

スイングヤーダによる間伐材生産システム

後藤 誠

要旨：現場状況に応じた合理的な間伐生産システムの構築を目指して、今回、列状間伐により伐倒、スイングヤーダにより全木で集材し、プロセッサで造材する生産システム調査を行ったので報告する。その結果スイングヤーダにより全木で集材し、プロセッサで造材する間伐材生産システムは、1日当たり20m³の生産量があった。

1 はじめに

今、間伐材は採算性の悪化のため、林内に切り捨てられている。このような間伐材を搬出して有効に利用するためには、高性能林業機械を使用した間伐材生産量の増大と効率化が必要である。

そして、機械化による生産効率を向上させるためには「どこで、だれが、どのようにして間伐材を搬出するのか?」ということを念頭に、現場の状況に応じた合理的な生産システムを構築・普及していかなければならない。

今回、列状間伐により伐倒、スイングヤーダにより全木で集材し、プロセッサで造材する生産システム調査を行ったので報告する。

本報告では、各生産工程を担うスイングヤーダ(集材)・プロセッサ(造材)のそれぞれの工程分析と、各生産工程を効率的に結びつける生産システムを検討した。そして最後に、この生産システムを有効に活用できる現場条件を考察した。

2 調査地の内容と調査方法

2.1 調査地概況

調査場所：海部郡海南町小川皆ノ瀬

樹種：スギ 林齢：42年生 施業箇所：約0.5ha 地況：南向き斜面

2.2 間伐(伐木)の方法

間伐方法：列状間伐(4残4伐 - 列幅約8m, 2残2伐 - 列幅約4m), 本数間伐率約50%, 間伐木本数257本, 平均胸高直径23.5cm, 平均樹高16.6m

伐採日時：平成14年2月12日～13日(2日間), 延べ人数4人

2.3 生産に使用した機械と人員

集材作業用機械 - スイングヤーダ(油圧ショベル搭載型ミニタワーヤーダ DW-25)

造材作業用等機械 - プロセッサ(グラップルプロセッサ GPi-40A)

集材及び造材作業に要した人数 - スイングオペレータ1人, 荷掛け者2人, 荷はずし者1人,

プロセッサオペレータ1人 合計5人

集材及び造材調査日：平成14年3月11日～12日

次に、スイングヤーダとプロセッサの作業状況等を写真-1,2で示す。

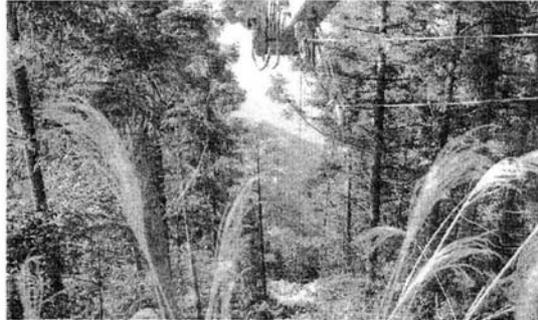


写真-1 列状間伐とスイングヤーダによる集材作業状況

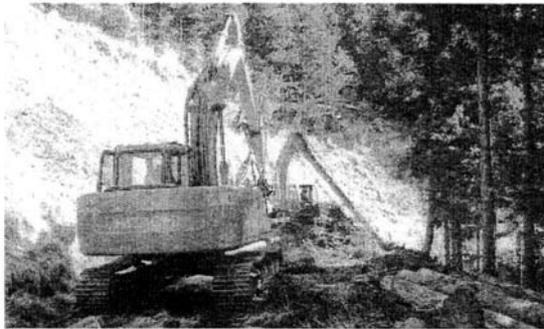


写真-2 スイングヤーダとプロセッサによる作業状況

2.4 工程調査の方法

林道から斜面方向に直角になるよう列を決め、間伐木を選木した。伐木は、番号で印付け後、胸高直径を測定した。樹高を5本標本として測定し、標本木の樹高と胸高直径の相関式を設定し、全ての樹高を推定した。

