

## ラジコン式伐倒作業車を使用した伐出作業の実証

川元 裕\*

Demonstration of a Logging System Using a Remote-Controlled Felling Machine

KAWAMOTO Yutaka

**Abstract:** The Forestry Agency has set a target for forestry management entities to increase the productivity of final harvesting to 11 m<sup>3</sup>/person-day by fiscal year 2030. In anticipation of improving both productivity and safety in felling operations, a logging system incorporating a remote-controlled felling machine was demonstrated in Mine City, one of the representative forestry regions in this prefecture. The results showed that the daily labor productivity of the system did not reach the national target. However, since the challenges for each process of the system used in this demonstration were identified, productivity may be improved by implementing appropriate countermeasures. Continuing testing potential systems and collecting further data is essential for proposing practical working systems adapted to specific site conditions.

**Keywords:** productivity, safety in felling operations, Grapple bucket with fork storage and felling head, harvester

**キーワード:** 生産性、伐倒作業の安全性、フェリングヘッド付きフォーク収納型グラップルバケット、ハーベスタ

### 緒 言

林業は全産業中で最も死亡災害の発生率が高い業種とされ、とくに伐倒作業時の事故が最多を占める（林野庁）。また、林野庁は令和 12（2030）年度までに、林業経営体における主伐の生産性を 11 m<sup>3</sup>/人・日とする目標を設定している。したがって、林業の安全性の確保、労働生産性の向上、労働強度の負担軽減、さらに担い手不足対策を考える上で、機械化・無人化は重要な課題と考える。

2024 年にラジコン式伐倒作業車（以下、「伐倒作業車」とする。）が開発、販売が開始され、伐倒工程の機械化に向けて一歩前進した。その一般普及を推進す

るためには、本県の多様な自然・社会条件を考慮し、考え得る複数の作業システムを試験してデータを蓄積していく必要がある。

そこで、本機を導入した作業システムの実証試験を実施したので報告する。

試験地を提供いただいた山口県美祢市ならびに試験の実施にご協力いただいたカルスト森林組合（山口県美祢市）および松本システムエンジニアリング株式会社（福岡県粕屋郡篠栗町：以下、「MSE 社」とする。）に厚くお礼申し上げる。

### 材料および方法

\* 現 下関農林事務所

### 1 試験地の選定

実証試験の実施年度中に主伐を計画している事業地の中から、当該機械の運送や上り伐倒・下り伐倒（後述）をとともに試験できる既設路網の存在から候補地を絞り、主伐事業実施と実証試験のスケジュールが合致した美祢市有林において実施した。

試験地の概要は第1表のとおり。

### 2 使用機械

試験は第1図に示す作業システムで実施した。

このうち伐倒作業車（第2図）は、MSE社が2024年4月に販売を開始した「シン・ラプトルII」を使用した。本機は、遠隔操作で立木を伐倒・木寄せする無人作業車で、45度までの傾斜地を登坂して最大径600mmまで伐倒可能である。オプションの立体映像システムを装備すれば、オペレータが離れたところからでも安全に伐倒することができる（第3図）。

フェリングヘッド付きフォーク収納型グラブパケット「フェラーバンチャザウルスロボ」は、同じくMSE社製で、掘る、伐る、掴むの三機能を1台でこなすアタッチメントとして、路網作設や伐採現場で活躍

している（第4図）。ベースマシンは、伐倒作業車との相性が良いとMSE社推奨の13tクラスを採用した。

造材機械（ハーベスタ）のヘッドはフィンランドKESLA社のストローク式（第5図）で、ヒノキの堅い枝払いを想定して導入された。ベースマシンは、カルスト森林組合管内で一般的な使用機械である7tクラスを採用した。

