

「別冊」各実証事業報告書

<報告書一覧>

- ・令和3年度林業省力化技術実証報告書【雲南地域：木材検収アプリ】
- ・令和3年度林業省力化技術実証報告書【出雲地域：ロングアーム伐倒機】
- ・令和4年度林業省力化技術実証報告書【高津川地域：架線集材システム】
- ・令和3年度林業省力化技術実証報告書【隠岐地域：伐根粉碎機】
- ・令和3年度林業省力化技術実証報告書【松江地域：多目的造林機械①】
- ・令和3年度林業省力化技術実証報告書【浜田地域：多目的造林機械②】
- ・令和3年度林業省力化技術実証報告書【県央地域：苗木運搬ドローン】
- ・令和5年度林業省力化技術実証報告書【雲南地域：無人航空機型レーザー／地上設置型レーザー】
- ・令和5年度林業省力化技術実証報告書【県央地域：背負い式地上歩行型レーザー】
- ・令和3年度林業省力化技術実証報告書【高津川地域：プライベート LTE】

令和3年度林業省力化技術実証事業

報告書

【雲南地域：木材検収アプリ】

目次

1. 調査概要	4
1.1 調査目的	4
1.2 調査対象機械	4
2. 調査.....	5
2.1 仁多郡森林組合における調査.....	5
2.2 大原森林組合における調査	7
2.3 飯石森林組合における調査.....	8
2.4 コスト試算.....	9
3. まとめ	10

1. 調査概要

1.1 調査目的

雲南地域では山土場での出材量について、一日あたりでの数量把握が十分管理できていない状況にある。また合板工場等への出荷の際には、その都度に一本ずつ検収した伝票を作成している。このため、現場での作業工程の点検や検収労務の縮減が求められている。

そこで、本調査ではタブレット端末により撮影し検収を行い、検収労務がどの程度省力化されるのか、また作業コストがどの程度低減できるのか検討するために現地実証を行った。

1.2 調査対象機械

調査では株式会社マプリーが開発したアプリケーション mapry（以下、「検収アプリ」とする）を使用した。このアプリは iPadPro や iPhone12Pro に搭載された LiDAR スキャナを使用して、3D データ（点群データ）を取得し（写真-1）、分析やマッピングが可能である。検収以外にも毎木調査や地形データの取得も可能である。

木材の検収アプリとしては LiDAR ではなく写真データを用いて判別するシステムもあるが、写真の歪みや撮影距離による誤認識等が課題となっている。このため、本調査では LiDAR を用いる検収アプリを用いた。

