $-7.8373\theta + 33.9573V_s + 1.1207L_H + 473.5904$ [s]	$\theta$ : 林地傾斜[°] V <sub>s</sub> : 1回当たり運搬材積[m <sup>3</sup> ] L <sub>H</sub> : 搬器移動距離[m]
	架設 $L_1/0.21 + L_1/0.22 + L_1/0.14 + 3801$ [s] 撤去 1800 [s] 張替え $0.7401(k_1L_s) + 1.5518(k_2L_s) + 1302$ [s]	L <sub>s</sub> : 架設距離[m] L <sub>1</sub> : 引き回し延長[m] k <sub>1</sub> : 引き回し係数 0.5 k <sub>2</sub> : 資材運搬係数 0.26
	ランニングスカイライン $2.1706L_H + 129.7496$ [s]	L <sub>H</sub> : 搬器移動距離[m]
	架設 $0.64420L_s + L_s/0.8 + L_s/0.83 + 296$ [s] 撤去 $1.1278L_s + 51$ [s]	L <sub>s</sub> : 架設距離[m]
木寄せ $T_t$	$-7.889\theta + 1.7358L_2 - 125.798V + 161.7634N_1 + 8.03824L_3 + 581.1911$ [s] $\theta$ : 林地傾斜[°] L <sub>2</sub> : 走行距離[m] V: 平均立木材積[m <sup>3</sup> ] N <sub>1</sub> : 1回当たりの搬出本数[本] L <sub>3</sub> : 木寄せ距離[m] 地表植生補正あり	
自走式搬器	下げ荷 [m <sup>3</sup> /h] $9.554167V_s - 0.01811L_H - 0.0556W_Y + 4.137167$	V <sub>s</sub> : 積載量[m <sup>3</sup> ] L <sub>H</sub> : 搬器移動距離[m]
	上げ荷 [m <sup>3</sup> /h] $7.1125V_s - 0.0172343L_H - 0.0304W_Y + 3.527833$	W <sub>Y</sub> : 横取り距離[m]
造材 $T_z$	プロセッサ $5N_2 + 0.1465\phi + 353.9613$ [s] (桎作業あり)	N <sub>2</sub> : 玉数[本] $\phi$ : 末口径[m] 土場広さ補正あり
小運搬 $T_u$	フォワーダ $0.9571L_F - 3.0841V_F + 314.2552 + (39.2832V_C + 36.8291)N_3$ [s] L <sub>F</sub> : 走行距離[m] V <sub>F</sub> : 積載量[m <sup>3</sup> ] V <sub>C</sub> : 単丸太材積[m <sup>3</sup> ] N <sub>3</sub> : 積載本数[本]	

※1 作業時間式に現場条件等による補正係数を掛けるものがある。詳細は「県営林生産物処分事業 設計標準歩掛」を参照のこと。

※2 伐木造材（チェーンソー）及び自走式搬器は作業工程式である。

表 2-2 1 サイクル当たりの単位作業一覧

作業	伐倒	木寄せ		造材	小運搬	機械地拵え
		車両系	架線系			
単位作業	歩行	移動	索上げ	空移動	空走行	空移動
	準備	木寄せ	空走行	造材	積込み	地拵え
	鋸断	その他	索下げ	桧積み	実走行	その他
	補助		荷掛け	枝条整理	荷下ろし	
	その他		荷上げ	その他	その他	
			実走行			
			荷下げ			
			荷外し			
		その他				

## 2.4 伐倒工期調査

### 2.4.1 結果及び作業時間式の調製

伐倒工期調査は、表 2-3 の 5 箇所で行った。なお、表中の伐倒形態は、「自然」はくさび等補助具を何も用いない伐倒を、「くさび」はくさびを用いた伐倒を、「補助」はグラップルで伐倒木を押すグラップル補助伐倒を示す。ただし、グラップル補助伐倒は、他の伐倒形態より低コストとなるデータが得られてはいるが、現在の安全基準の下では推奨すべき方法ではないと判断し、皆伐設計版では採用しないこととした。

伐倒の単位作業は、立木間の移動を「歩行」、伐倒木の選定、重心方向の見極め、周囲状況の確認及び退避を「準備」、受口伐り、追口伐りを「鋸断」、くさび打ち等伐倒補助作業を「補助」、それ以外の作業を「その他」とした。なお、その他の中でも伐倒に直接関わらない作業として観測された周辺木伐採と枝払造材・周辺木造材は別に扱うこととし「別計上」とした。

伐倒調査地別の作業時間一覧を表 2-4 に示す。歩行、準備、鋸断、補助の 4 作業について作業時間式を調製したが、統合した際に変数が多くなったため、平均立木材積以外は階級分けをして補正係数として扱う次式に調製し直した。

$$T_b = 125.28rtV + 29.66pqs$$

ただし

$T_b$ : 1 サイクル当たりの伐倒時間[s]

$V$ : 平均立木材積[m<sup>3</sup>]

$p$ : 林地傾斜補正係数

$q$ : 立木密度補正係数

$r$ : くさび使用変数項補正係数

$s$ : くさび使用定数項補正係数

$t$ : チェーンソー排気量補正係数

各補正係数は表 2-5～2-8 のとおりである。

なお、別計上とした周辺木伐採は第 3 章で述べるが、皆伐設計版では下層植生が多い林分については林床整理伐の歩掛を適用することとした。また、枝払造材・周辺木造材は木寄せ作業の支障となる大枝を払う作業であり、主に広葉樹でおこなわれていたため、広葉樹伐採に特有な作業として取り扱うこととし、木寄せ前作業以外の時間の合計の 65% とすることとした。

### 2.4.2 作業従事率

伐倒作業中でも周辺木伐倒、枝払造材・周辺木造材等、伐倒作業以外の作業も実働時間内に行われていた。このため、1 日当たりの実働時間のうち、伐倒作業のみを行っている時間の比率を伐倒作業従事率とした。表 2-4 から伐倒地 1、4、5 の平均値 66.8% を採用し、1 日の実働時間 6 時間のうち実際に伐倒時間を行う時間を 4.01 時間とした。

### 2.4.3 伐倒作業工程の特徴

図 2-1 に平均立木材積と伐倒の労働生産性との関係を示す。間伐設計版と皆伐設計版とは回帰式が異なるため傾向は異なるが、ともに平均立木材積が増加すると伐倒の労働生産性は高くなった。

表 2-3 伐倒工期調査箇所一覧

調査地 No	伐倒地 1	伐倒地 2	伐倒地 3	伐倒地 4	伐倒地 5
調査日時	H29. 6. 13	H29. 6. 22	H29. 6. 26	H29. 8. 4	H30. 12. 19 H30. 12. 25
調査地	佐久穂町	諏訪市湖南	塩尻市片丘	佐久穂町	下諏訪町
作業実施者	南佐久北部 森林組合	諏訪森林組合	北信木材生産 センター(協)	(株)吉本	(株)飯森林業
対象林分 括弧内は (DBH, H, 立木密 度)を表す	カラマツ 55 本 (28cm, 22m, 525 本/ha) 広葉樹 16 本 (17cm, 13m, 119 本/ha)	カラマツ 73 本 アカマツ等 18 本 (36cm, 23m, 278 本/ha)	アカマツ 21 本 スギ等 20 本 (27cm, 20m, 757 本/ha)	カラマツ 29 本 広葉樹 5 本 (33cm, 24m, 423 本/ha)	コナラ等 32 本 (23cm, 16m, 625 本/ha)
伐採種別	皆伐	皆伐	皆伐	皆伐	皆伐
使用チェーン ソー	スチール製 MS362C (59 cc、 バー長 50cm) MS262 (50.2cc、 バー長 45cm)	ハスクバーナー製 560XPG (59.8 cc、バー長 50cm)	ハスクバーナー製 550XP (50.1 cc、 バー長 50cm)	スチール製 MS241C (42.6 cc、バー長 38cm)	やまびこ製 CS42RS (42.1cc、バー 長 40cm)
伐倒形態 括弧内は撮影 サイクル数	自然(23)、 くさび(28)、 補助(20)	補助(91)	自然(4) くさび(1)、 補助(36)	自然(23)、 くさび(11)	自然(28) くさび(4)

表 2-4 伐倒工期調査地別作業時間一覧

単位[s/サイクル]

単位 作業	要素作業	伐倒地 1	伐倒地 2	伐倒地 3	伐倒地 4	伐倒地 5	合計	備考
歩行		861	1,302	182	491	693	3,529	作業時 間式調 製
準備		1,072	514	355	1,881	1,336	5,158	
鋸断		2,336	3,412	1,372	3,141	2,092	12,353	
補助	グリップ押し	153	472	196			821	
	くさび打ち	615		28	692	140	1,475	
作業時間式調製小計		5,037	5,700	2,133	6,205	4,261	23,336	
その他	伐倒その他	564	1,923	829	1,698	4,036	9,050	
歩行～伐倒その他合計		5,601	7,623	2,962	7,903	8,297	32,386	
伐倒その他 /作業時間式調製小計		11.2%	33.7%	38.9%	27.4%	94.7%	38.8%	
その他 (別計 上)	周辺木伐採 枝払造材・ 周辺木造材	1,253	126 36	201	1,212 1,644	793 5,936	3,585 7,616	別計 上
その他(別計上)合計		1,253	162	201	2,856	6,729	11,201	
作業時間合計		6,854	7,785	3,163	10,759	15,026	43,587	
その他(別計上) /作業時間合計		18.3%	先行伐採対象外 (-)		26.5%	44.8%	(25.7%) 33.2%	

※その他(別計上)/作業時間合計の合計欄の括弧内は全体の平均を、裸書きは先行伐採対象外その他(別計上)合計 10,838÷先行伐採対象外作業時間合計 32,639 を表している。

表 2-5 林地傾斜と補正係数

林地傾斜	0~10°	11~15°	16~25°	26~30°	31~35°	36° ~
補正係数 (p)	0.75	0.88	1.00	1.23	1.60	2.35

表 2-6 立木密度と補正係数

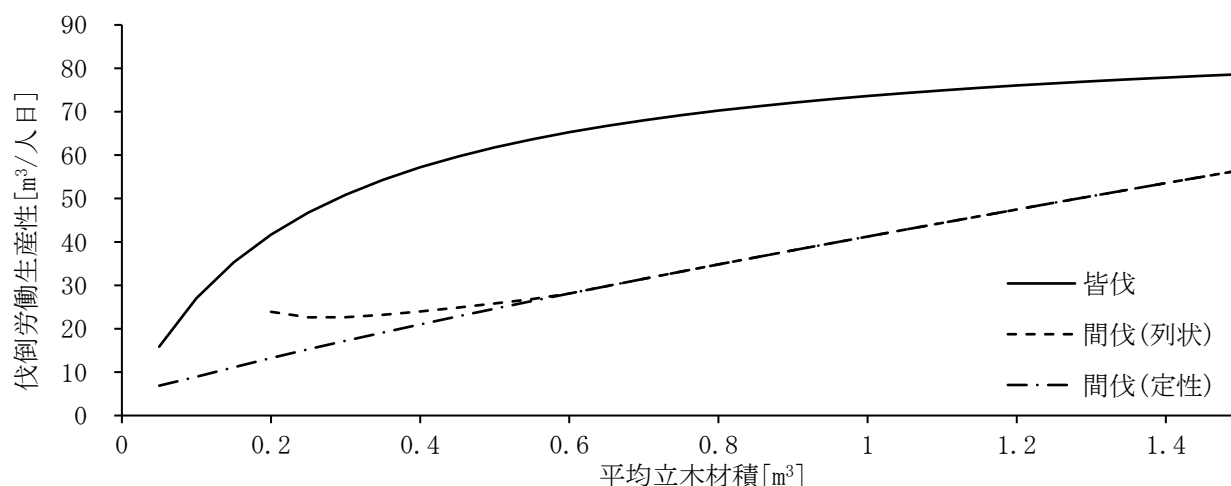
立木密度	0~350 本	351~450 本	451~600 本	600 本~
補正係数 (q)	1.2	0.88	1.00	1.23