以上の使用機械の主要諸元は第2表のとおり。

### 3 作業システム

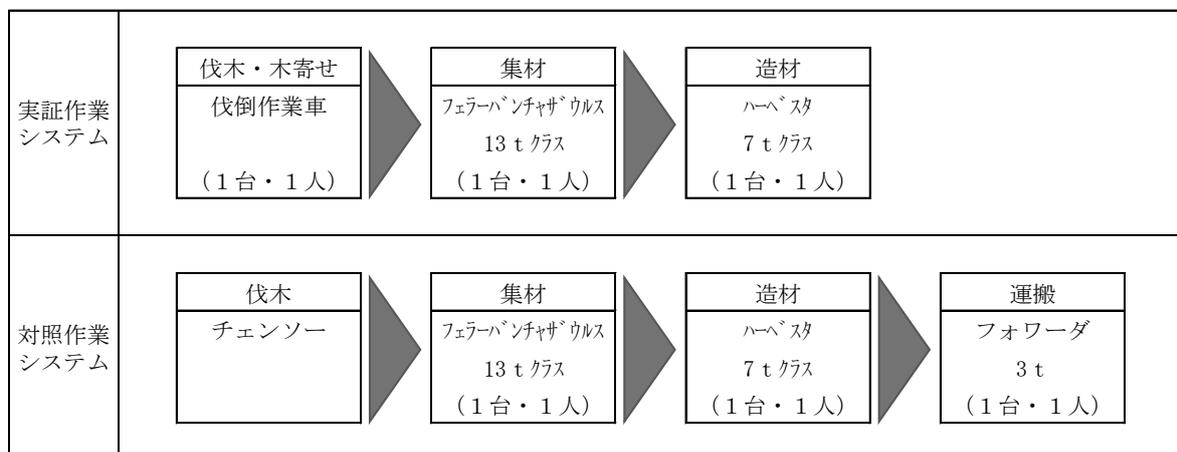
伐倒作業車を組み込んだ作業システムと従来の作業システムを比較するため、次の2パターンの作業システムを試験した。

#### 1) 実証作業システム：伐倒作業車を組み込んだ伐出作業システム（第7図）

伐倒作業車はウインチアシスト機能を有することから、上り伐倒（斜面上方に伐倒して下方に引き摺り下ろす）と下り伐倒（斜面下方に伐倒して上方に引き摺り上げる）の2パターンに分けて試験を行った（第8図）。伐倒後は、伐倒作業車が伐倒木を林道・作業道

第1表 試験地の概要

期日	2024年11月28日
場所	山口県美祢市美東町綾木 代官屋敷地内
林況	スギ・ヒノキ人工林（65年生）
傾斜	10～40度
面積	0.27ha
林地の状況	過去の落葉落枝のほか、作業の安全のために試験の数か月前に刈り払ったヒサカキ等の灌木の残渣が林床に堆積。



第1図 作業システム

近くまで木寄せし、フェラーバンチャザウルスロボが木寄せをアシストしつつ、全木で1本または数本まとめて山土場まで集材し、これを引き継いだハーベスタが造材、はい積みした。

## 2) 対照作業システム：カルスト森林組合が採用している伐出作業システム

実証作業システムを実施した後の残存エリアについて試験地の施工を請け負った事業者が通常採用している作業システムで伐出作業を実施した。



第2 図 ラジコン式伐倒作業車（伐倒・木寄せ）



第3 図 遠隔操作および立体映像システム

注) 機械から離れた安全な場所から遠隔操作することができる (左上)  
オペレータの手元にあるのがリモコン (右上)  
直接目視ができなくても VR ゴーグルによる立体映像でも操作できる (左下)  
VR ゴーグルで見たオペレータの視界 (右下)



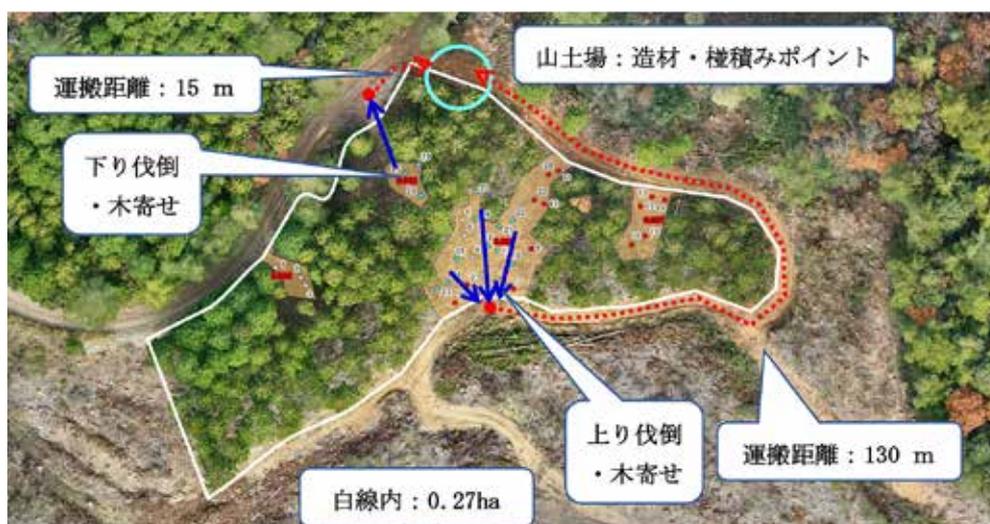
第4図 フェラーバンチャザウルスロボ (集材)