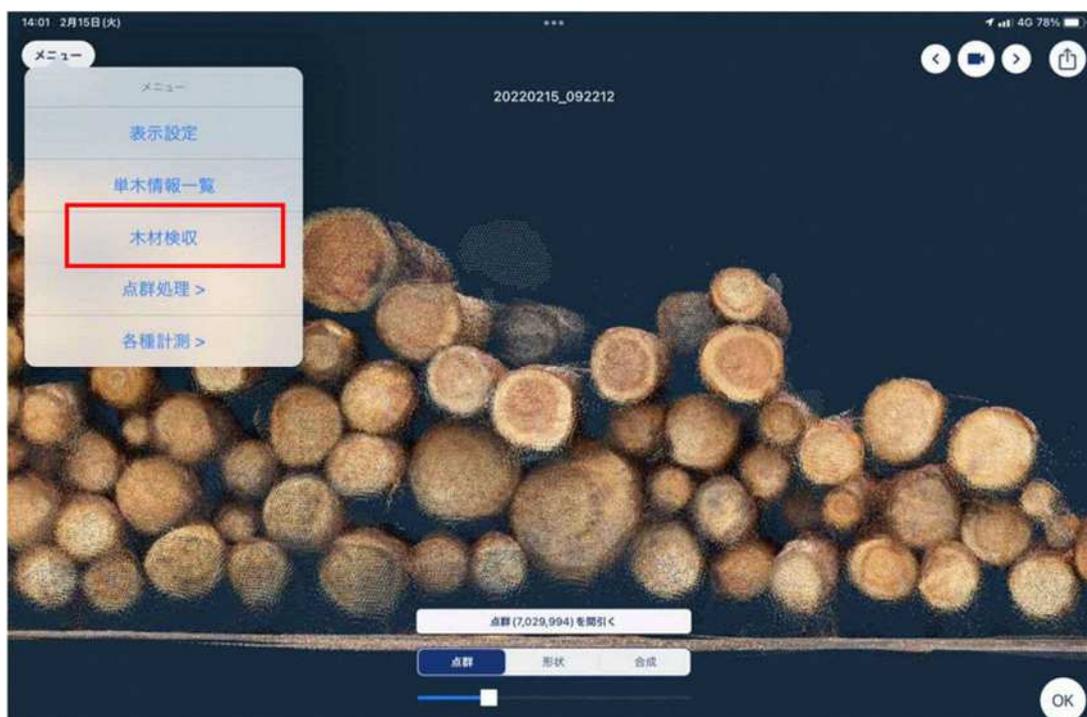


写真-1 mapry による点群データ取得状況

2. 調査

2.1 仁多郡森林組合における調査

令和3年12月10日に仁多郡森林組合事業合同センター（亀嵩）において調査を実施した（写真-1）。仁多郡森林組合では予め末口と本数を測定し算出した材（材積量：24.04 m³以下、「基準値」とする）を用いて、mapryによる検収（以下、「mapry」とする）と従来の人力による検収（以下、「人力」とする）を実施し、検収に要した時間と径級別の測定結果の誤差（以下、「精度」とする）を比較した。なお、人力は普段から検収作業を行っている熟練者と、初めて検収を行った初心者の各1名で実施し、アプリと人力それぞれで2回ずつ木材検収を行いその様子をビデオ観測した。

検収の作業時間を図-1に示す。



写真-1 仁多郡森林組合における調査の様子

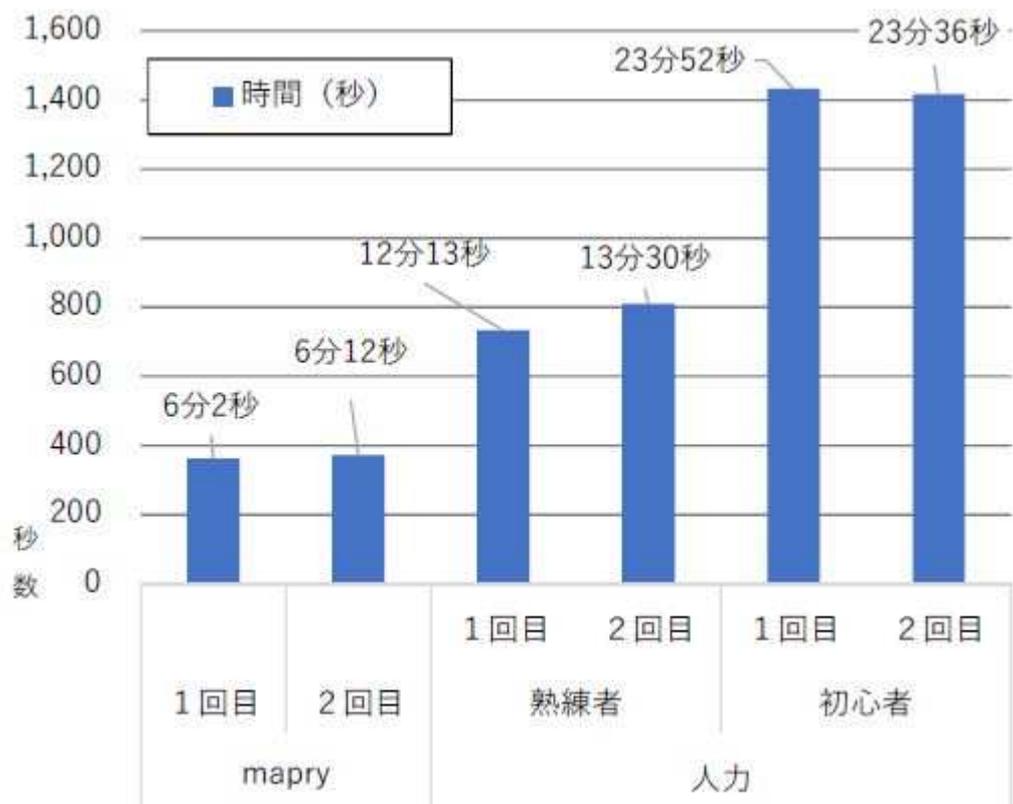


図-1 検取作業に要した時間

mapryによる計測の平均時間は6分7秒で、熟練者の平均時間12分52秒の半分以下の時間であった。また、初心者は熟練者に比べて2倍程度の時間を要していた。

また、基準値に対して各計測方法の材積量を用いて精度を検証したところ、mapryでは6～9%過小となり、人力では1～2%過大となった。この結果から、mapryによる計測では材積量が1割程度過小に算出される傾向を確認した。この原因として、丸太を検知する際に実際の木口を過小に認識しており、その結果小径木として検取した事が考えられる。