表 2-7 くさび使用による補正係数

伐倒方向 (くさび使用率)	下伐倒 (30%)	上下伐倒混在 (70%)	上伐倒 (100%)
変数項補正係数 (r)	1.0	1.1	1.2
定数項補正係数 (s)	1.0	1.15	1.3

表 2-8 排気量と補正係数

チェーンソー排気量	59cc 以上	50~58cc	50cc 未満
補正係数 (t)	0.8	1.0	1.2



※条件：林地傾斜 20°、立木密度 500 本/ha、くさび使用率 70%、59cc チェーンソー使用

図 2-1 平均立木材積と伐倒労働生産性

## 2.5 木寄せ工程調査

### 2.5.1 結果

木寄せ工程調査は表 2-9 の 8 箇所で行った。なお区分の「車両系」は、グラップル、プロセッサ等による、作業道等から又は林内に進入しての重機ヘッドにより対象木を掴み、土場方向へ移動させる木寄せを、「架線系」は、先柱を作設してワイヤロープと搬器等を用いた木寄せをいう。

車両系の単位作業は、木寄せ場所への「移動」、対象木を掴んで土場方向へ移動させる「木寄せ」、

それ以外の「その他」とした。

架線系の単位作業は、土場でフック等を中空に上げる「索上げ」、荷を吊っていない状態での搬器等の走行を「空走行」、荷掛け場でフック等を地面まで下げる「索下げ」、元柱等から先柱までの直線上から離れた対象木までのフック等の移動（横取り）及びスリングロープ等の取付けを「荷掛け」、対象木を元柱等から先柱までの直線上まで引っ張ってきて中空に上げるまでを「荷上げ」、荷を吊った状態での搬器等の走行を「実走行」、土場で荷を

下げる「荷下げ」、土場で対象木からスリングロープ等を外す「荷外し」、それ以外を「その他」とした。

表 2-9 木寄せ工程調査箇所一覧

調査地 No	木寄せ地 1	木寄せ地 2	木寄せ地 3	木寄せ地 4
区分	車両系	車両系	架線系	架線系
使用機械	グラップル 0.25m <sup>3</sup> 級	グラップル 0.45m <sup>3</sup> 級	スイングヤーダ 0.45m <sup>3</sup> 級	5 胴式タワーヤーダ 5t 級
木寄せ方法	直取り	直取り	ランニングスカイライン	エンドレスタイラー
調査日時	H29. 6. 22	H29. 7. 20	H29. 11. 27	H29. 2. 21-22
調査地	諏訪市湖南	飯綱町霊仙寺山	松本市山辺	売木村
作業実施者	諏訪森林組合	長野森林組合	横山木材(有)	飯伊森林組合
対象樹種	カラマツ・ アカマツ等 88 本	カラマツ 73 本	カラマツ 23 本	カラマツ 31 本
木寄せ材態	全木	全木	全幹 (一部短幹)	全幹 (一部短幹)
運搬材積/回	0.09~2.00m <sup>3</sup>	0.10~1.09m <sup>3</sup>	0.49~1.45m <sup>3</sup>	0.17~1.33m <sup>3</sup>
括弧内は平均	(1.17m <sup>3</sup> )	(0.50m <sup>3</sup> )	(0.95m <sup>3</sup> )	(0.69m <sup>3</sup> )
伐採種別	群状皆伐	皆伐	带状皆伐	間伐
木寄せ距離	1~67m	2~63m	12~176m	26~74m
括弧内は横取			(0~9m)	(9~45m)
調査サイクル数	88	73	23	23
調査地 No	木寄せ地 5	木寄せ地 6	木寄せ地 7	木寄せ地 8
区分	架線系	架線系	架線系	架線系
使用機械	自走式搬器 (新型)	自走式搬器 (従来型)	本格架線 (油圧式集材機)	本格架線 (従来型集材機)
木寄せ方法	2 線式	2 線式	エンドレスタイラー	ダブルエンドレス
調査日時	H29. 8. 31	H29. 9. 13	H29. 8. 21	H29. 1. 27
調査地	松川町上片桐	松川町上片桐	塩尻市贄川	朝日村
作業実施者	飯伊森林組合	飯伊森林組合	(有)平澤林産	横山木材(有)
対象樹種、 木寄せ材態、 1 回当たり運搬材 積	ヒノキ・ サワラ 124 本 単幹 0.08~0.58m <sup>3</sup>	ヒノキ・ サワラ 68 本 単幹 0.13~0.43m <sup>3</sup>	ヒノキ・ 広葉樹 58 本 全幹 0.28~1.01m <sup>3</sup>	カラマツ 20 本 全幹 0.32~1.50m <sup>3</sup>
括弧内は平均	(0.29m <sup>3</sup> )	(0.24m <sup>3</sup> )	(0.68m <sup>3</sup> )	(0.74m <sup>3</sup> )
伐採種別	間伐	間伐	皆伐	間伐
木寄せ距離	17~171m	52~151m	182~247m	300~360m
括弧内は横取	(1~28m)	(0~21m)	(0~5m)	(0~7m)
調査サイクル数	60	31	20	18

### 2.5.1.1 結果、作業時間式の調製及び作業従事率 (車両系)

木寄せ地 1 と 2 でいずれも斜面上方から下方へ材を送っていた。

グラップルの移動は図 2-2 に示すパターンで行われ、木寄せの段数は次式のとおりとした。

$$n=1/w_a(10000/WD-H+WR)-1 \quad (n<0 \text{ の場合は } n=0)$$

ただし、

n: 木寄せ段数

w<sub>a</sub>: ベースマシンのブーム・アーム長

0.25m<sup>3</sup>級: 5.5m 0.45m<sup>3</sup>級: 7m (カタログ値)

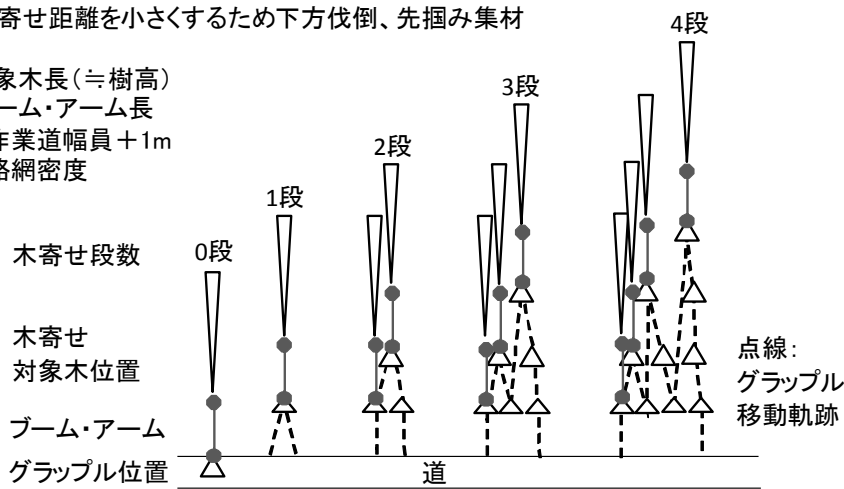
WD: 路網密度

H: 木寄せ木の長さ (≒樹高)

WR: 作業道幅 + 1m

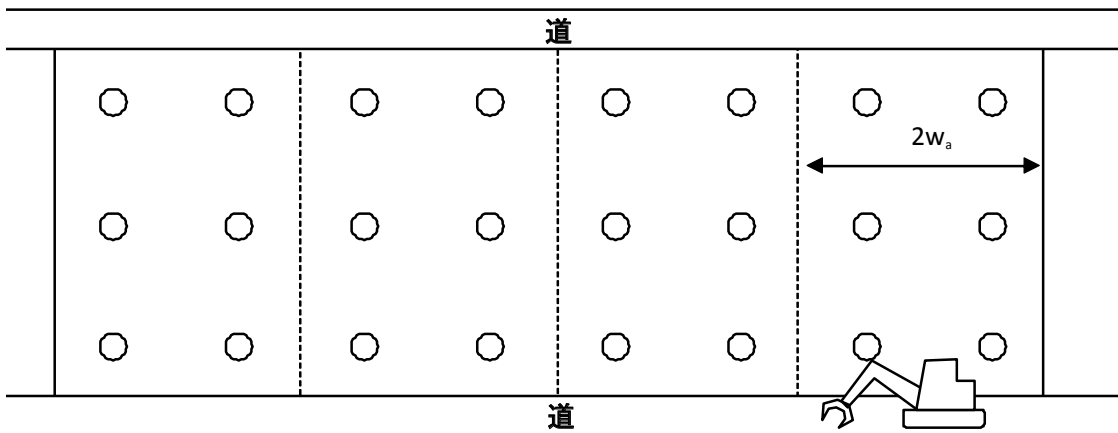
※木寄せ距離を小さくするため下方伐倒、先掴み集材

H:対象木長(≒樹高)  
 $w_a$ :ブーム・アーム長  
 WR:作業道幅員+1m  
 WD:路網密度



木寄せ段数	1	3	一般式 n
最大木寄せ距離	$H+2w_a-WR$	$H+4w_a-WR$	$H+(n+1)w_a-WR$
走行距離	$2w_a-2WR$	$8w_a-2WR$	$(n^2-n+2)w_a-2WR$
木はプロセス材を元玉から行うことを考慮して道直下に道に平行させて置く			
木寄せ小	$H+w_a-WR$	$H+3w_a-WR$	
大	$H+2w_a-WR$	$H+4w_a-WR$	(10000/WDが最大)
平均	$H+3w_a/2-WR$	$H+7w_a/2-WR$	$H+(2n+1)w_a/2-WR$
最大木寄せ距離=路網間隔 $H+(n+1)w_a-WR=10000/WD$ から、 木寄せ段数 $n=1/w_a(10000/WD-H+WR)-1$			

図 2-2 グラップル木寄せ時におけるグラップル移動パターン



成立本数	N	[本/ha]	路網密度	WD	[m/ha]
樹高	H	[m]	路網間隔	$10000/WD$	[m]
平均立木材積	V	[m <sup>3</sup> ]	集材幅(アーム長×2)	$2w_a$	[m]
			平均木寄せ距離	$10000/2WD$	
1木寄せ面積		$10000/WD \times 2w_a$		[m <sup>2</sup> ]	
1木寄せ面積当たり成立本数		$2w_a N/WD$		[本]	
グラップル走行速度		$v_g$		[m/s]	
1木寄せ区域当たり走行距離		$(n^2-n+2)w_a$		[m]	$n=1/w_a(10000/WD-H+WR)-1$
1木寄せ区域当たり走行時間		$(n^2-n+2)w_a/v_g$		[s]	
1本当たり走行時間		$(n^2-n+2)WD/(2v_g N)$		[s]	
1木寄せ区域当たり材積		$2w_a NV/WD$		[m <sup>3</sup> ]	

図 2-3 グラップル木寄せ 1本当たりの走行時間



また、図 2-3 に矩形林地の模式図と 1 本当たりの走行時間式の誘導を示す。図 2-3 から、木寄せ 1 本当たりの走行時間式は次式のとおりとした。

$$S_G = (n^2 - n + 2)WD / (2v_G N)$$

ただし、

$S_G$ : 1 本当たりのグラップル走行時間[s]

$v_G$ : グラップルの林内走行速度[m/s]

$N$ : 立木密度[本/ha]

なお、グラップルの林内走行速度は 2 箇所の実績から次式のとおりとした。

$$v_G = -0.0386\phi + 6.8668 \text{ [m/s]}$$

ただし、 $\phi$ : 林地傾斜[°]