第5図 ハーベスタ (造材)



第6図 フォワーダ (運搬)



第7図 実証試験の作業経路図



第8図 作業システム (下り伐倒)

注) 伐倒作業車が下り伐倒した伐倒木を林道近くまで引き摺り上げ、フェラーバンチャザウルスロボが伐採木を受け取って山土場まで集材 (15 m) し、これをハーベスタが引き継いで造材、はく積み

第2表 使用機械の主要諸元

試験	区分	単位	伐倒作業車	フェラーバンチャ ザウルス	ハーベスタ	フォワーダ <sup>g</sup>
実証	ベースマシン		M S E	コベルコ	住友	-
	型式	-	シ・ラブ <sup>g</sup> トルII	SK135SR	SH75	
	全長	mm	4150	7410	5755	-
	全幅	mm	2400	2490	2320	-
	運転質量	t	5500	13.9	7.88	-
	エンジン出力	kw	55.4	73.9	40	-
	最大走行速度	km/h	6.0	5.6	5.1	-
	標準バケットサイズ	m <sup>3</sup>	-	0.50	0.28	-
	ヘッド 型式	-	-	MSE-45FGZX-DX	KESLA20SH II	-
	最大処理径	mm	600	500	520	-
試験	区分	単位	チェンソー	フェラーバンチャ ザウルス	ハーベスタ	フォワーダ <sup>g</sup>
対照	ベースマシン			コベルコ	住友	IWAFUJI
	型式	-	-	SK75SR	SH75	U3
	全長	mm	-	5750	5755	4600
	全幅	mm	-	2300	2320	1930
	運転質量	t	-	7.44	7.88	3930
	エンジン出力	kw	-	41	40	54.6
	最大走行速度	km/h	-	5.3	5.1	10
	標準バケットサイズ /最大積載量	m <sup>3</sup> kg	-	0.25	0.28	3500
	ヘッド 型式	-	-	MSE-25FGZX-DX	KESLA20SH II	-
	最大処理径	mm	-	400	520	-
備考	(ベースマシンデータ参考型式)			SK75SR-3E	SH75X-6A	U3-E

#### 4 方法

##### 1) 実証作業システム

###### (1) データの計測方法

伐倒現場から山土場集積までの一連の工程（伐倒・木寄せ・集材・造材・はい積み）について、ビデオ撮影を行い、工程別の作業時間を計測の上、分析した。

なお、機械トラブルによる遅延は、作業時間に含めないこととした（理由は後述）。試験地の立木の大きさを類推する情報として、伐採後の根株径について等高線に対し水平方向を横径、垂直方向を縦径としてコンベックスで計測した。造材木は、ハーベスタによる造材後に山土場で末口を計測し、末口二乗法により材積を算出した。

###### (2) 工程別の労働生産性とシステムの生産性、労働生産性の算出

全工程で時間観測と作業時間の分析を行い、システム生産性及び労働生産性を求めた。

また、実証試験地を施工する事業体の就業形態に合わせ、1日7.5時間労働と仮定し、伐倒・木寄せ・集材・造材・はい積みを連携作業で行ったシステム生産性、1日当たりの労働生産性を岡らの手法（岡・井上2001）により試算した。

##### 2) 対照作業システム

###### (1) データの計測方法

現場施工主体から作業期間中の作業日報および原木出荷伝票を入手し、工程別の作業時間及び搬出材積を集計した。

###### (2) 作業システムと工程別の生産性の算出

上記により集計したデータを分析、算出した。

第3表 実証作業システムにおける伐倒方向別伐採径及び造材材積

伐倒方向	伐倒本数	横径		縦径		平均径		造材材積	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	材積	
		cm		cm		cm		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /本
下り	3	45.0	5.35	44.7	8.06	44.8	6.64	-	-
上り	10	34.9	6.70	34.8	7.40	34.9	6.80	-	-
計	13	37.2	7.70	37.1	8.62	37.2	7.97	6.08	0.47