2.2 大原森林組合における調査

令和4年1月12日に大原森林組合中間土場において調査を実施した(写真-2)。調査に用いた丸太は71本で、mapryによる計測を2回、人力による計測を1回実施し、各作業の開始時刻と終了時刻を記録した。なお、人力作業はグラップルを用いてはい積みを行った時間と併せて記録した。各作業に要した時間を表-1に示す。



写真-2 アプリによる計測の様子

表-1 大原森林組合における計測時間

mapry1回目	mapry2回目	人力
3分26秒	3分2秒	22分25秒
		(うち検収11分15秒)

人力作業のうち、検収の作業時間は11分15秒であったが、mapryによる検収は人力の29%の時間で実施出来ることが明らかになった。

2.3 飯石森林組合における調査

令和年 12 月 16 日から令和 4 年 1 月 25 日に飯石森林組合の山土場において、アプリと人力による検収時間を比較した。検収時間は計測に要した時間と集計に要した時間の 2 つの要素に分けて記録した。調査日毎の検収時間と材積量を表-2 に示す。なお、人力については 12 月 16 日を除いて 2 名で作業を実施したため、作業時間を 2 倍して人工数あたりの総作業時間として記録した。

表-2 大原森林組合における計測時間

		12月16日	12月20日	12月22日	1月25日	合計
検収時間 (秒)	mapry	246	206	335	648	1,435
	人力	1,540	2,933	3,680	4,101	12,254
材積 (m ³)		16.472	38.646	64.930	21.890	141.938

合計で 141.938 m³を検収したが、mapry の計測に要した時間は人力の 12%であった。また検収時間のうち、計測と集計それぞれに要した時間を表-3 に示す。

表-3 大原森林組合における計測時間

		(単位：秒)				
		12月16日	12月20日	12月22日	1月25日	合計
mapry		246	206	335	648	1435
	うち計測	208	170	315	580	1273
	うち集計	38	36	20	68	162
人力		1540	2933	3680	4101	12254
	うち計測	1442	2848	3606	4016	11912
	うち集計	98	85	74	85	342

この結果から、mapry を活用することにより計測時間を大幅に削減することが可能になった。

2.4 コスト試算

材積量と計測時間が明らかになった 2.1 と 2.3 の結果を用いて、材積 1 m³あたりの計測に要する作業時間を算出した（図-2）。なお、人力作業の飯石森林組合 1 月 25 日において、異常値と思われる 187 秒/m³が確認されたため、この数値は除外した。

その結果、材積 1 m³あたりの計測に要する平均時間は mapry が 19 秒/m³、人力が 58 秒/m³であった。このことから、mapry は人力の 33%の時間で木材検収が可能であると試算された。