上記及び時間分析の結果、移動は次式のとおりとした。

$$S_G + 6.0$$

木寄せは材の移動距離と木寄せの時間に相関関係が見られ(図 2-4)、次式のとおりとした。

$$1.6904L_G + 23.137 \text{ (R}^2=0.6131) \text{ [s]}$$

ただし、 $L_G$ : 材の移動距離[m]

以上により、グラップル木寄せ作業時間式を次式のとおりとした。

$$T_{tg} = S_G + 1.6904L_G + 29.137$$

ただし、

$T_{tg}$ : 1 本当たりのグラップル木寄せ時間[s]

表 2-10 に木寄せ功程調査地 1, 2 作業時間一覧を示す。伐倒調査と同様に 81.1% をグラップル木寄せ作業従事率とし、1 日の実働時間 6 時間のうち実際にグラップル木寄せを行う時間を 4.87 時間とした。

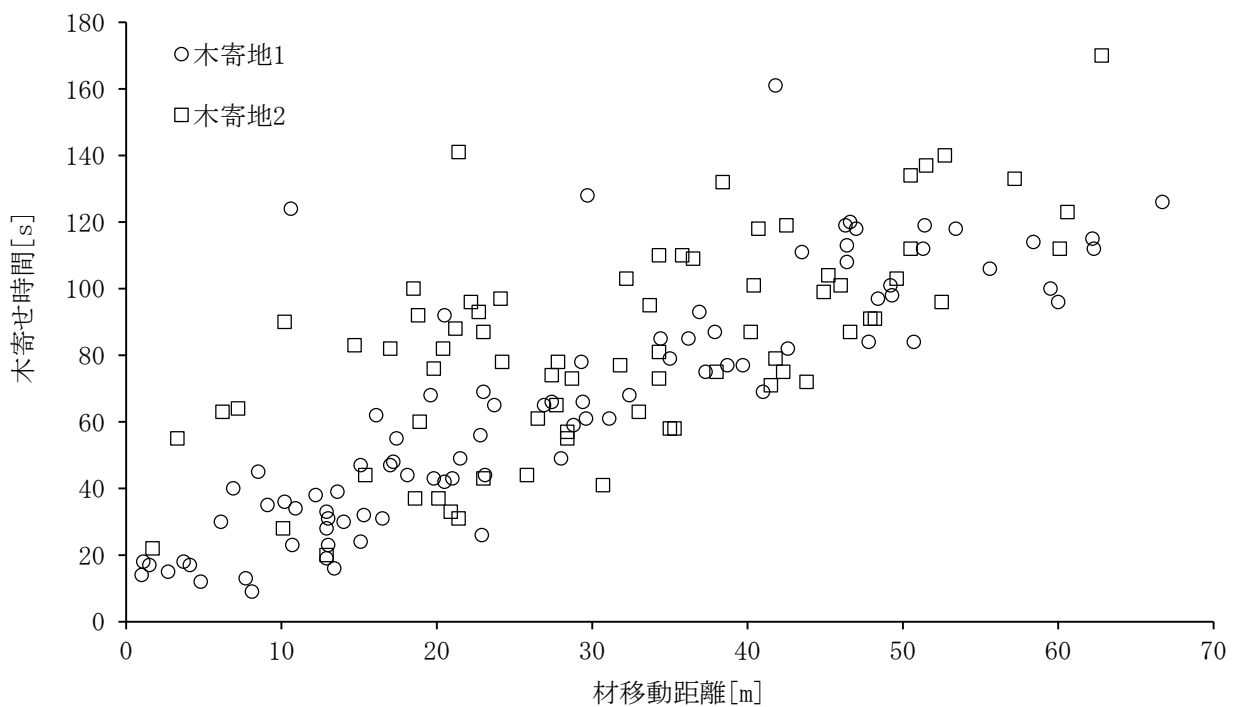


図 2-4 グラップル木寄せにおける材の移動距離と木寄せ時間

表 2-10 木寄せ功程調査地 1, 2 (車両系) 作業時間一覧 単位[s]

単位作業	木寄せ地 1	木寄せ地 2	合計	備考
空移動	2,573	921	3,494	
木寄せ	5,541	4,095	9,636	
その他	2,298	755	3,053	
作業時間合計	10,412	5,771	16,183	
その他/作業時間合計	22.1%	13.1%	18.9%	

### 2.5.1.2 結果、作業時間式の調製及び作業従事率 (架線系)

表 2-11 に木寄せ功程調査地 3~8 の作業時間一覧を示す。調査結果から、各木寄せ方法ごとの 1 サイクル当たりの木寄せ時間式を調製した。しかし、木寄せ方法ごとの調査箇所が少ないことから、作業による特性が強くと表れ、同一条件で労働生産性を比較した際に既存文献 (梅田ら 1982、林業機械化協会 1996) と大きく異なる結果が生じた箇所があった。このため、カタログ値等を参考に係数の調整をした。なお、架設撤去等調査期間中に実施されなかったものについては既存書籍から回帰式を調製した。また、単胴ウインチの功程調査は行わなかったが、使用している現場も多いため、調査結果及び既存文献 (梅田ら 1982) から 1 サイクル当たりの木寄せ時間式を調製した。

以上により、木寄せ方法ごとの 1 サイクル当たりの木寄せ時間は次式以降のとおりとした。なお、図 2-5 に木寄せ時間式内変数の概要図を示す。また、木寄せ方法ごとの 1 サイクル当たりの木寄せ時間は  $T_{tx}$  [s] で表し、 $x$  は任意のアルファベットを当ててある。

- ・スイングヤーダ :

$$T_{ts}=1.637L_H+2.13W_Y+144.6$$

同架設撤去

$$T_{tsk}=8.763L_S+14.32W_Y+411.0$$

ただし、

$L_H$  : 平均木寄せ距離 [m]

$W_Y$  : 平均横取距離 [m]

$L_S$  : 索張り架設距離 ( $\cong 2L_H$ ) [m]

- ・タワーヤーダ :

$$T_{tt}=0.959L_H+1.89H_D+1.53H_S+2.10W_Y+121.3$$

同架設撤去

$$T_{ttk}=10.653L_S+4501.9$$

ただし、

$H_D$  : 土場での主索高 [m]

$H_S$  : 荷掛け場での平均主索高 [m]

- ・自走式搬器 (新型)

$$T_{tjn}=0.837L_H+2.14H_D+2.10H_S+5.26W_Y+101.7$$

同架設撤去

$$T_{tjk}=404.784L_S+3702.9$$

- ・自走式搬器 (従来型)

$$T_{tjo}=1.599L_H+2.52H_D+2.72H_S+6.01W_Y+101.7$$

架設撤去は自走式搬器 (新型) に同

- ・本格架線 (エンドレスタイラー式)

$$T_{te}=0.517L_H+1.86H_D+0.91H_S+1.53W_Y+93.6$$

同架設撤去

$$T_{tek}=2052.864L_S+30413.9$$

- ・本格架線 (ダブルエンドレス式)

$$T_{td}=0.517L_H+1.86H_D+0.91H_S+3.04W_Y+93.6$$

同架設撤去

$$T_{tdk}=1573.560L_S+353041.2$$

- ・単胴ウインチ

$$T_{tw}=5.26L_H+118.7$$

架線系の作業従事率は、スイングヤーダ、単胴ウインチ等主索を用いない方式は、木寄せ木が伐根に引っかかりやすいことを考慮し、表 2-11 のスイングヤーダ調査実績値の 60.4% とし、実木寄せ時間を 3.62 時間とした。一方、主索を用いる方式は、短幹木寄せであり引っかかることが無かった自走式搬器以外の主索を用いる木寄せ方法の平均値の 81.9% とし、実木寄せ時間を 4.91 時間とした。

### 2.5.2 木寄せ作業功程の特徴

調製した 1 サイクル当たりの木寄せ及び架設撤去時間式と間伐設計版に組み込まれている作業時間式及び作業功程式とを、条件を一つ設定したときの平均木寄せ距離と架設撤去を含む木寄せ総労働生産性との関係を図 2-6 に示す。なお、作業の安全性を考慮し、グラップル木寄せで重機が林地内へ進入できる林地傾斜は 15° までが適当としている。この点も踏まえて、図 2-6 から林地傾斜が 15° 未満であれば、グラップルの林内進入直取りが、林地傾斜が 15 度以上で平均木寄せ距離が 40m 程度までは単胴ウインチが、40~300m 程度までであればタワーヤーダが、それ以上は本格架線が有利であるといえる。一方、図 2-6 に表れてはいないが、タワーヤーダの手配ができない場合はスイングヤーダを、本格架線を架設撤去する人数が確保できない場合は自走式搬器を選択する方法もあると思われる。

表 2-11 木寄せ功程調査地 3~8 (架線系) 作業時間一覧

単位[s]

単位作業	木寄せ地 3 スイング ヤーダ	木寄せ地 4 タワー ヤーダ	木寄せ地 5 自走式搬 器(新型)	木寄せ地 6 自走式搬器 (従来型)	木寄せ地 7 エンドレス タイラー式	木寄せ地 8 ダブルエン ドレス式	備考
索上げ	376	488	293	197	833	831	
空走行	1,261	1,013	2,540	2,793	1,207	2,895	
索下げ	162	933	8	251	852	454	
荷掛け	1,710	1,078	2,023	596	1,542	959	
荷上げ	722	1,855	1,605	609	1,754	1,747	
実走行	1,306	1,556	2,880	2,765	1,801	3,113	
荷下げ	503	578	315	167	1,567	1,074	
荷外し	936	753	1,249	651	1,780	571	
その他	4,581	1,564	960	245	1,795	3,821	
作業時間合計	11,557	9,818	11,873	8,274	13,131	15,465	
その他 /作業時間合計	39.6%	15.9%	8.1%	3.0%	13.7%	24.7%	