次に、機械の工程調査として、スイングヤーダの作業工程時間計測と搬出距離の計測、搬出木の番号確認により全幹材積を推定した。プロセッサも同様に、作業工程時間計測と、造材丸太の計測、一部搬出木の番号確認により全幹材積を推定した。なお、この工程調査対象間伐木は、全間伐木257本のうち163本(63%)だった。

3 結果と考察

3.1 スイングヤーダ工程分析

3.1.1 作業工程別時間

集材作業を行ったスイングヤーダ作業工程時間の計測結果は、表-1のとおりである。

表 - 1 スイングヤーダ作業別計測時間

調査月日	列番号	開始時間	終了時間	集材時間	搬出回数	1サイクル時間	移動時間	中断時間	休憩時間	列状間伐形態	最大搬出距離
H14.3.11	1	10:07:00	13:45:00	1:49:53	23	0:04:47	0:10:07	0:13:00	1:25:00	4残4伐	60 m
H14.3.11	2	13:45:00	15:58:00	2:03:50	18	0:06:53	0:01:30	0:09:10		4残4伐	60 m
	計		5:51:00	3:53:43	41 平均	0:05:42	0:11:37	0:22:10	1:25:00		
H14.3.12	3	8:16:00	8:53:00	0:37:00	6	0:06:10				2残2伐	30 m
H14.3.12	16	9:26:00	10:35:00	0:34:49	7	0:04:58	0:23:00	0:34:11	0:10:00	2残2伐	60 m
H14.3.12	15	10:37:00	11:04:00	0:27:00	7	0:03:51	0:02:00			2残2伐	60 m
H14.3.12	14	11:05:00	11:29:00	0:20:30	5	0:04:06	0:01:00	0:03:30		2残2伐	60 m
H14.3.12	13	12:46:00	13:55:00	1:09:00	11	0:06:16	0:17:00		1:00:00	2残2伐	60 m
H14.3.12	12	14:20:00	15:22:00	1:02:00	9	0:06:53	0:05:00		0:20:00	2残2伐	60 m
H14.3.12	4	15:23:00	15:35:00	0:12:00	3	0:04:00	0:01:00			2残2伐	20 m
H14.3.12	5	15:35:00	15:45:00	0:10:00	3	0:03:20				2残2伐	20 m
	計		7:29:00	4:32:19	51 平均	0:05:20	0:49:00	0:37:41	1:30:00		
	1日当たり平均値		6:40:00	4:13:01	46	0:05:30	0:06:04	0:29:56	1:27:30		

1日当たりの作業時間は平均6時間40分で、集材時間が1日平均4時間13分、列から列への1列ごとの移動時間が平均約6分、1日当たりの中断時間が平均30分、1日当たりの休憩時間が平均1時間30分となった。中断時間の内容は、巻き込みドラムのトラブルや集材索の破断に伴うつなぎ作業、また林道を通る車を通行させるための待避時間である。

この中で、列状間伐の形態、4残4伐(列の幅約8m程度)と2残2伐(列の幅約4m程度)別の1サイクル当たりの集材時間は差がなかった。

次に、この時間計測結果を基に、1日当たりの作業別時間比率を図-3で示す。

スイングヤーダの1日当たりの稼働(運転時間)率は、0.71(作業0.64+移動0.07)となった。タワーヤーダの標準的な稼働率が0.8¹⁾であり、中断時間で発生した各種トラブルを改善すれば、さらに稼働時間は増えると思われる。

3.1.2 作業工程別集材能力

次にスイングヤーダの作業を工程別の要素作業別に分析し、標準的な集材サイクルを求めた。今回の集材索張り方法は、単線による地引き集材、ランニングスカイライン方式で行われた。索張り方法は、集材距離や山の傾斜角等を勘案しオペレータ(架線等の集材経験が豊富)の判断により選択された。表-1で移動時間が10分を越える列についての方法で集材された。