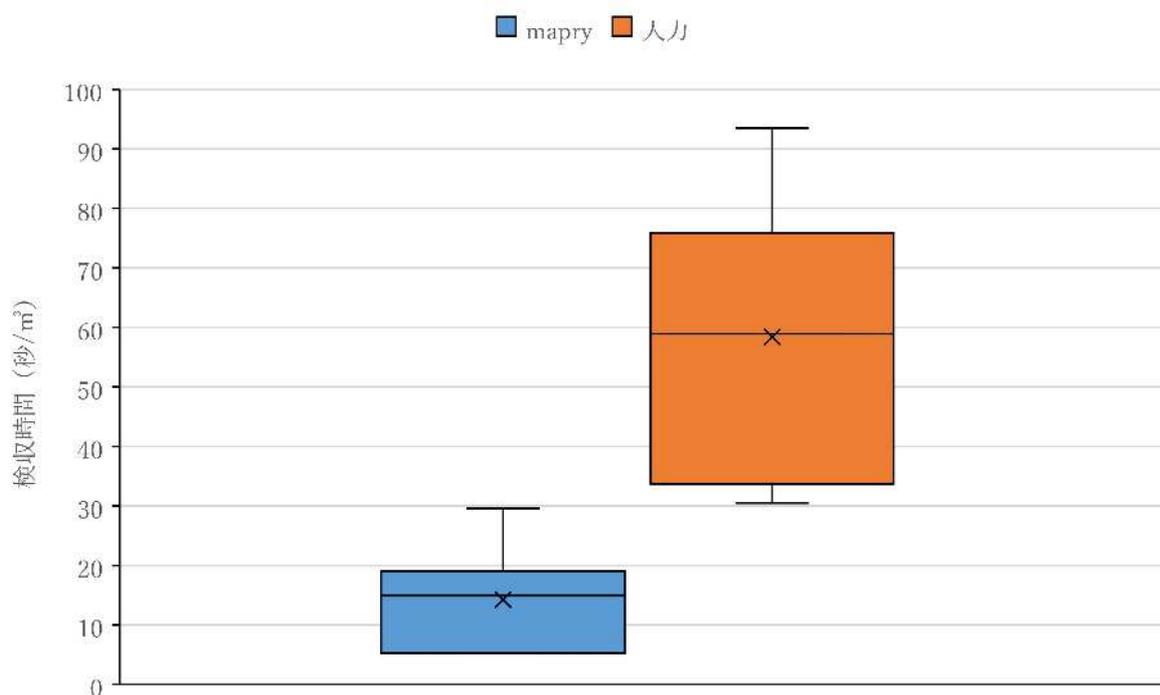


図-2 材積 1 m³あたりの検収に要する時間

また、1 日あたりの実働時間を 6.5 時間、作業員の賃金を 20,000 円/日として、1 日あたりの検収量と 1 m³あたりの人件費を試算した（表-4）。

表-4 日検収量と 1 m³あたり人件費の試算

検収方法	1m ³ あたりの時間 (秒)	1日あたりの検収量 (m ³)	1m ³ あたりの人件費 (円)
mapry	19	1,232	16
人力	58	403	50

3. まとめ

mapry を導入することによって、木材検収にかかる時間と人件費を約 1/3 程度まで縮減できることが明らかになった。また、人力作業では現場で計測した結果をエクセル等に入力する時間が必要となるが、mapry は計測した電子データをそのまま利活用することが可能である。このため、mapry の導入によって省力化やコスト低減が可能になる。

一方で、検収精度が 1 割程度過小となるため、商取引においては精度の改善が必要である事も明らかになった。また、mapry により取得したデータを活用するためには出荷先にコンセンサスを得る必要がある。

mapry の導入コストは約 7 万円/年と比較的安価であることと、木材検収以外にも毎木調査や測量での活用が実装されつつあるため、今後は積極的な導入を普及すべきと考えられる。

令和3年度林業省力化技術実証事業
報告書
【出雲地域：ロングアーム伐倒機】



目次

1. 調査概要	3
1.1 調査目的	3
1.2 調査対象機械	3
1.3 調査地	4
2. 調査	4
2.1 毎木調査	4
2.2 機械区における伐倒と木寄せ作業	6
2.3 従来区における伐倒と木寄せ作業	6
2.3.1 チェーンソー伐倒	7
2.3.2 グラップル木寄せ	7
2.4 ハーベスタ造材	8
2.5 生産速度	9
2.6 コスト	11
3. まとめ	11
4. 参考文献	12
巻末資料	13

1. 調査概要

1.1 調査目的

出雲地域では車両系作業システムによる主伐が増加傾向にある。車両系システムは最も処理能力の高い造材機を作業の中心として工程を組むことが基本とされている。

しかし、当地域における車両系システムの現状は伐倒や木寄せの生産性が低く、造材機械の処理能力を最大限に発揮させる事が困難な場合が多い。伐倒や木寄せの生産性が低い原因として、チェーンソーによる伐倒作業に時間を要す事やグラップルを用いて伐倒木を整理する作業が発生している事が挙げられる。また、ハーベスタは伐倒を行うことも可能であるが、建設機械をベースにしているため、緩傾斜地や作業道から7m程度までの範囲だけでしか作業することができない。

そこで、本調査では近年開発されたロングアーム伐倒機で伐倒、木寄せを行い、従来作業に比べどの程度労働生産性が向上するのか、また作業コストがどの程度低減できるのか検討するために現地実証を行った。なお、調査は当地域で架線集材を主体に伐採を行っている須佐チップ工業有限会社に全面的にご協力していただいた。

1.2 調査対象機械

調査では松本システムエンジニアリング株式会社が販売しているロングアーム伐倒機「ブラキオEX」（以下、「ロングアーム伐倒機」とする）を使用した（写真－1）。機械の諸元を表－1に示す。