1 施業地

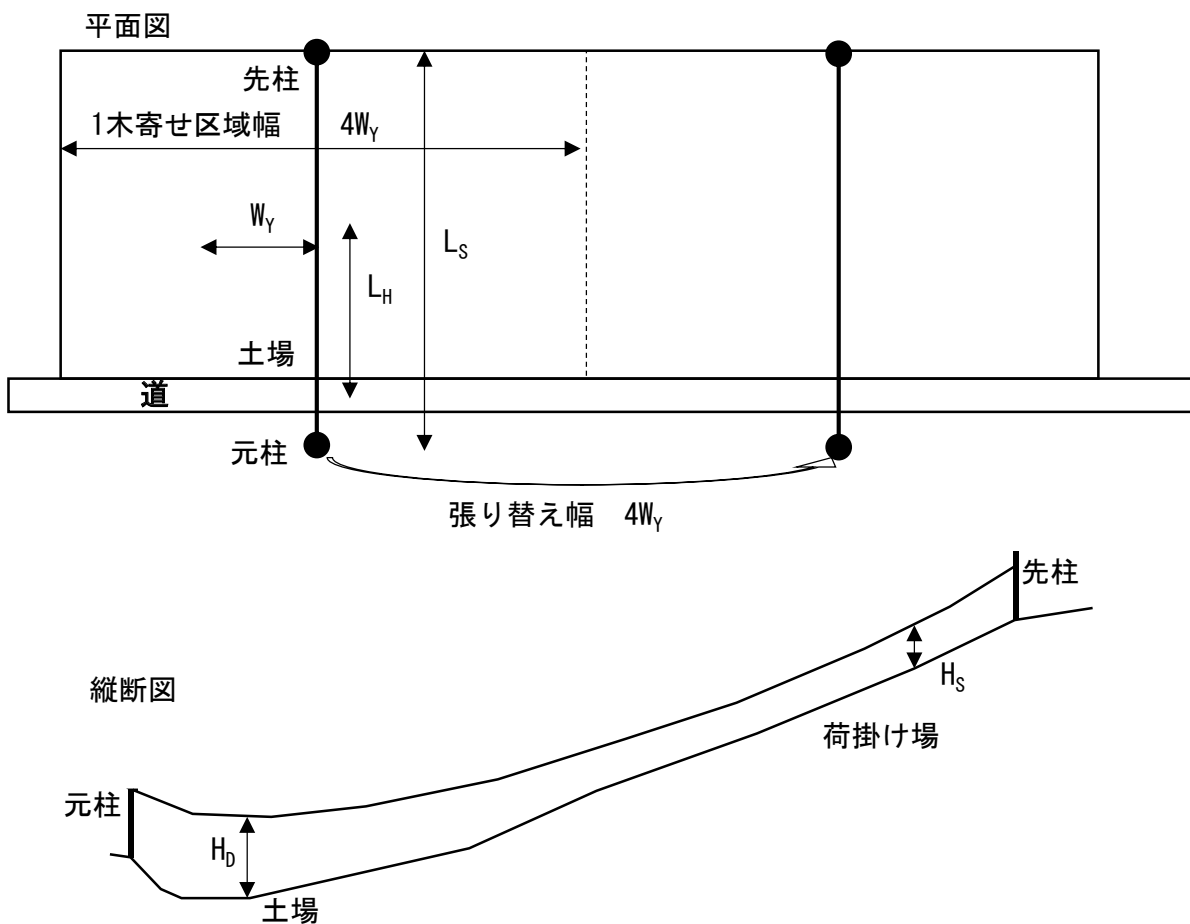
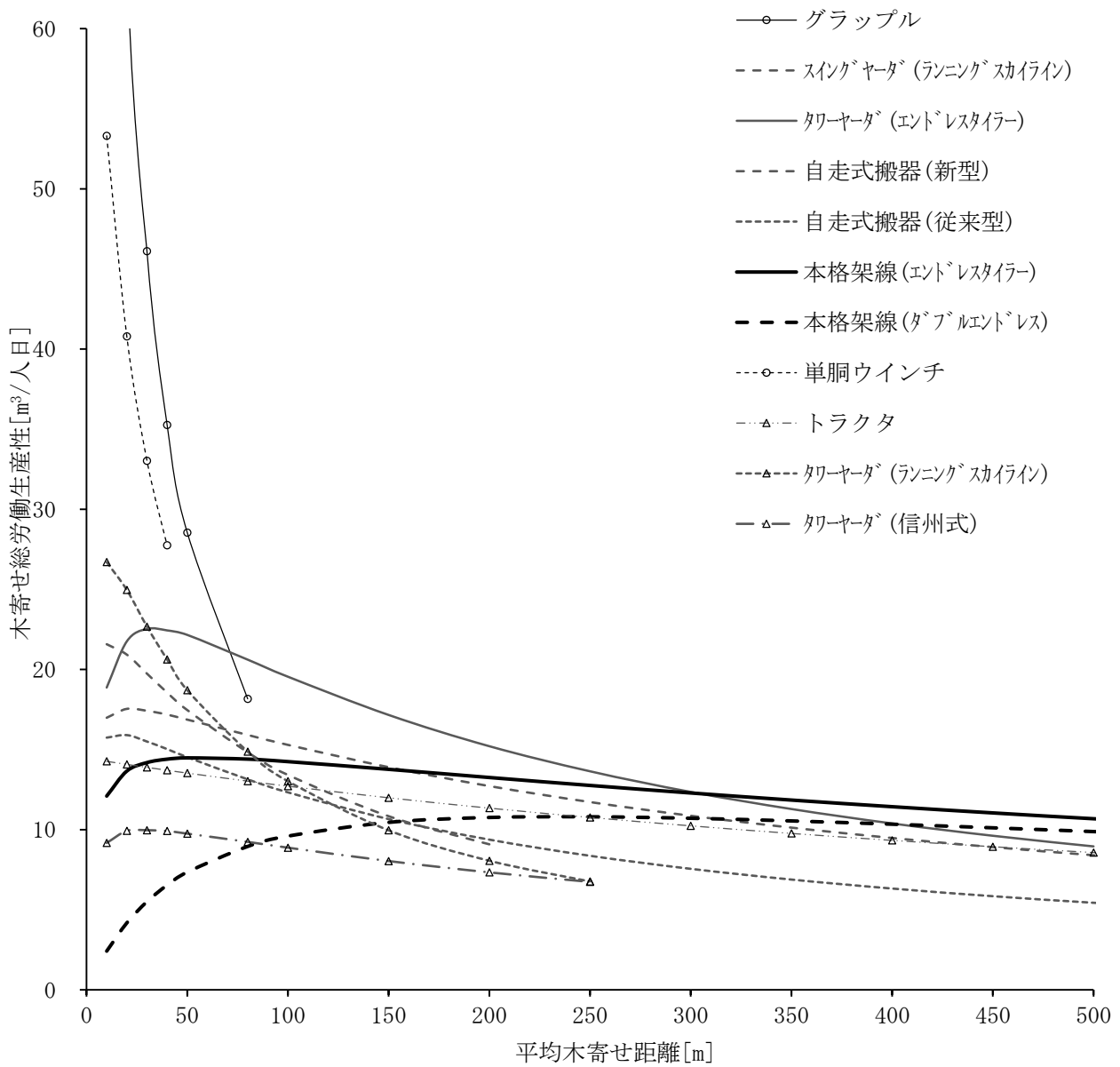


図 2-5 木寄せ時間式内変数概要図



(条件)

林地傾斜 15°、施業地幅 400m、本数 500 本/ha、材積 350m³/ha、平均立木材積 0.7m³、路網密度 150m/ha

木寄せ方法	H <sub>D</sub>	H <sub>S</sub>	W <sub>Y</sub>	作業員数	木寄せ本数/回
グラップル			3.5	1	1
スイングヤード (ランニングスカイライン)			10	2	1
タワーヤード (エンドレストライアー)	8	5	30	2	1
自走式搬器	8	5	20	2	1
本格架線 (エンドレストライアー)	20	10	70	3	2
本格架線 (ダブルエンドレス)	20	10	40	3	2
単胴ウインチ				1	1
トラクタ			30	2	4
タワーヤード (ランニングスカイライン)			10	2	1
タワーヤード (信州式)			10	2	1

※グラフ中曲線に△が付いているものが間伐設計版のもの

図 2-6 平均木寄せ距離と木寄せ (架設撤去含む) 労働生産性

## 2.6 造材工期調査

### 2.6.1 結果、作業時間式の調製及び作業従事率

造材工期調査は、表 2-12 のとおり主にプロセッサ造材について3箇所で行った。単位作業は、造材場所への「空移動」、材を掴んで造材するまでの「造材」、造材された丸太を積む「桧積み」、払った枝条を整理する「枝条整理」、それ以外の「その他」とした。

表 2-13 に造材工期調査地 1~3 の作業時間一覧を示す。

主伐時には木が大径化していることから、プロセッサで造材できない径や枝払いできない大枝があり、伐倒地 2、3 では手造材が一定量発生していた。このため、造材をプロセッサ造材と手造材に分けることとした。樹種別に通常プロセッサ造材できる割合を表 2-14 のとおり設定するとともに、プロセッサが造材できなくなる径を設定することで、プロセッサ造材及び手造材の比率を算出し、プロセッサ造材については、1 サイクル当たりの作業時間式を、手造材については既存文献（梅田ら 1982）から伐木造材（伐倒～枝払い～造材）作業工程式を調製した。なお、桧積みについて共通な作業となるため、桧積みは分けて作業時間式を調製した。また広葉樹の手造材は第 3 章で述べる。

1 サイクル当たりのプロセッサ造材及び桧積み作業時間式を次式のとおりとした。

$$\text{プロセッサ造材} : T_{zp} = 30.296V_z + 75.8$$

$$\text{桧積み} : T_h = 14.786V_z + 39.2$$

ただし、

$T_{zp}$ : 1 サイクル当たりのプロセッサ造材時間[s]

$T_h$ : 1 サイクル当たりのプロセッサ等桧積み時間[s]

表 2-12 造材工期調査箇所一覧

調査地 No	造材地 1	造材地 2	造材地 3
使用機械	プロセッサ GP35V 0.45m <sup>3</sup> 級	プロセッサ GP35V 0.25m <sup>3</sup> 級	ハーベスタ Gpi-40pc 0.45m <sup>3</sup> 級
調査日時	H29. 6. 13	H29. 6. 22	H29. 12. 20
調査地	佐久穂町	諏訪市湖南	伊那市長谷
作業実施者	南佐久北部 森林組合	諏訪森林組合	平澤林産(有)
対象樹種	カラマツ・広葉樹	カラマツ・アカマツ	カラマツ
材積	0.02~1.16m <sup>3</sup>	0.17~1.68m <sup>3</sup>	0.74~1.91m <sup>3</sup>
括弧内は平均	(0.61m <sup>3</sup> )	(1.16m <sup>3</sup> )	(1.16m <sup>3</sup> )
調査サイクル数	53	73	23

$V_z$ : 平均造材積[m<sup>3</sup>]

(= 平均立木材積 × 搬出率 × 利用率)

手造材は、1 人 1 日当たりの伐木造材積を次式のとおりとした。

伐木造材（皆伐：針葉樹）

$$\text{難} : \text{生産量 } 150\text{m}^3/\text{ha 未満} : T_{zt} = 8.2494V_z^{0.5844}$$

$$\text{中} : \text{生産量 } 300\text{m}^3/\text{ha 未満} : T_{zt} = 10.486V_z^{0.5895}$$

$$\text{易} : \text{生産量 } 300\text{m}^3/\text{ha 以上} : T_{zt} = 12.171V_z^{0.5659}$$

伐木造材（皆伐：広葉樹）

$$T_{zt} = 4.30271 \ln(V_z) + 9.9462$$

ただし、

$T_{zt}$ : 伐木造材作業工期[m<sup>3</sup>/人日]

なお、上記調製式に表 2-15 に示す 2 つの補正係数を掛けることにより補正伐木造材積工期とした。

プロセッサ造材の作業従事率は 3 箇所の平均値の 50.2% とし、実造材時間を 3.01 時間とした。皆伐での造材作業は、取り回しのスペースが確保されるために間伐よりも効率が上がる可能性もあったが、調査結果は間伐設計版の数字に近似していた。桧積みは、工期調査時にその他に該当する時間が認められず、作業従事率は 100% とした。なお伐木造材は伐倒の作業従事率を準用し 66.8% とし、伐倒造材を行う時間を 4.01 時間とした。

### 2.6.2 造材作業工期の特徴

図 2-7 に平均造材積と造材・伐木造材の労働生産性との関係を示す。プロセッサ造材は平均造材積が 1m<sup>3</sup> を超えると労働生産性は 100m<sup>3</sup>/人日を超えたが、手造材と比較するために伐採 + プロセッサ造材の労働生産性を算出したところ、平均造材積が 1m<sup>3</sup> で労働生産性は 48m<sup>3</sup>/人日であり、伐採 + 手造材の約 5 倍であった。

表 2-13 造材工期調査地作業時間一覧

単位[s]

単位作業	造材地 1	造材地 2	造材地 3	合計	備考
空移動	688	345	622	1,655	
造材	2,300	3,947	4,150	10,397	
桝積み	64	664	2,877	3,605	
末木枝条整理	102	322	146	570	
その他	1,466	4,296	3,131	8,893	
作業時間合計	4,620	9,574	10,926	25,120	
(その他+桝積み) /作業時間合計	33.1%	51.8%	55.0%	49.8%	
手造材時間比率	0%	40.0%	18.0%	-	