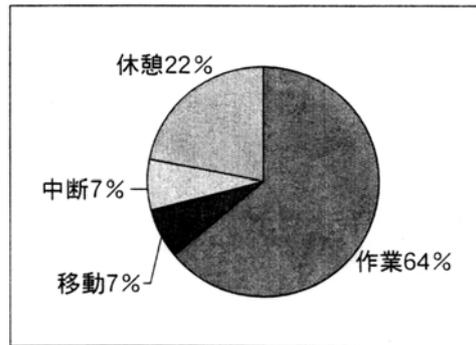


図 - 3 スイングヤード作業別比率

そして、この集材工程の結果を図 - 4 で示す。標準的な 1 サイクル時間を求めた。この中で、引き寄せ時間については、搬出された全幹材積別に工程時間を分析し、この結果を 1 サイクル平均全幹材積 0.6m^3 (他の工程条件に合わせるため)に置き換えて搬出距離別に工程時間を算出した。

集材工程項目	集材距離		
	0 ~ 20 m	20 ~ 40 m	40 ~ 60 m
ワイヤーロープ引き込み時間 (空送)	0 : 01 : 01	0 : 01 : 28	0 : 01 : 51
荷掛け時間	0 : 00 : 20		
材引き寄せ時間 (実送)	0 : 01 : 46	0 : 02 : 18	0 : 02 : 57
荷はずし時間	0 : 00 : 20		
計	0 : 03 : 27	0 : 04 : 26	0 : 05 : 28

↓

1 サイクル (材積 0.6m^3) 当たり時間	3 分 30 秒	4 分 30 秒	5 分 30 秒
------------------------------------	----------	----------	----------

図 - 4 スイングヤードの平均集材サイクル時間

図 - 4 を基に、標準的なスイングヤードの生産性を算出した。

搬出距離 60m 以内で、1 サイクル(全幹材積 0.6m^3)当たりの平均時間を 4 分 30 秒とした。1 日当たりの搬出回数を 51 回(2 日目の 7 時間 29 分のサイクル回数を採用)とすると搬出材積(全幹材積)は $0.6\text{m}^3 \times 51 \text{ 回} = 30.6\text{m}^3/\text{日}$ (参考: 2 日目の推定全幹 38.43m^3)である。スイングヤードに関わった作業人数は 4 人なので 1 人当たりの搬出材積(全幹材積)は $7.65\text{m}^3/\text{日}$ となった。

3.1.3 スイングヤードによる集材作業のまとめ

上記の調査結果より、スイングヤードによる集材作業の特徴を次に示した。

- ・ 機械の架設撤去や簡易な集材索張り方法のため、列から列への移動時間(平均約 6 分)が少ない。
- ・ 機械本体が移動したり、アームをスイング(振る)して林道等の平地に材を下ろすことで、荷下ろしが安定する。次のプロセッサによる造材作業が円滑に行える。

- ・ ハイリード(地引き)を採用する時、根株等の障害物に対しアームを振ることにより、円滑な集材作業が行える。
- ・ バックホー自体の自重で控え索がほとんど必要ない。

3.2 プロセッサの工程分析

3.2.1 作業工程別時間

造材作業を行ったプロセッサの作業工程調査時間の結果は、表 - 3 のとおりである。

表 - 3 プロセッサの作業工程別時間

調査月日	移動時間	造材時間	樅積時間	整理時間	中断時間	付帯時間	休憩時間	計
H14. 3. 11	0:05:00	1:21:00	0:41:24	0:44:16	0:17:40	1:16:40	1:25:00	5:51:00
H14. 3. 12	0:10:50	1:44:33	0:51:32	1:00:25	0:21:20	1:50:20	1:30:00	7:29:00
計	0:15:50	3:05:33	1:32:56	1:44:41	0:39:00	3:07:00	2:55:00	10:25:00

プロセッサのオペレータは、経験年数 10 年の熟練者だったので、材をつかみ・造材・樅積・整理と円滑な作業が行われた。この中で付帯時間の内容は、スイングヤードのトラブルや林道を通る車を通行させるために待避した時間、そして 2t トラックに材を積み込んだ(1日に1車積み込み)時間である。中断時間は、主にスイングヤードのトラブルにより中断された時間である。また、この調査では造材された材の末口径を計測するための余分な整理作業が含まれているので、実際はもう少し短い時間で整理作業が実施できると推察される。