写真－1 ロングアーム伐倒機（ブラキオEX）

表-1 機械諸元（ベースマシンを除く）

型式	MSE-BEX4512
適用機種	12～13 t
最大許容荷重	2,000kg
ストローク幅	2,500 mm
最大切断直径	500 mm
質量（アーム+アタッチメント）	1,000kg
価格	1,280 万円（税抜き）

この機械の特徴は、重機アームの先端に取り付けることによりロングアーム機へと換装することができるため、既存の機械を活用することが可能である。なお、ロングアーム伐倒機は機械操作にある程度の慣れが必要であるため、機械メーカー関係者が作業した。

1.3 調査地

調査地は飯石郡飯南町下赤名地内のヒノキ人工林に設定した。調査地の概要を表-2 に示す。このヒノキ林内にロングアーム伐倒機による試験区（以下、「機械区」とする）と従来の作業システムによる試験区（以下、「従来区」とする）を設定した。それぞれの試験区は50本ずつ立木を選定し、計100本の伐倒から造材までの作業を調査対象とした。なお、伐採は出雲地域内の民間素材生産業者が実施した。

表-2 調査地概要

樹種	ヒノキ
齢級	9
平均傾斜	5°
haあたり本数	1,100本

2. 調査

2.1 毎木調査

令和3年11月 日に調査地内にロングアーム伐倒機による試験区（以下、「機械区」とする）と従来の作業方法による試験区（以下、「従来区」とする）を設定した。試験区はそ

れぞれ立木が50本ずつになるように設定し、計100本の胸高直径を計測してスプレーによるナンバリングを行った。立木の配置を図-1に示す。

なお、樹高はドローンによる画像撮影により作成した3Dモデルで測定した3本のデータと、試験区内の立木2本を実測した結果の平均値を用いた。



図-1 試験区と立木位置

2.2 機械区における伐倒と木寄せ作業

令和3年12月3日にロングアーム伐倒機による伐倒、木寄せを行った。その作業の様子をビデオ撮影し、要素作業毎の時間を分析した(図-2)。なお、要素作業は表-4のとおり分類した。

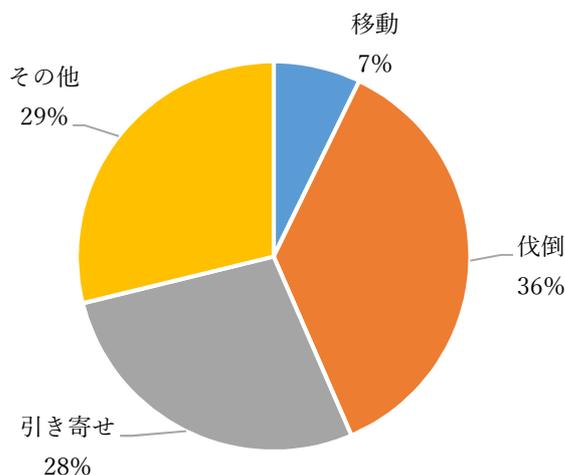


図-2 機械区における要素作業別の時間割合

表-4 ロングアーム伐倒機の要素作業

要素	内容
移動	伐倒する立木まで移動する時間
伐倒	立木を伐倒する時間
引寄	伐倒した材を掴んで引き寄せる時間
実移動	材を掴んで集積場所へ移動する時間
その他	燃料補給、トラブルによる遅延など

試験区内の伐倒と木寄せの作業時間は4,082秒だった。このうち伐倒に36%の時間を要した。ロングアーム伐倒機は木を掴んで伐倒し、そのまま木寄せして材を整理することが可能だった。これにより伐倒から木寄せまでを連続して作業するため、作業がスムーズに進行した。

2.3 従来区における伐倒と木寄せ作業

令和3年12月3日にチェーンソーによる伐倒と、13tクラスのグラップルによる木寄せを行った。

2.3.1 チェーンソー伐倒

チェーンソー伐倒における要素作業時間の割合を図-3 に、要素の分類を表-5 に示す。なお、チェーンソー伐倒は2人1組で実施し、1名がチェーンソーを用いて鋸断して、別の作業員がクサビを打ち込んで伐倒した。また、鋸断の途中でクサビ打ちを開始し、要素時間が重複する場合が多く観測されたが、重複した時間は鋸断時間に分類した。