表 2-14 樹種別の通常プロセッサ造材ができる割合

樹種	スギ	ヒノキ	カラマツ	アカマツ	広葉樹
プロセッサ造材できる割合	0.8	0.7	0.8	0.4	0.1

※サワラはヒノキを、モミ、ドイツトウヒ等その他針葉樹はアカマツを適用する。

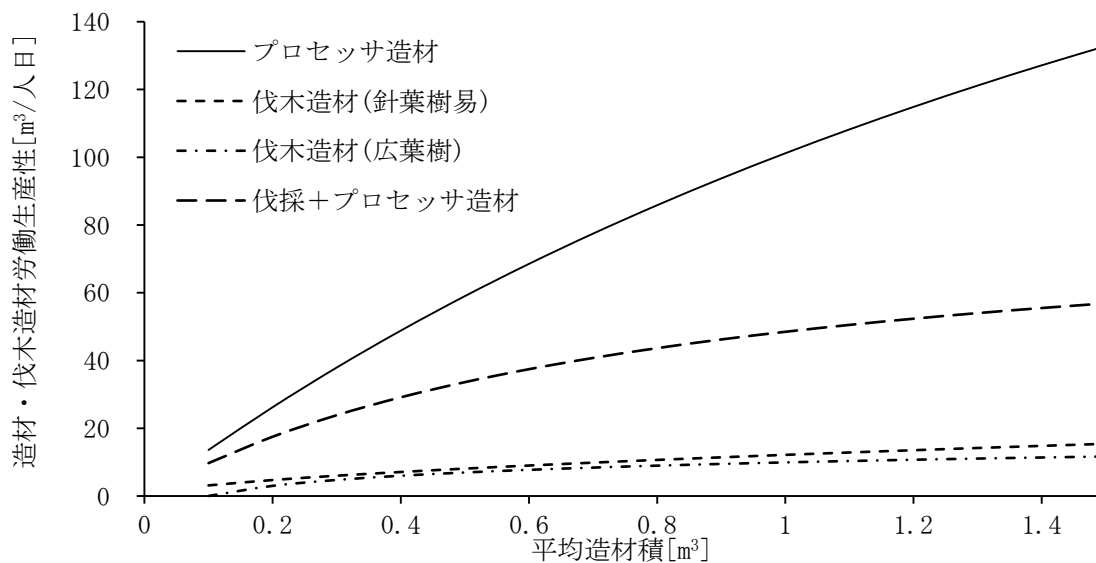
表 2-15 伐木造材の補正

(ア) 傾斜度による補正

傾斜度 20 度以下	1.00
傾斜度 21 度～30 度	0.95
傾斜度 31 度以上	0.90

(イ) 地表植生による補正

用具を持ち歩行するに支障が無く、かつ根際の支障物は僅少で作業に支障のない程度	1.00
小柴、かん木類等の発生はあるが、普通の状態用具を持ち歩行するに支障を感じない程度	0.95
根曲竹等高さ 1.5m 以上、笹類の密生地又は伏状、小柴の密生地等で用具を持ち歩行に特に支障が大きく、若干刈払いをする程度	0.90



※伐採の補正係数はすべて 1 とした

図 2-7 平均造材積と造材・伐木造材の労働生産性

## 2.7 小運搬工期調査

### 2.7.1 結果、作業時間式の調製及び作業従事率

小運搬工期調査は、表 2-16 の 1 箇所で行った。単位作業は、積込み場所への「空走行」、材を掴んで積込む「積込み」、材を土場へ小運搬する「実走行」、土場で材を下ろす「荷下ろし」、それ以外の「その他」とした。

表 2-17 に小運搬工期調査地の作業時間を示す。

1 サイクル当たりの小運搬作業時間式は次式のとおりとした。

$$T_u = 0.952L_F + (7.331/V_C + 60.062/V_B)V_F + 142.36$$

ただし、

$T_u$  : 1 サイクル当たりのフォワーダ小運搬時間 [s]

$L_F$  : 走行距離 [m]

$V_F$  : フォワーダ積載材積 [m<sup>3</sup>]

$V_B$  : 積込み機 (グラップル) 1 掴み材積 [m<sup>3</sup>]

4m 材はカタログから下記のとおりとした。

フォワーダ搭載機 : 0.533m<sup>3</sup>

重機グラップルヘッド : 0.627m<sup>3</sup>

$V_C$  : 平均丸太材積 [m<sup>3</sup>]

なお、フォワーダ小運搬の作業従事率は表 2-17 から 62.0% とし実小運搬時間を 3.72 時間とした。この結果は間伐設計版との大きな差はなかった。

### 2.7.2 小運搬作業工期の特徴

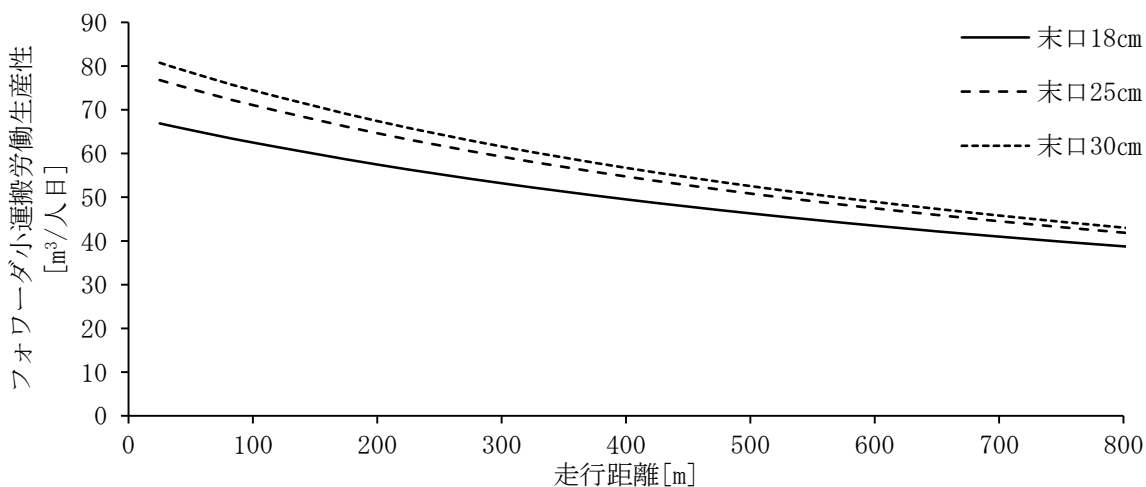
図 2-8 に運搬距離とフォワーダ小運搬の労働生産性との関係を示す。丸太の径が大きくなるに従い労働生産性は高くなるが増加率は鈍化する傾向であった。

表 2-16 小運搬工期調査箇所

調査地 No	小運搬地
使用機械	5t 級フォワーダ
調査日時	H29. 6. 13
調査地	佐久穂町
作業実施者	南佐久北部 森林組合
積載丸太材積 括弧内は平均	0.01~0.41m <sup>3</sup> (0.15m <sup>3</sup> )
調査サイクル数	4(走行)、39(積込み)、35(荷下し)

表 2-17 小運搬工期調査地作業時間 単位 [s]

単位作業	小運搬地	備考
空走行	900	
積込み	3,065	
実走行	1,036	
荷下ろし	1,186	
その他	3,787	
作業時間合計	9,974	
その他/作業時間合計	38.0%	



※条件 : フォワーダ積載量 5m<sup>3</sup>、1 掴み 0.533m<sup>3</sup>、4m 丸太で末口径は凡例のとおり

図 2-8 運搬距離とフォワーダ小運搬の労働生産性

2.8 機械地拵え工期調査

2.8.1 結果及び作業従事率

機械地拵え工期調査は、表 2-18 の 3 箇所で行った。単位作業は、地拵え開始場所への「空移動」、地拵え作業一連を「地拵え」、それ以外を「その他」とした。

表 2-19 に地拵え作業時間一覧を、図 2-9 に林地傾斜と機械地拵えの労働生産性との関係を示す。今回の調査では、両者の間に関係性は見られなかつた

( $P < 0.05$   $t = 0.28$ )。このため、作業工期は平均値 (5,926 $m^2$ /人日) を用いることとした。この結果は大矢ら(2020)による結果とは異なったが、お互いの調査事例を標準化するまでの解析事例とは言えず、当面は一つの式で表すこととした。今後、調査事例が増加する中で改善を検討すべき内容といえる。

地拵えの作業従事率は表 2-19 から 84.3%とし、実機械地拵え時間を 5.06 時間とした。

表 2-18 地拵え工期調査調査箇所一覧

調査地 No	地拵え地 1	地拵え地 2	地拵え地 3	備考
使用機械	0.45 $m^3$ 級 バケツ	0.45 $m^3$ 級 バケツ	0.25 $m^3$ 級 グラップル	
調査日時	H29.6.23	H29.9.15	H30.8.23	
調査地	佐久穂町	佐久穂町	佐久穂町	
作業実施者	南佐久北部森林組合	(株)吉本	(有)カネホ木材	
林地傾斜	18~23°	21~26°	16~30°	
調査サイクル数	3	8	1	

表 2-19 地拵え工期調査地作業時間一覧

単位作業	地拵え地 1	地拵え地 2	地拵え地 3	合計	備考
空移動	679	1,846	244	2,769	
地拵え	2,028	10,380	724	13,132	
その他	1,276	1,325	359	2,960	
作業時間合計	3,983	13,551	1,327	18,861	
その他/作業時間合計	32.0%	9.8%	27.1%	15.7%	

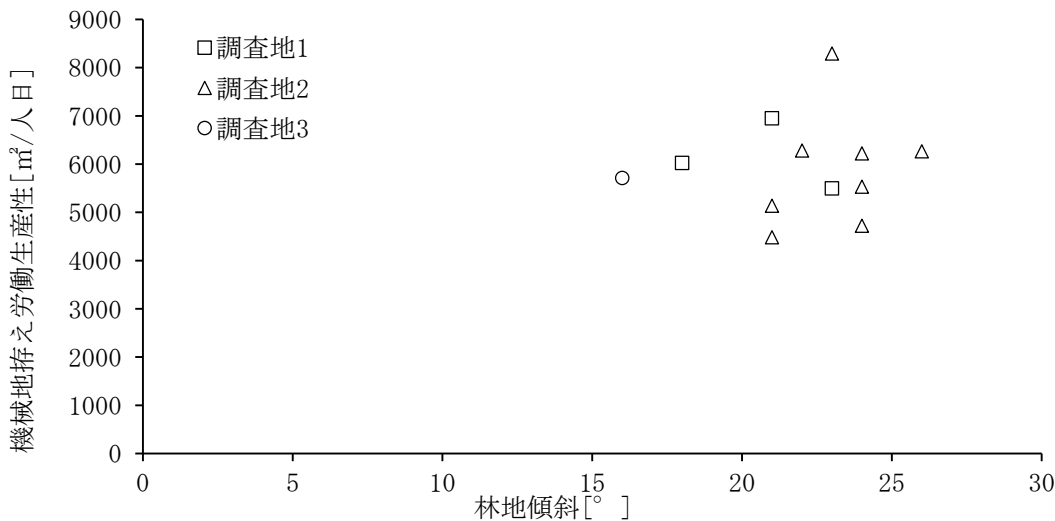


図 2-9 林地傾斜と機械地拵えの労働生産性



## 2.9 皆伐設計版の調製

### 2.9.1 皆伐設計版の特徴

これまで調製してきた1サイクル当たりの作業時間式及び作業工程式を間伐設計版に組み込んで皆伐設計版を調製した。皆伐設計版の画面の例を図2-10に示す。

皆伐設計版には以下の3点を新たに組み込んだ。

- ① 上限路網密度の設定
- ② 木寄せ・造材・地拵えにおける複数方法の選択
- ③ 一貫作業システムへの対応

①は、できるだけ直取りができるよう路網密度を高くする現場が多く見られ、林地保全上路網による潰れ地面積が増えるのは好ましくないため、潰れ地面積上限を林地全体の概ね15%未満となるように設定した。表2-20に林地傾斜と潰れ地率の概略を示す。

②は、木寄せにおいて、道端はグラップル等による直取り、届かない場所はスイングヤーダ等別方法が取られていることが多かったこと、造材はプロセッサで造材できない径及び太い枝により手造材が生じていたこと、地拵えでは林地傾斜が急で林地内へ進入できない場合でも道沿いは機械で