注) 下り：控え索でアシストしながら林道から斜面を下り、立木を斜面下方へ向けて伐倒した後、林道まで引き上げた  
 上り：エリアの下方にある森林作業道から林地に取り付いて斜面を上り、立木を斜面上方へ向けて伐倒した後、森林作業道まで引き下ろした

第4表 実証作業システムにおける伐倒・木寄せ工程の作業量と生産性

事項	数量	備考
伐倒本数	本 13	
伐採材積	m <sup>3</sup> 6.08	原木換算
平均伐木材積	m <sup>3</sup> /本 0.47	
主作業時間	秒 1,653	掴み・伐倒・木寄せ
サイクルタイム	秒/本 127	
林道・作業道への往復数	回 13	
往復移動時間	秒 1,099	移動・列替え・作業待ち
主作業時間のシステム生産性	m <sup>3</sup> /組・時 13.24	
総作業時間	秒 2,752	
労働生産性	m <sup>3</sup> /人・時 7.95	

第5表 実証作業システムにおける集材工程の作業量と生産性

事項	数量	備考
集材回数	回 4	
伐採材積	m <sup>3</sup> 6.08	原木換算
平均集材材積	m <sup>3</sup> /回 1.52	
主作業時間	秒 2,887	引寄せ・運搬・集積
サイクルタイム	秒/本 722	
往復移動時間	秒 4,148	移動・列替え・作業待ち
主作業時間のシステム生産性	m <sup>3</sup> /組・時 7.58	
総作業時間	秒 7,035	
労働生産性	m <sup>3</sup> /人・時 3.11	

## 結果および考察

### 1 実証作業システム

#### 1) 伐採木の本数、伐採径及び造材材積

実証試験で伐採した木の本数と直径は第3表のとおりで、伐採木13本、造材材積6.08 m<sup>3</sup>を対象に分析を行った。

作業の手順として、初めは斜面上側からの下り伐倒を行い、控え索のアシストで林道へ全木で引き上げた。しかし、下り伐倒を3本実施後に控え索が破断したため、その後はすべて上り伐倒後に斜面下側の森林作業道沿いに伐倒木を木寄せした後、フェラーバンチャザウルスロボが全木で森林作業道を運搬し、ハーベスタに引き継いだ。

#### 2) 工程別の分析

#### (1) 伐倒・木寄せ工程

集計結果を第4表および第9図に示した。

伐倒作業車が伐倒木へ向かう走行時間と狙いを定めてから伐倒木を掴み終える時間が同程度で、合わせて全体の47%を占めた。これは、オペレータの操作の習熟によってさらに時間を短縮できると考えられる。

なお、遅延を含めた総時間で見ると、修繕等(機械トラブル処理)にかかる時間が1/2を占めたが、メーカーも認識しているハード面の欠点によるもので、早晩解決されると考えられるので集計結果には含めなかった。

#### (2) 集材工程

集計結果を第5表および第10図に示した。

待機時間等が50%を占め、生産性を大きく下げる原因となったことから、本実証作業システムの主要な改善ポイントである。今回の試験では、上り伐倒におい

て木寄せ作業のアシストを控え、基本的には集材に専念することにより、一定の改善が図られると考える。

次に全木集材（運搬：材を掴んで移動）にかかる時間が27%を占めた。これは、フェラーバンチャザウルスと集材に使用した森林作業道の規格のミスマッチが大きな要因と考える。すなわち、搬出間伐用に作設されたために幅員は狭く（2.5 m）、全木集材（樹高20 m以上）で急カーブを通過するには方向転換や掴み直しが発生し、上り勾配と前日から続く降雨でぬかるむなど、集材を難しくする条件が重なったためと考える。

皆伐を効率的に行うには、大型機の使用を想定して林業専用道または幅員の大きい森林作業道の開設が必要である。

また、控え索の破断により、大部分を上り伐倒に切り替えざるを得なかったことも、集材にかかる時間を

大きくした（第11図）。

### （3）造材工程

集計結果を第6表および第12図に示した。

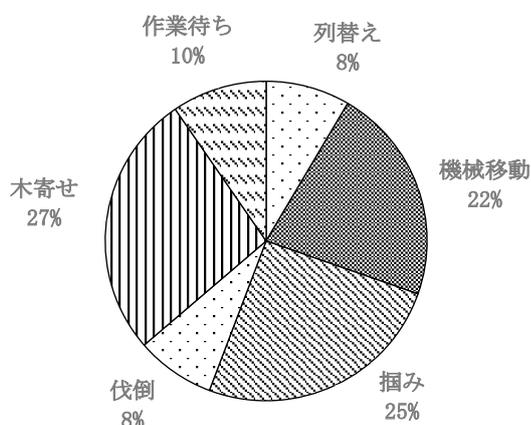
フェラーバンチャザウルスロボによる集材工程に時間を要したため、ハーベスタの作業待ち時間が55%となった。