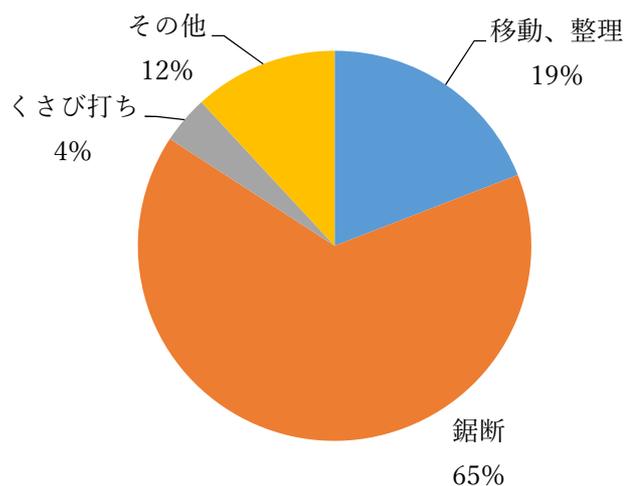


図-3 従来区におけるチェーンソー伐倒の要素作業別の時間割合

表-5 チェーンソー伐倒の要素作業

要素	内容
移動、整理	移動や足元を整理する時間（退避時間を含む）
鋸断	チェーンソーで作業している時間
くさび打ち	くさびを打ち込んでいる時間
その他	休憩、打合せなど

チェーンソー伐倒の作業時間は5,165秒だった。このうち、65%を鋸断が占めた。

2.3.2 グラップル木寄せ

グラップル木寄せにおける要素作業時間の割合を図-4 に、要素の分類を表-6 に示す。

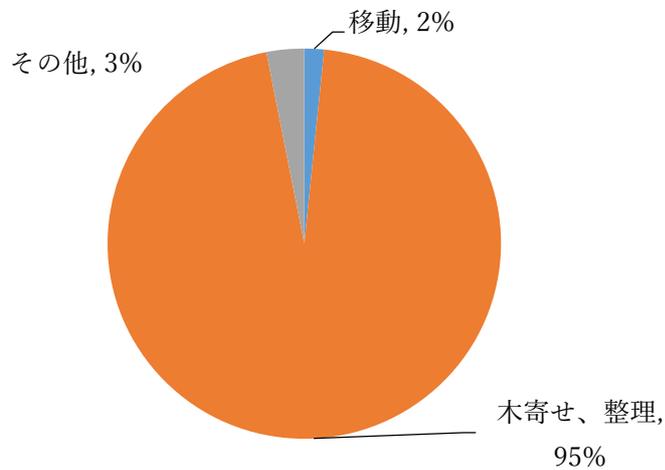


図-4 従来区におけるグラップル木寄せの要素作業別の時間割合

表-5 グラップル木寄せの要素作業

要素	内容
移動	木寄せする位置まで機械が移動する時間
木寄せ、整理	伐倒木を引き寄せて、造材しやすいように整理する時間
その他	休憩、打合せなど

グラップル木寄せの作業時間は 2,611 秒だった。このうち 95%を木寄せ、整理の時間が占めた。伐倒木が重なっていたため、掴み直しや作業対象木を変更する様子が散見された。

2.4 ハーベスタ造材

令和 3 年 12 月 4 日に 13 t クラスのハーベスタを用いて両試験区の木寄せされた木を造材した。ハーベスタ造材における要素作業時間の割合を図-5 に、要素の分類を表-7 に示す。

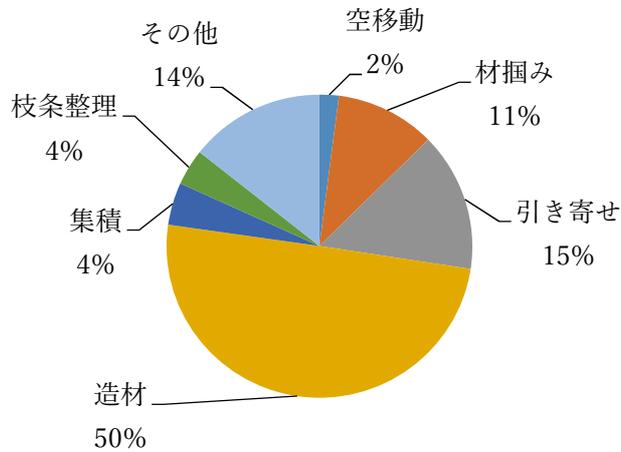


図-5 従来区におけるグラップル木寄せの要素作業別の時間割合

表-7 ハーベスタ造材の要素作業

要素	内容
空移動	本体が空移動する時間
材掴み	空旋回から材を掴むまでの時間
引寄	材を掴んでから元口に刃を入れるまでの時間
造材	枝払い、玉切する時間
集積	造材した丸太を集め、集積する時間
枝条整理	造材時に発生した枝条等を整理する時間
その他	燃料補給、トラブル等による遅延行為