この時間計測結果を基に、1日当たりの作業別時間比率を図 - 5 で示した。

プロセッサの造材作業に係る1日当たりの稼働(運転時間)率は、0.55(移動 0.02 + 造材 0.23 + 樅積 0.12 + 整理 0.13 + 中断 0.05)となった。プロセッサの標準的な稼働率が 0.5¹⁾で、比較的良好な結果と考えられた。

3.2.2 造材能力分析

図 - 6 は、全木(枝葉付きの伐倒木)で搬出された材をプロセッサが処理した造材処理能力を、1本の胸高直径別に処理された造材時間(枝払い・玉切り)で示したものである。

ここでは、調査対象木全 163 本のうち胸高直径が確認された 98 本を調査対象とした。

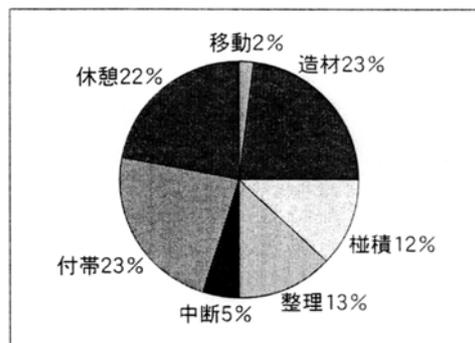


図 - 5 プロセッサ作業別比率

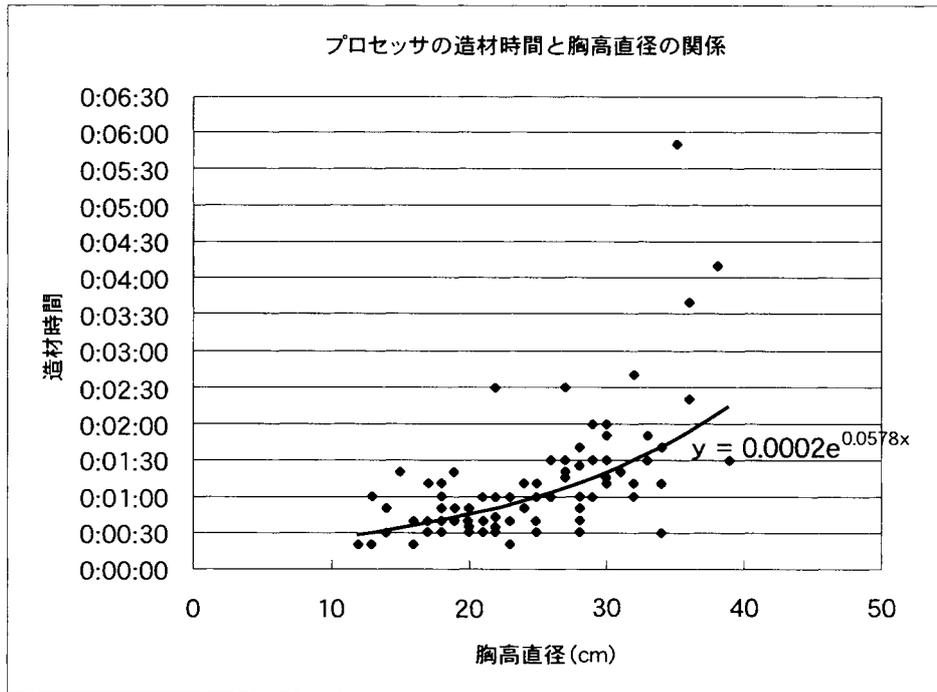


図 - 6 胸高直径別造材時間

造材処理された 98 本のうち、5 本がプロセッサ玉切伐装置(チェーンソー)で玉切りせず、オペレータ自身がチェーンソーを使い人力で玉切り(枝払いはプロセッサ枝払装置による)を行った。この作業は、切断時に木の自重により切断面の割れが発生する可能性があったので行われた。