### 3) 作業システムの労働生産性と改善点

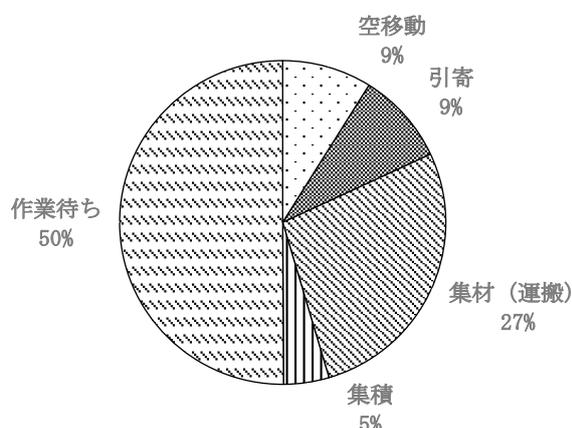
2) から現場就業時間を7.5 h/日、全作業時間を8,278秒として、システムの労働生産性を試算した。なお、全作業時間とは、使用した3台の機械のうち、最初に作業動作に入った機械の開始時間から最後に作業動作を終えた機械の終了時間を指す。その結果は、1日当たり労働生産性は6.61 m<sup>3</sup>/人・日で、国が目標

第6表 実証作業システムにおける造材工程の作業量と生産性

事項		数量	備考
造材本数	本	41	
造材材積	m <sup>3</sup>	6.08	原木換算
採材長	種類	2	3m or 4m
主作業時間 ①	秒	2,210	造材・樅積み・末木枝条整理・木探し等
サイクルタイム	秒/本	54	
往復移動時間 ②	秒	37	移動
作業待ち時間 ③	秒	2,759	前作業（集材）待ち
主作業時間のシステム生産性	m <sup>3</sup> /組・時	9.90	
総作業時間（①+②）	秒	2,247	
総作業時間（①+②+③）	秒	5,006	
労働生産性	①+②	m <sup>3</sup> /人・時	9.74
	①+②+③	m <sup>3</sup> /人・時	4.37



第9図 伐倒・木寄せ工程の作業時間の内訳



第10図 集材工程の作業時間の内訳

とする 11 m<sup>3</sup>/人・日はおろか、対照作業の 8.00 m<sup>3</sup>/人・日にも及ばなかった（第7表、第8表）。

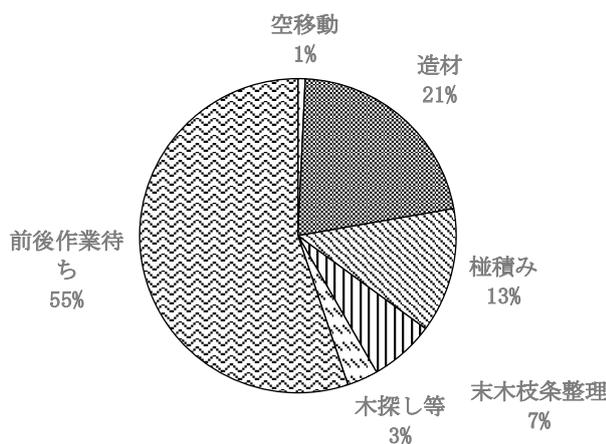
実証作業システムの生産性が対照作業システムのそれよりも大きく下回った原因は、実証作業の機械選定・システムと現場条件にミスマッチがあったことである。具体的には、作業システム、とりわけ、前述のとおり集材工程がボトルネックとなったことが大きく、伐倒作業車の能力を本実証データだけで判断するのは早計である。改善点を挙げると、このたびの現場であ