ハーベスタ造材の時間は 8,593 秒だった。このうち 50%を造材時間が占めた。

2.5 生産速度

2.1 から 2.4 までの調査結果を用いて、式 1 により伐倒から造材までの生産速度 (m³/時) を求めた (表-8)。

$$\text{生産速度 (m}^3\text{/時)} = \text{処理した量 (m}^3\text{)} / \text{作業時間 (時間)} \quad (\text{式})$$

ただし、作業時間 (時間) = 作業時間 (秒) / 3,600

※ハーベスタ処理量は試験区以外の造材を含む

表-8 各工程の生産速度

	機械区		従来区	ハーベスタ 造材
	ロングアーム 伐倒機	チェーンソー 伐倒	グラップル 木寄せ	
全作業時間 (秒)	4082	5165	2611	8593
処理量 (m ³)	38.1	36.6	36.6	91.5*
生産速度 (m ³ /時)	33.57	25.51	50.46	38.33

ここで1日あたりの作業時間を6時間として算出した1日あたりの生産速度と、各作業に必要な作業員数から求めた労働生産性を表-9に示す。

表-9 各工程の労働生産性

	機械区		従来区	ハーベスタ 造材
	ロングアーム 伐倒機	チェーンソー 伐倒	グラップル 木寄せ	
生産速度 (m ³ /日)	201.4	153.1	302.8	230
作業員人数 (名)	1	2	1	1
労働生産性 (m ³ /人日)	201.4	76.5	302.8	230

ロングアーム伐倒機は1台1名で伐倒から木寄せまでを効率的に実施するため、201 m³/人日と高い労働性になった。酒井¹⁾は効率的な作業システムを構築するための基本事項の1つとして「工程間の生産性のバランスをとる」を提示している。この基本事項に照らし合わせると、ロングアーム伐倒機の労働生産性はハーベスタ造材の230 m³/人日と同程度の数値でバランスがとれていると判断することができ、この組み合わせは親和性が高いと判断した。

一方で、従来区のチェーンソー伐倒は2名で作業するため、労働生産性は76.5 m³/人日と低くなった。このため、グラップル造材やハーベスタ造材の労働生産性と大きな差があり作業システムを構築するためには、伐倒作業がボトルネックになると考えられる。

そこで、それぞれのシステム全体の労働生産性を計算してみると、表-10のとおり機械区は従来区の2倍以上の労働生産性を示した。

労働生産性 (E) の式
$$E = \frac{1}{\frac{1}{伐倒} + \frac{1}{集積} + \frac{1}{造材}}$$

表-10 システム生産性の比較

システム生産性 (m ³ /人・日)	
機械区	従来区
107.4	48.3

2.6 コスト

2.5 で算出した生産速度を用いて、調査地と同じ条件の森林で伐採を行った場合のhaあたりコストを試算した（図-6）。コスト試算に用いた数値は巻末資料のとおりである。