地拵えをしていたことから複数方法が選択できるようにした。なお、木寄せ・地拵えは道から一定距離内の面積を算出し、立木が均等配置されていることを前提に面積割合から材積割合を算出することとした。道から一定距離内の面積は、作業路網計画支援ツール(松本・古川2007)を用いた。図2-11に作業路網計画支援ツールで出力した画面の一例を示す。作業路網計画支援ツールで民有林18箇所26区域、国有林17箇所33区域を解析した。路網密度と道から25mの範囲内にある面積率との関係を図2-12に示す。図2-12からは、路網密度が200m/haの時は道から25m以内の面積率は約7割となり、それ以外の面積率は約3割となることを示している。この場合、道に向かって木を伐倒した場合、全体面積の約7割がグラップル等による直取りができ、残りの3割は単胴ウインチ等による木寄せができることとした。同様に地拵えでは0.45m<sup>3</sup>級のグラップルを使うことを前提とし、道から7m以内の面積率を求めて皆伐設計版に反映させた。

③は、地拵えと植栽の作業工程を組み込むこととした。なお、植栽は長野県林務部(2000)及び日本治山治水協会(2019)の作業工程を用いた。



図2-10 皆伐設計版の画面例

表 2-20 林地傾斜と潰れ地率

路網密度 [m/ha]	林地傾斜								
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	39°
50	3%	3%	3%	3%	3%	3%	4%	5%	9%
100	5%	5%	5%	6%	6%	6%	7%	9%	18%
150	7%	8%	8%	8%	9%	10%	11%	14%	28%
200	10%	10%	11%	11%	12%	13%	14%	18%	37%
250	13%	13%	13%	14%	15%	16%	18%	23%	46%
300	15%	16%	16%	17%	18%	19%	22%	27%	55%

※1 切土法頭～盛土尻+2mを潰れ地幅とし、平行に路網が走る矩形林地で潰れ地率を算出

※2 潰れ地面積率を概ね15%未満に抑えるべく路網密度の上限を下記のとおり設定。

- 1) 平坦～緩傾斜地(0～15°) : 250m/ha
- 2) 中傾斜地(15～25°) : 200m/ha
- 3) 急傾斜地(25～35°) : 150m/ha
- 4) 急峻地(35°～) : 50m/ha

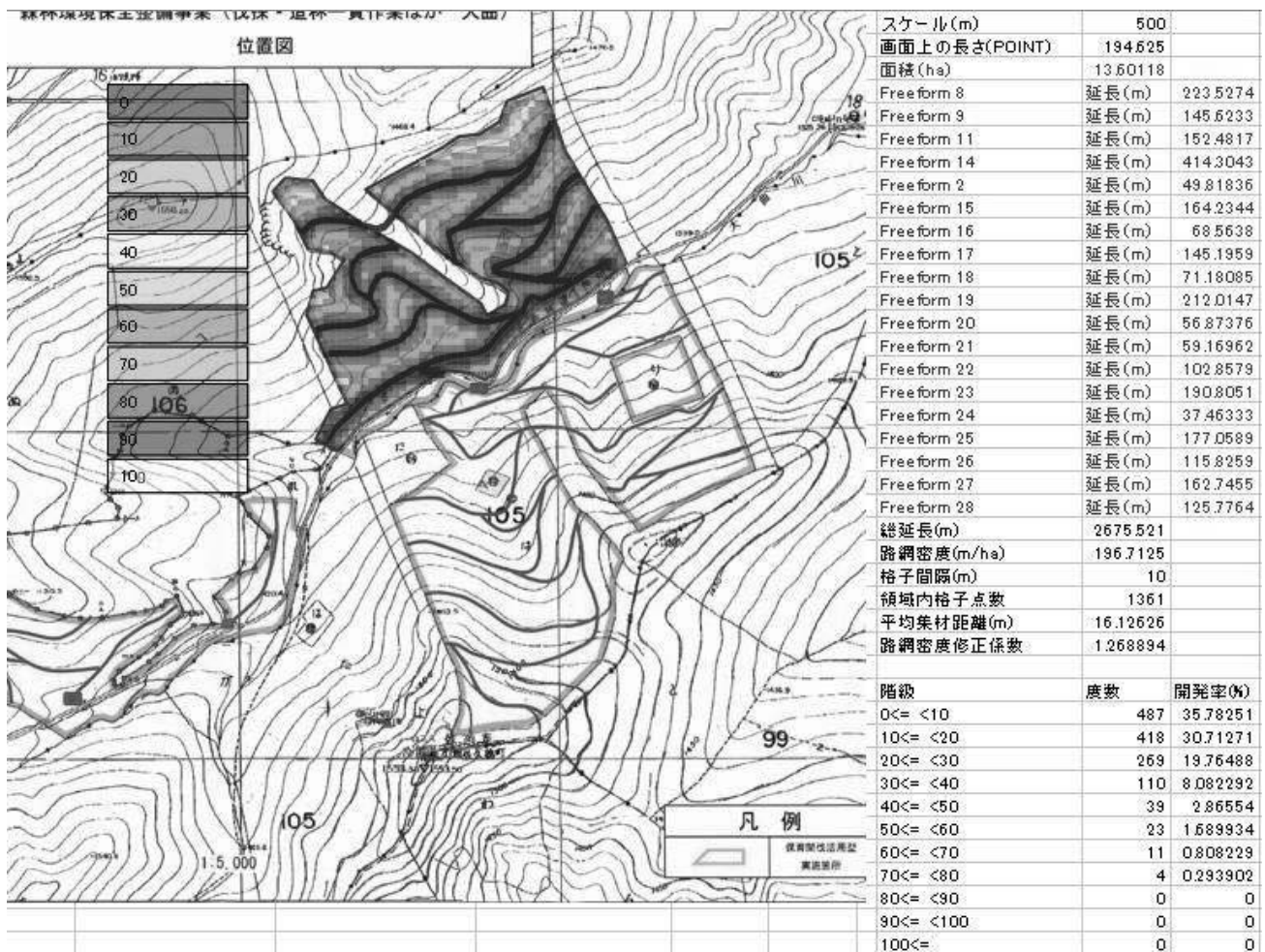


図 2-11 作業」路網計画支援ツール出力画面

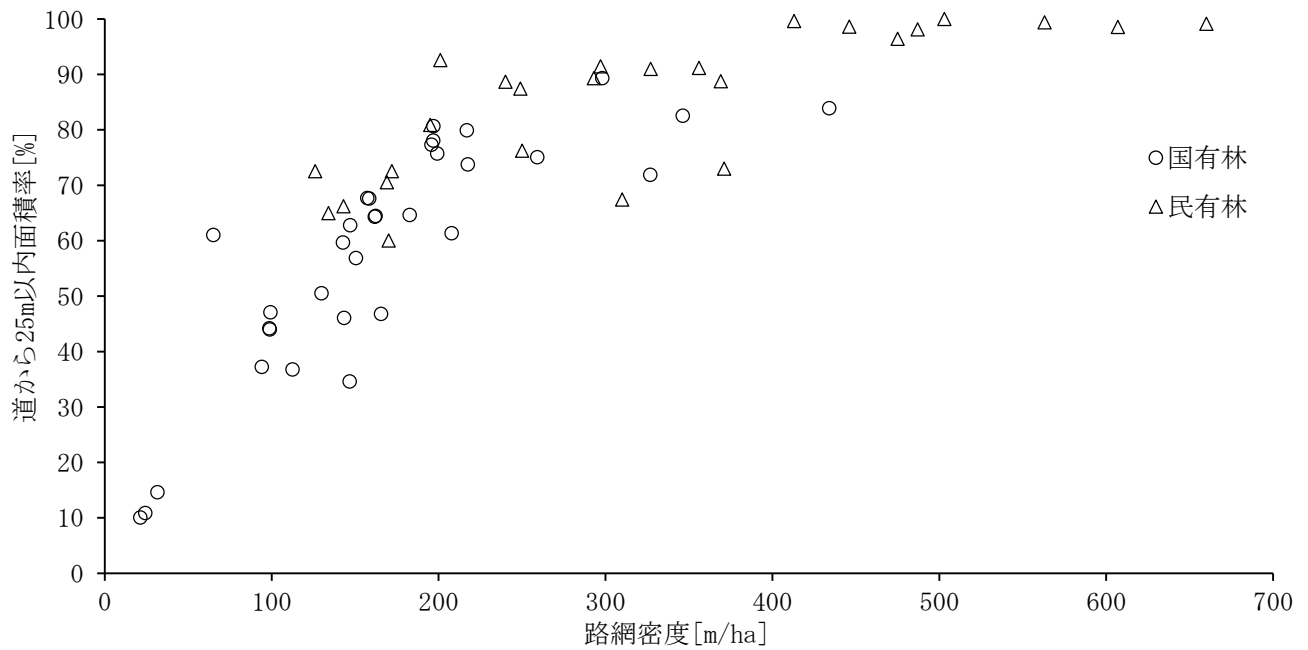


図 2-12 路網密度と道から 25m 以内面積率

### 2.9.2 皆伐設計版の使用範囲

今回調製した皆伐設計版は、長野県の県有林事業における皆伐や伐採造林一貫作業を行う際の設計積算システムとして開発したものである。開発にあたっては、県内各地で調査を行い、その結果をもとに作業時間式を定めた。今回、この研究報告において、過去に作成された間伐設計版とともに作業時間式を公開することで、現在使用している間伐設計版と皆伐設計版を合体させた設計積算システムの開発も容易になるとと思われる。

加えて、高性能林業機械や I C T 技術の進展などで作業システムに大きな変更が発生し、作業時

間式が現実とは不整合となる場合も考えられるが、その際にも関係分のみの作業時間式を調製することで、対応が可能になる。

また、本システムはあくまで長野県県有林事業を念頭に置いたシステムではあるが、同様の森林を保有する市町村等の公有林でも、活用できる可能性はある。

ただし、本システムの調製にあたっては本章内で紹介した事例調査の結果に基づいており、現在の標準的な作業時間を示したものであることをご理解いただきたい。

### 第3章 効率性に影響を与える作業実態

前章では、伐採造林一貫作業を念頭にした皆伐作業における標準的な素材生産設計システムを調製した。その際には、作業現場での工期調査を行ってきたが、工期調査に影響を及ぼす可能性のある作業がいくつか認められたことから別に調査を行った。とはいえ、こうした事例はまだまだ少なく標準的であるかどうかの議論が残ることから、今回調製した素材生産設計システムの中には組み入れなかったが、現地で同様の作業を行う上では重要な視点である。そこで、今後に向けた問題提起を含め3項目について紹介する。

#### 3.1 下層木が繁茂している場合の扱い

##### 3.1.1 目的

長野県民有林に多いカラマツ林やアカマツ林は、下層に高木性広葉樹が多く発達する(小山・山内 2011)ことが多い。しかし、前章までに整理した皆伐設計版では、下層木の除去に関する歩掛は示されていない。

全国的に植栽面積が多いスギやヒノキでは、県内の調査(小山・山内 2011)でも下層木が少ないため、下層木処理のコストは無視できる。しかし、カラマツ林やアカマツ林では1,000本/haを超える高木性広葉樹が存在する事例も多く、皆伐作業時の支障になる可能性が高いが、どの程度の掛かり増しを考慮すれば良いかわからない。

そこで、下層木が成立するカラマツ林で、皆伐作業時に調査を行いその実態把握を試みた。なお本項は、中部森林研究(百瀬ら 2018)に投稿した内容を元に再構成したものである。

##### 3.1.2 調査の方法

カラマツ林の皆伐では、作業の支障となることや皆伐後の再生林が難しくなることなどから下層木をすべて除去することが一般的である。

下層木の除去方法については、伐採前に刈り払い機などで下層木のみを先行伐採するケースと、皆伐時に伐採木と下層木を同時にチェーンソーで伐採する同時伐採がある。

今回は、同時伐採の現場(表 3-1)でビデオカメ

ラによる解析を行った。ここでは、皆伐区域の一角に0.1haの調査区を設け、その中で目的木であるカラマツと目的木以外の下層木を合わせて伐採した。作業時間の分析はカラマツの伐倒にかかる「カラマツ伐倒」、カラマツ以外の下層木を伐採する「下層木処理」、立木間を移動する「移動」、給油等の「その他」にわけ、カラマツ伐倒に対する下層木処理の時間割合を計算した。