れば、作業システムは基本的に伐倒作業車（下り伐倒＋上げ荷集材）とハーベスタ（上げ荷アシスト＋造材）の組合せで事足りた可能性が高いと考える。しかし、伐倒作業車単体や 7t クラスのハーベスタでは全木を林道上に引き上げるのに苦心した場面があり、このときフェラーバンチャザウルスロボのアシストが非常に有効であったことから、ハーベスタは 13t クラスとし、併せて森林作業道の拡幅が必要と考える。

さらに、伐倒作業車のオペレータの習熟度が向上す



第11図 破断した控え索の修理の様子



第12図 造材工程の作業時間の内訳

第7表 実証作業システムの労働生産性

工程		組生産性	作業時間 秒	全工程作業時間 秒	稼働率
伐倒・木寄せ	m <sup>3</sup> /組・時	7.95	2,752	8,278	0.33
集材	m <sup>3</sup> /組・時	3.11	7,035	8,278	0.85
造材	m <sup>3</sup> /組・時	4.37	5,006	8,278	0.60
システム生産性	m <sup>3</sup> /組・時	2.64			
作業員数	人	3			
労働生産性	m <sup>3</sup> /組・時	0.88			
1日当たり労働生産性	m <sup>3</sup> /人・日	6.61			

第8表 実証作業と対照作業の生産性の比較

作業システム	労働生産性 m <sup>3</sup> /人日	伐採面積 ha	搬出材積 m <sup>3</sup>
実証	6.61	0.04	6.08
対照	8.00	0.23	52.58
計	-	0.27	58.66

れば、全体の労働生産性はさらなる向上が期待できる。

さらに、伐倒作業車のオペレータの習熟度が向上すれば、全体の労働生産性はさらなる向上が期待できる。

## 2 まとめ

このたび実証した伐倒からは積みまでの作業システム全体の労働生産性は、林野庁の目標には及ばなかったが、作業システムの見直しや、機械操作の習熟、組み合わせ機械の大型化と森林作業道の拡幅により生産性は大きく改善することが見込まれる。

## 摘 要

林野庁は令和12(2030)年度までに、林業経営体における主伐の生産性を11 m<sup>3</sup>/人・日とする目標を設定している。主伐の生産性と伐倒作業の安全性の向上を期待して、ラジコン式伐倒作業車を組み込んだ伐出作業システムを、本県における代表的な林業地の一つである美祢市において実証した。その結果、当該システムの日当たりの労働生産性は国の目標には及ばなかった。しかし、今回の実証で採用した作業システムの工程別の課題は明らかにされたので、適切な対応策を実施すれば、生産性の向上が期待できることが示唆された。現場条件に対応した実用的な作業システムを提示するために、考え得る作業システムを試験して今後もデータを収集していく必要がある。

## 引用文献

- 新井紘嗣・立花 敏. 2020. 我が国林業の素材生産における生産性分析. 林業経済研究. 66 : 51-62.
- 舟木 徹・杉原雅彦. 2012. スギ人工林で行われた主伐の作業システムと生産性. 島根県中山間地域研究センター研究報告. 8 : 129-132.
- 石川知明. 2020. 伐採搬出作業における採算がとれる年間事業量の試算. スイングヤーダ, プロセッサ, フォワーダを用いた作業システムについて. 中部森林研究. 68 : 69-71.
- 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—. 長野県林業総合センター研究報告. 25 : 1-7.
- 西山嘉寛. 2010. 機械作業システムにおける労働生産性の予測. 研究報告/岡山県農林水産総合センター森

林研究所. 26 : 1-18.

- 岡 勝・井上源基. 2001. マネジメントの指標—生産性とコスト—. P. 89-161. 全国林業改良普及協会編. 機械化のマネジメント. 全国林業改良普及協会. 東京
- 酒井明香・栃木幸広. 2016. 「路網を活用した伐出システム」木材生産とバイオマス集荷の効率化を目指したハーベスタ・グラップルシステムの生産性-北海道千歳林業(株)の取り組み-. 森林利用学会誌. 31 : 13-19.
- 鈴木祥仁. 2005. 高性能林業機械による列状間伐の生産性評価に関する研究. 愛知県森林・林業技術センター報告. 42 : 1-13.
- 吉村哲彦・鈴木保志. 2022. 素材生産における機械化作業の生産性評価. 森林利用学会誌, 37 : 95-108.
- 林野庁. 林業労働災害の現況  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/routai/anzen/iti.html> (accessed on 7th Jul, 2025).