プロセッサによる全木の胸高直径別の造材時間を相対的な線形で表し、その推定式 $Y = 0.0002e^{0.0578X}$ を算出した。造材された全木 98 本を立木材積に換算した数値は 37.63m^3 となり、造材後の測定した利用材積が 19.92m^3 (利用材積率 53%)であった。地形条件などにより異なるが、搬出された全木のうちおおよそ 4 割程度は根元曲がり著しい木で、元から 1~3m 程度利用されなかったため利用材積が低下したと推察される。

2 日間調査した造材対象木 163 本の利用材積は、1 日目が 12.6m^3 (実作業時間 4 時間 25 分)、2 日目が 20.37m^3 (実作業時間 6 時間)、計 32.97m^3 であった。このことから、2 日目のデータにより、プロセッサの 1 日当たりの造材等処理能力を推定すると利用材積で 20m^3 、推定全幹材積 $20\text{m}^3 \div 0.53 = 37.7\text{m}^3$ 。また、プロセッサによる造材作業に関わった作業人数は 1 人なので、1 人当たり利用材積は $20\text{m}^3/\text{日}$ 、推定全幹材積 $37.7\text{m}^3/\text{日}$ だった。

3.2.3 プロセッサによる造材作業のまとめ

造材作業は、送材用ローラの回転を利用した測尺及び枝払い作業と、油圧式チェーンソーによる切断機構による鋸断作業から構成される。そこで、今回調査時の造材作業上の留意点を次ぎに示した。

- ・ 枝の抵抗が大きい場合は、旋回や送材による慣性を利用する。また、枝払いを先に行

った後に測尺・玉切り作業を行う。

- ・ 径の大きい材や曲がりの大きい材を玉切りする場合は、採材長さを適宜チェックし、チェーンソーによる採材も併用する。今回は、オペレータが目視により末口径 16~20m 程度の丸太(通称適寸材)は長さ 3m, それ以外は長さ 4m に採材された。
- ・ 時々、オペレータが材の曲がり判断できるように、前面で材を直角にして確認作業を行った。また、比較的大きい径の材は、鋸断を低位置で行い材の裂けを防いだ。
- ・ 枝払いにより発生する枝条等は、グラップルで林道盛土面に適宜集積され、路面はきれいに整理された。