なお、先行伐採に関しては、ビデオカメラによる調査が難しかったことから、県下4現場で行われた先行伐採事例について、作業日報を入手し、これを解析して下層木処理に掛かる時間を参考資料として検討した。

##### 3.1.3 結果

同時伐採を行った現場の結果を表 3-2 に示す。今回の皆伐では、搬出を考慮して作業道に向かって伐採したため、重心と異なる立木についてはくさびを用いていた。くさびによる伐倒はそのまま倒す自然伐倒に比べて時間が掛かる。ただし皆伐作業では、どの場所でも搬出を考慮した伐採が行われることを考えると、両者が混ざること自然の結果であると推定でき、1本あたりの作業時間は全体平均の125秒と考えられた。このうち、移動、カラマツ伐倒、その他は、カラマツのみを伐倒する際にも必要な時間であると考え、カラマツ伐倒に100秒/本が必要で、下層木の伐採に25秒/本を要していたことから、25%が下層木処理に必要な掛かり増しと判断できた。

一方、県内4現場の作業日報の解析結果を表 3-3 に示す。現場の中には一部アカマツとカラマツの混交林も見られるが、アカマツ林もカラマツ林と同様に下層の高木性広葉樹が多いこと(小山・山内 2011)から、同様に整理した。

4現場ともに単位面積あたりの上木伐倒時間は、22~30時間/haだったが、先行伐採は22~50時間を要しており、この4現場の結果から見ると、掛かり増しは74%~219%と、同時伐採よりも大きくなった。

##### 3.1.4 考察

同時伐採の現場におけるビデオカメラの解析

結果から、下層木が繁茂しやすいカラマツ林やアカマツ林で皆伐を行う際には、通常の伐採時間に加えて下層木伐採にかかる時間として 25%程度は考慮したほうが良いとの結果が得られた。

また、作業日報の解析からは、先行伐採の場合は同時伐採に比べてさらに時間がかかっている傾向が伺えた。しかし、今回作業日報の解析を行った現場については、皆伐前の現地調査が行われていないことから、下層植生の繁茂状況がわからない。とはいえ、先行伐採の場合は、先行伐採時と本伐採の 2 回にわたって全域を歩く必要があり、先行伐採時にも移動時間が必要である。さらに、今回の先行伐採では主に刈払機が使用されていたが、刈払機は、「かん木類の伐採は切断部の直径が 8cm 以下とすること」が望ましいとされる(林災防

2013)。同時伐採の現場でもそれ以上の下層木が存在したことを踏まえると、刈払機のみによる先行伐採は不可能で、チェーンソー作業を併用した可能性があり、その分移動に手間がかかったことは予見できる。

一方で、同時伐採の場合は伐採時にチェーンソーの駆動時間が長くなり、振動障害防止の観点から望ましいとされる一日二時間以内の基準(林災防 2020)を超えることも予見され、どの場合がもっと効率的であるかどうかは判断できなかった。いずれにしても、下層木が繁茂することが多いアカマツ林やカラマツ林の皆伐作業においては、下層木処理に手間がかかることは間違いがなく、一定の配慮が必要である。

表 3-1 調査地の概要

調査地	標高 (m)	平均傾斜 (°)	林齢 (年)	上層カラマツ (本/ha)	下層木(本/ha)		主な下層木
					10cm以上	10cm未満	
長野県南佐久郡 佐久穂町大熊	1,260	20	62~64	550	160	3,730	クリ、ミズナラ、ウワミズザクラ、ウリハダカエデ

表 3-2 皆伐作業における伐倒方法ごとの作業時間分析結果

伐倒方法	本数 (本)	平均作業時間(秒/本)				合計
		移動	カラマツ 伐倒	下層木処理	その他	
くさび使用	22	12.9	102.7	18.5	5.6	139.6
自然伐倒	33	17.6	61.5	30.2	5.3	114.6
全体	55	15.7	78.0	25.5	5.4	124.6

表 3-3 県内 4 現場の作業日報から見た刈払い機による先行処理の作業時間分析結果

現場名 樹種	A	B	C	D
	カラマツ	カラマツ/アカマツ	カラマツ	カラマツ
伐採面積 (ha)	2.86	1.54	4.69	3.99
伐採方法	チェーンソー	チェーンソー/ ハーベスタ併用	チェーンソー/ ハーベスタ併用	チェーンソー/ ハーベスタ併用
成立本数 (本/ha)	416	300	509	517
林分材積 (m <sup>3</sup> /ha)	368.9	251.3	292.3	378.9
伐採時間 (時間/ha)	22.7	26.9	23.5	29.7
先行刈払い (時間/ha)	49.8	22.2	31.0	22.1

## 3.2 広葉樹皆伐作業における造材

### 3.2.1 目的

県内民有林の40%を占める広葉樹林に関しては、そのほとんどがパルプやチップ材として利用されており、用材利用が進んでいない。この原因の一つとして、用材としての利用率がわからないことも考えられるため、県内で皆伐を行う広葉樹林で立木の状態と伐採後の利用実態を調査し、用材として利用できる状況の把握を行った。なお本項は、中部森林研究（小山ら2020）の内容を一部改変したものである。

### 3.2.2 調査方法

調査は、長野県諏訪郡下諏訪町の下諏訪県有林で実施した（表3-4）。ここでは、広葉樹林の皆伐に際し、事前にその生産量を予測するため、皆伐区域内に成立している胸高直径10cm以上の全木調査が行われた、調査は複数の林業普及指導員による班を編成し、班ごとに樹種、樹高と胸高直径を測定した後に、職員同士が合議を重ねて家具用材（A材）または床板材（B材）として生産可能な量を検討した。その結果を受けて皆伐作業を発注し、落札した林業事業体による皆伐が行われ、当該事業体から最終的な利用材積の資料を聞き取った。

今回の調査は林業普及指導員が行った立木時における採材予測量と林業事業体による販売量との違いを把握するとともに、皆伐作業時に造材作業の功程をビデオカメラで撮影した。撮影は皆伐作業を行っていた、2018年12月25日、2019年3月5日、3月29日の3日間実施し、合計110本の造材作業をVTRで撮影した。撮影したVTRを室内に持ち帰って造材作業の時間解析を行った。

### 3.2.3 結果

皆伐前に実施した下諏訪県有林2.4haの全数調査の結果、図-2のとおり全体材積の18%にあたる58m<sup>3</sup>がA材として、B材を含めると138.2m<sup>3</sup>が用材利用可能と判断し、皆伐事業を発注した。事業終了後に落札事業体から聞き取ったところ、実際に生産されたのは54.8m<sup>3</sup>に留まった（図-3）。

功程調査の結果、造材作業では、用材として利用できる2.1mの直材を多く確保するため、材を並

べて矢高の測定を行い、用材の採材可能箇所をその都度選別していた。今回の作業は、グラップル作業者とチェーンソー作業者の2名で行っており、1m<sup>3</sup>の広葉樹を生産するために2名で11分15秒/m<sup>3</sup>かかっていた。その内訳は、採材位置を定めるためにグラップルで1本ずつ材を並べる作業で2分25秒、採材位置を定める材の測定に2分50秒、チェーンソーによる玉切りとグラップルによるはい積で6分00秒だった。

調査した110本中、個体が特定できた6本について、出材予測量と実際の出材量を材積で比較したところ、6本とも事前の予測よりも実際の出材量が多かった。これは、通常ならば搬出ししない末口径6cm程度の小丸太を薪やチップとして生産したほか、枝の一部をキノコ原木として採材していたことに由来した。

ただ、用材を採材するために切り落とした短尺材や、チップ用としても需要が低いシラカンバなどは利用できず、生産量は伸びなかった。

### 3.2.4 考察

今回の結果から、広葉樹は、立木の状態ではまっすぐに見えたとしても水平に倒すと曲がっている場合が多かった。今回のように立木状態で利用率を推定しても出荷量に反映せず、丁寧な採材を行っても15%に留まった。とはいえ、この場合の造材にかかる生産性は、2.67m<sup>3</sup>/人時で、針葉樹の皆伐作業における造材工程の平均生産性11.3m<sup>3</sup>/人時（大矢ら2016）と比べて非常に低かった。今回の採材により、チップ価格の2.5倍で用材を販売できたが、造材手間を考えると生産性が良いとは言えなかった。

この結果を考えると、現場技術者が時々口にする「広葉樹は用材が一割出ればよい」という経験談に、概ね間違いがないと思われ、直材を利用しようとした場合の用材（A・B材）利用率は10%程度が妥当といえた。

表 3-4 調査地の概要

市町村名	林班名	面積	優占種	成立本数	平均樹高	平均DBH	施業期間
下諏訪町	41-口-3	2.4ha	ミズナラ	625本/ha	15.7m	22.9cm	2018年12月～2019年3月

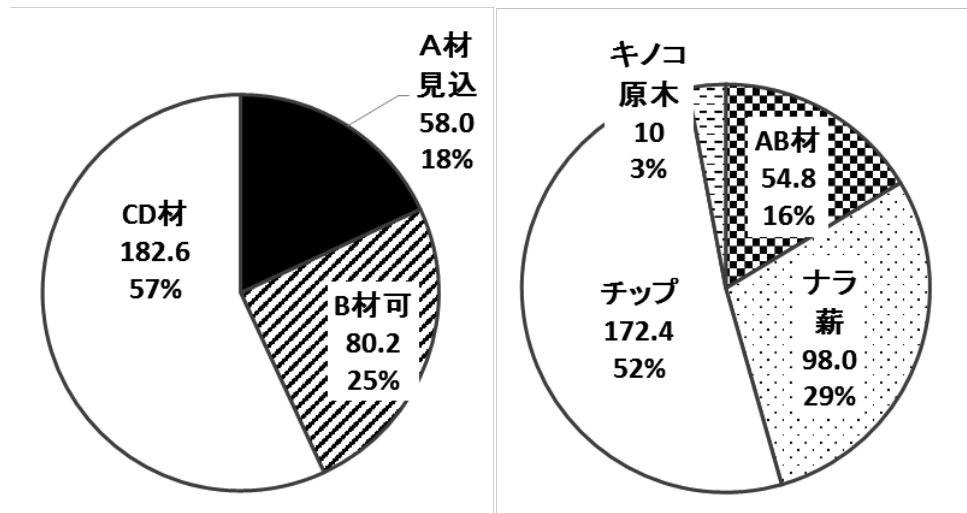


図 3-1 事前調査による出材見込み材積(左)と実際の生産材積(右)の構成比

### 3.3 チェーンソーの標準鋸断時間

#### 3.3.1 目的

チェーンソーは排気量が大きくなればなるほど、標準で装着されるガイドバーの長さが長く、大径木を鋸断する際に有利と考えられる。今回の調査では2.4章の伐倒調査において、実際に伐倒作業を解析した。その結果、1本あたりの作業時間式にチェーンソー排気量別補正係数を組み込んだ。その際に一人の伐倒士が他と比較して遅く、解析からは外したが、そもそも伐倒作業における標準的な鋸断時間が不明だった。

そこで、標準的な鋸断時間を検討するための資料として、中部森林研究(百瀬ら2019)に投稿した内容を元に再構成したものである。

#### 3.3.2 調査方法

調査は、当センターで実施している労働安全衛生規則に基づくチェーンソーの特別教育に参加した研修受講者138名を対象として実施した。受講者に対しては、普段使用しているチェーンソーを整備済みの状態で持参するように周知し、60分間の目立てに関する座学が終了した時点で持ち込ん