3.3 生産システム

集材及び造材等の各作業工程結果を踏まえ、各工程を効率的に結びつけるためのシステムを検討した。

集材用高性能機械スイングヤーダと造材用高性能機械プロセッサの現場配置と材の流れを図 - 7 で示す。

この図のように、効率的作業が行える機械配置により円滑に各工程の作業が実施された。

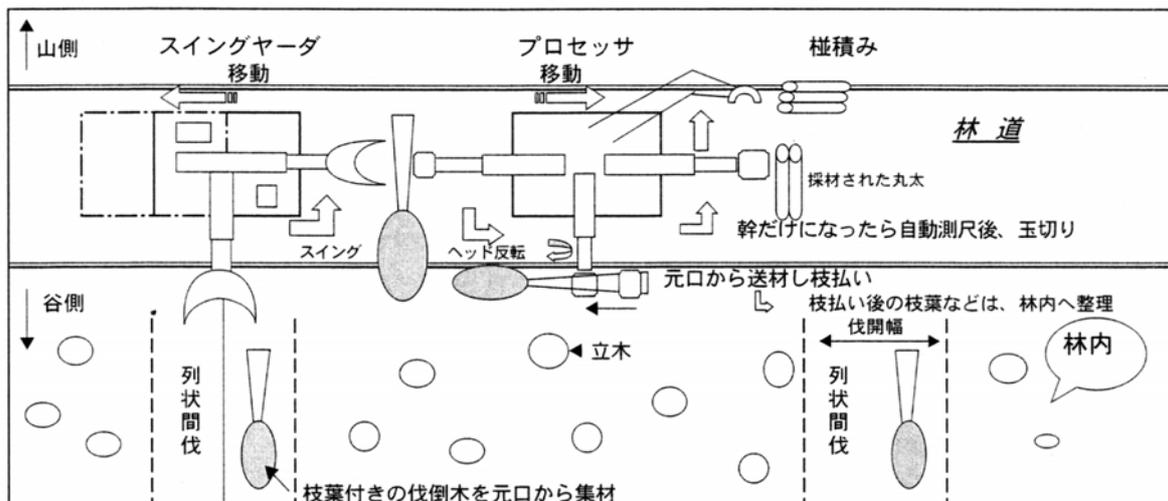


図 - 7 高性能林業機械配置と材の流れ

スイングヤーダのウインチにより集材された材は、アームをスイングして林道の路面に降ろされる。そして、プロセッサがつかみ、旋回しながら枝払いを行い測尺・玉切り作業を行う。路面にある造材木は、再度プロセッサがつかみ、林道端に適宜樅積みされていく流れである。

このシステムでのポイントは、スイングヤーダが移動したり、アームをスイング(振る)して林道の平地に材を下ろすことで、荷下ろしが安定することである。また山の斜面までしか集材できない場合と違って、集材された材が安定することで、プロセッサへの受け渡しが円滑に行える。当然だが、平地での作業は効率的である。

このように各生産工程を行う機械の配置、無駄のない材の流れにより生産性の効率化が図れるとともに、各作業を有効に結びつけることで生産量の増大が図れると考えられる。

今回の間伐材生産システムの生産性をまとめると図 - 8 のようになる。

タイプ	地 形	システム	作 業 工 程				システム 合 計
			伐木	木寄せ	集材	造材	
高性能併用	急傾斜地	全木	チェンソー				
			伐木分離方式		スイングヤーダ	プロセッサ	
今回調査結果	セット人員		2人	5人			5人
	生産性			全幹材積 30m ³ /日		利用材積 20m ³ /日	20m ³ /日
	労働生産性			全幹材積 7.5m ³ /人・日		利用材積 20m ³ /人・日	4m ³ /人・日

図 - 8 スイングヤーダによる間伐材生産システムの生産性

今回の調査結果により、間伐材の集材から造材までのシステムとしての生産性は 20m³/日、労働生産性は 4m³/人・日だった。しかし、この生産システムにおけるセット人員は、最終 3 人(スイングヤーダオペレータ 1 人 + 荷掛け者 1 人 + プロセッサオペレータ兼荷はずし者 1 人)まで合理化が可能と考えられる。この場合の労働生産性は 6.6m³/人・日となり、さらなる生産性の増大が期待できると推察される。

4 おわりに

今回、スイングヤーダによる間伐材生産システムについて工程調査を基に生産方法の分析と生産性を報告した。その結果、スイングヤーダにより全木で集材し、プロセッサで造材する間伐材生産システムは、1 日当たり 20m³ の生産量があった。

この生産システムを有効に実施できる現場条件について考察する。

ベースマシーンが入れる林道・作業道がある。

ベースマシーンが旋回して作業ができる場所が必要である。また、交通量の多い一般道での作業は、効率が悪い。

林道・作業道の進行方向に対して、山、谷側約 50m 程度(ウインチ巻き取り能力による)の範囲が集材可能である。但し、林道等の山側のり面が高い場合は、山側の集材作業は難しい。

以上、3 つの現場条件に該当する間伐対象森林が作業範囲と考えられる。

このように生産範囲は限られているが、この生産システムは路網整備が進められた地域で有効な生産方法と考えられる。

なお今回は、幅員 3m 程度の林道・作業道で作業できるベースマシーン 0.45m³ 級(スイングヤーダ・プロセッサ)の機械による生産システムについて報告したが、次回は、幅員 2m 程度の作業道で作業できるミニバックホークラス(スイングヤーダ・プロセッサ)の機械による生産システムについて調査報告を行いたい。

【引用文献】

- 1) 機械化のマネジメント 地域の経営力アップのために高性能林業機械をどう活かすか：全国林業改良普及協会編