だ状態(目立て実習前)のチェーンソーにより、直径20cmのアカマツ丸太材を輪切りし、その時間を計測した。なお、輪切りについては、目立て前と後、すべて同じ指導官が行うとともに、同じ丸太を切断することにより、力加減、材質の違いによる差をなくすよう配慮した。

時間計測後の結果を黒板に記載し、受講者全体で共有したのち、受講者それぞれが約30分間目立てを実施した。

目立て実習後、再度同じ指導官により、20cmのアカマツ丸太の輪切りし、その時間を計測した。

#### 3.3.3 結果

目立て作業前の切削時間は、10秒以内で鋸断できた者が24%だった一方で、11秒～15秒が24%、16秒～20秒が17%、50秒以上掛かったものも全体の10%程度あった。

それに対し目立て後は10秒以内で鋸断できたケースが32%に増加し、11秒～15秒までを含めると全体の67%を占めていた。

目立て前後の切削時間を個人別に比較したところ、(図-2)、目立て前の切削時間が遅い人ほど、

30分間の目立て作業での効果が顕著だった。一方、目立て前の切削時間が10秒以内だった人は、30分間の目立て作業でも切削時間に変化がなかった。目立て前から10秒以内で切削できた受講生の多くは、普段から丁寧な目立てを心がけているとした人が多かった。このことから通常の見立てを行ってれば、20cm程度のアカツ丸太は10秒以内で切削できると判断できた。

### 3.3.4 考察

チェーンソー作業において目立ての重要性は様々なところで言われているが、実際にどの程度

の鋸断時間が適正なのかは不明だった。しかし、今回の結果から、正しく目立てが行われていれば、20cmのアカツ材が10秒以内で切削できると判断できた。チェーンソーはその排気量によって能力が異なることは指摘されているが、今回の用いたチェーンソーは、主に30~50cc未満の中小型の機種がほとんどで、こうした機種を使っている限りは、排気量との関係は見いだせなかった。

ただし、50ccを超えるチェーンソーでは、表2-8でも示したように1本あたりの鋸断時間が異なっており、排気量の大きな機種については別の指標を検討する必要があると思われる。

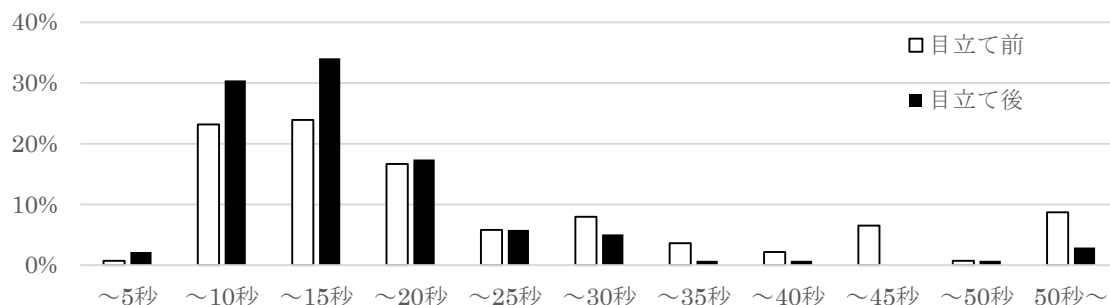


図3-2 目立て指導前後の切削時間の変化（全体）

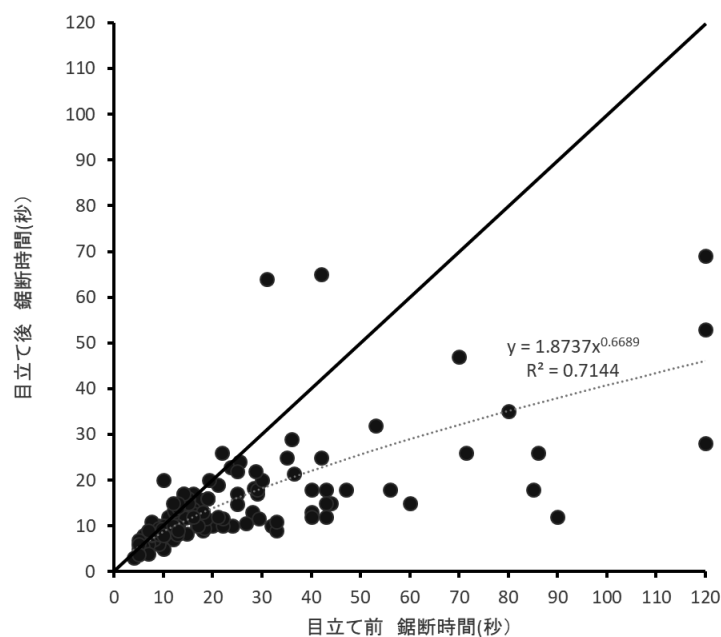


図3-3 目立て指導前後の切削時間の変化（個人別）



## 第4章 まとめ

今回の調査により、高性能林業機械を用いて、伐採造林一貫作業を念頭においた、長野県の県営林事業で運用可能な皆伐設計版の調製を行った。

各作業の1サイクル当たりの作業時間式は以下のとおりとした。

・伐倒： $T_b=125.28rtV+29.66pqs$  (2.4章)

なお、伐倒と同時に行われることがある周辺木伐採についてはアカマツ林とカラマツ林で一定の配慮が必要となること(3.1章)、木寄せ前作業は広葉樹伐採に必要な作業とした。

・木寄せ：

車両系： $T_{tg}=S_0+1.6904L_0+29.137$  (2.5.1章)

架線系：使用機材ごとに設定 (2.5.1章)

木寄せ距離と労働生産性との関係及び安全性から、林地傾斜が $15^\circ$ 未満はグラップルによる直取りが、 $15^\circ$ 以上で平均木寄せ距離が40m程度までであれば単胴ウインチが、40~300m程度までであればタワーヤーダが、それ以上は本格架線が有利と判断した。

・造材：

プロセッサ造材： $T_{zp}=30.296V_z+75.8$  (2.6章)

手造材：条件により設定 (2.6.1章)

・小運搬：

$T_u=0.952L_F+(7.331/V_C+60.062/V_B)V_F+142.36$   
(2.7章)

・機械地拵え：5,962  $m^2$ /人日 (2.8章)

また、間伐設計版との主な違いは、①上限路網密度の設定②木寄せ・造材・地拵えの複数方法選択可③一貫作業システムへの対応④複数樹種選択可、とした。

皆伐設計版の課題は、調査件数が少なかったため、樹種別、林地傾斜別、木寄せの上げ荷下げ荷別等現場条件による補正係数の導入ができなかったことである。また間伐設計版も皆伐設計版もExcelで作成しているが、計算の参照元及び参照先が非常に分りづらいため、整頓し直すことが必要である。この点は今後の調査研究及び維持管理に期待したい。

また、今後に向けた課題としてカラマツ林やアカマツ林における下層木処理、広葉樹の用材生産量、標準的なチェーンソー作業の鋸断時間などの

資料を得た。今後は、こうした資料を積み上げることでより効率的な皆伐作業につなげていくことが求められる。

なお、最後になりましたが調査に協力いただいた県内各林業事業者の関係者の皆様を始め、調査に協力を頂いた各地域振興局の関係者の皆様にご場を借りて感謝申し上げます。

本報告の執筆については、第1章と第4章を高野と小山が、第2章については高野が、第3章については小山と百瀬が担当した。

## 引用文献

- 今井信・宮崎隆幸・近藤道治(2003)機械化作業システムに適合した森林施業法の開発—生産性の把握と作業時間解析作業工程の検討—,長野県林総セ研報 17. 21-28.
- 今井信・近藤道治・宮崎隆幸(2007)長期育成循環施業等に対応した高性能林業機械化作業システムの開発 (I) —列状間伐での伐出作業の実態調査 (伐区調査) —,長野県林総セ研報 22. 1-10.
- 小山泰弘・山内仁人(2011)針広混交林造成に向けた更新技術の開発,長野県林総セ研報 25. 29-44.
- 小山泰弘・間島達哉・峰村政輝・高野毅・百瀬浩行 (2020) 70年を超えたミズナラが優占する二次林でどのくらい用材が生産できるのか?,中部森林研究 68, 73-74.
- 松本武・古川邦明(2007)作業路網計画支援ツールの作成,森林利用学会誌 22. 181-186.
- 宮崎隆幸・白石立・近藤道治・橋爪丈夫・今井信 (2011)信州式搬出法の生産性に関する研究—労働生産性と残存木損傷調査—,長野県林総セ研報 25. 9-16.
- 宮崎隆幸・今井信・白石立(2011)高性能林業機械による作業システムの開発—作業工程別労働生産性の調査—,長野県林総セ研報 25. 1-7.
- 水田展洋・水戸辺栄三郎(2008)間伐見積シミュレーションソフトの開発,宮城県林業試験場成果報告 17. 39-51
- 百瀬浩行・小山泰弘・高野毅・大矢信次郎 (2018)カラマツ林の皆伐作業における下層木の影響,

- 中部森林研究 66. 91-92.
- 百瀬浩行・小山泰弘・高野毅 (2019) チェーンソーの目立て学習の効果について, 中部森林研究 67. 75-76.
- 長野県林務部 (2000) 治山事業 (森林整備) 設計標準歩掛, 長野県林務部. 長野
- (一社) 日本治山治水協会・日本林道協会 (2019) 治山林道必携 (積算・施工編) 上下巻, (一社) 日本治山治水協会・日本林道協会. 東京
- 小野純哉・高野毅 (2018) 完全油圧制御の集材機がもたらす架線集材作業における効果, 機械化林業 775. 1-6.
- 大矢信次郎・斉藤仁志・城田徹央・大塚大・宮崎隆幸・柳澤信行・小林直樹 (2016) 長野県の緩傾斜地における車両系伐出システムによる伐採・造材一貫作業の生産性, 日林誌 98:233-240.
- 大矢信次郎・中澤昌彦・猪俣雄太・陣川雅樹・宮崎隆幸・高野毅・戸田堅一郎・柳澤賢一・西岡泰久 (2020) 優良苗の安定供給と下刈り省力化のための一貫作業システム体系の開発ー緩傾斜地から中傾斜地における機械地拵え作業の生産性とコストー, 長野県林総セ研報 34: 31-40.
- 林業機械化協会 (1996) 林業機械便覧, 林業機械化協会. 東京
- 林災防 (2013) 安全な刈払い作業機作業ポイント, 刈払機取扱作業者に対する安全衛生教育テキスト, 林災防.
- 林災防 (2020) 改訂 2 版チェーンソー作業の安全ナビ, 安衛則第 36 条第 8 項に掲げる業務に係る特別教育用テキスト-伐木等作業者用-, 林災防.
- 林野庁編 (1998) 地域に適合した林業機械システム研究, 林野庁大型プロジェクト研究成果報告書, 林野庁, 東京.
- 白石立・今井信・宮崎隆幸・青柳智司・近藤道治 (2009) 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ー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ー, 長野県林総セ研報 23. 1-13. -
- 高野毅・宮崎隆幸・小山泰弘・間島達哉 (2017) チェーンソー鋸断試験, 中部森林研究 65. 115-116.
- 高野毅・小山泰弘・百瀬浩行・大矢信次郎 (2018) チェーンソー鋸断試験 (II)ー生立木伐倒での比較ー, 中部森林研究 66. 93-94.
- 高野毅・小山泰弘・百瀬浩行・大矢信次郎 (2019) グラップルの木寄せの工期について, 中部森林研究 67. 77-78.
- 高野毅・小山泰弘・百瀬浩行・大矢信次郎 (2020) 機械地拵え作業の特徴と工期, 中部森林研究 68. 67-68.
- 梅田三樹男・辻隆道・井上公基編 (1982) 標準工期表と立木評価, 日本林業調査会. 東京.
- 全国林業改良普及協会編 (2001) 機械化のマネジメント, 社団法人全国林業改良普及協会. 東京