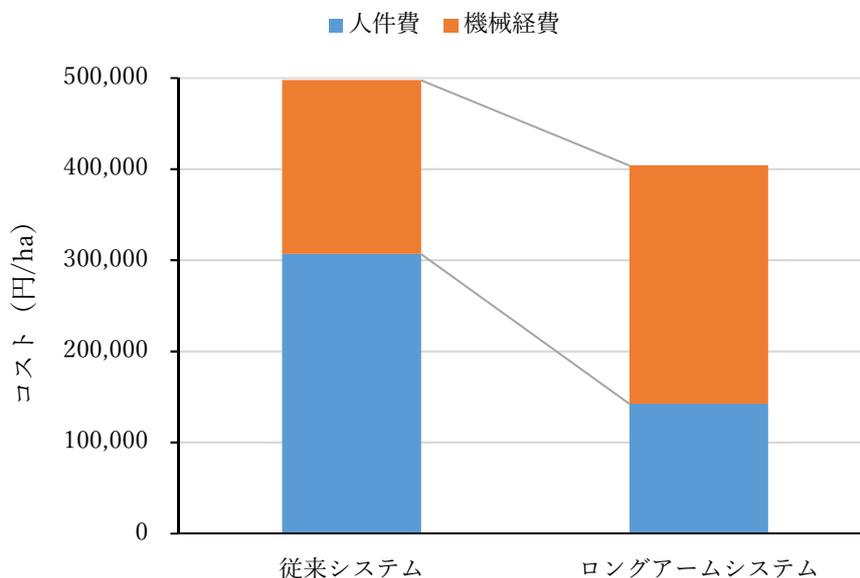


図-6 作業システム毎のhaあたり伐採コスト

試算結果より、ロングアームシステムは従来システムに比べて伐採コストを 19%削減することを確認した。これはロングアーム伐倒機の機械経費が従来システムに比べて掛かり増しになるものの、労働生産性が高いため人件費を縮減する事が可能となったためである。

3. まとめ

ロングアーム伐倒機は従来システムに比べて機械経費が高額となるが、労働生産性が高いことから、機械の適用範囲となる重機が走行可能な緩傾斜地では積極的活用すべき」と考えられる。

一方で傾斜地では重機走行が不可能となりロングアーム伐倒機の適用範囲が限られることから、高密路網の整備が必要となる。機械の適用範囲は限定されるが、ロングアームを活用した機械地拵えでの活用も考えられるため、当地域において一貫作業の推進に大きく寄与すると考えられる。

4. 参考文献

- 1) 酒井秀夫 (2012) 実践経営を拓く 林業生産技術セミナー 伐出・路網からサプライチェーンまで. 全国林業改良普及協会 : p 119

巻末資料

1. 人件費

特殊作業員	19,000 円/日
普通作業員	16,200 円/日

2. 機械経費

機械名	ロングアーム伐倒機		
減価償却費①	維持管理費②		
購入価格	30,000,000	保守修理費率	
自己負担額	16,000,000	保守修理費	
償却年数	5		
想定運転日数	120		
年間償却額	3,200,000	年間維持費	
日当り償却額	26,667	日当り維持費	
		年間損料	
		日額損料	
			3,800,000
			31,667

機械名	チェーンソー		
減価償却費①	維持管理費②		
購入価格	110,000	保守修理費率	
自己負担額	110,000	保守修理費	
償却年数	3		
想定運転日数	150		
年間償却額	36,667	年間維持費	
日当り償却額	244	日当り維持費	
		年間損料	
		日額損料	
			110,000
			733

機械名	ハーベスタ		
減価償却費①	維持管理費②		
購入価格	28,000,000	保守修理費率	
自己負担額	15,000,000	保守修理費	
償却年数	5		
想定運転日数	120		
年間償却額	3,000,000	年間維持費	
日当り償却額	25,000	日当り維持費	
		年間損料	
		日額損料	
			3,560,000
			29,667

機械名	グラップル		
減価償却費①	維持管理費②		
購入価格	12,000,000	保守修理費率	
自己負担額	12,000,000	保守修理費	
償却年数	5		
想定運転日数	150		
年間償却額	2,400,000	年間維持費	
日当り償却額	16,000	日当り維持費	
		年間損料	
		日額損料	
			2,640,000
			17,600

3. 燃料費

	単価 (円/ℓ)
軽油	149
混合油	159
チェーンオイル	600

4. ロングアームシステム歩掛かり

	伐倒	造材
使用機械	ブラキオ	ハーベスタ
haあたり人工数	4.00	3.50

5. 従来システム歩掛かり

	伐倒	木寄せ	造材
使用機械	チェーンソー	グラップル	ハーベスタ
haあたり人工数	10.52	2.66	3.50
うち特殊作業員 (人工/ha)	6.84	2.66	3.50
うち普通作業員 (人工/ha)	3.68		

6. 作業諸条件

- ・ヒノキ（平均樹高21.15m、平均胸高直径29.54cm、平均幹材積0.732m³、1,100本/ha）
- ・ロングリーチ作業は伐倒全てをロングリーチで実施したものと試算
- ・労務費および機械損料は別シートから引用
- ・機械操作にかかる労務単価は全て特殊作業員を適用する
- ・燃料消費量について、0.45サイズの重機は機械出力（78.6kW）に0.18を乗じて1時間あたりの軽油消費量（1.368ℓ）を算出
 - ・チェーンソーは混合油4ℓ/日、チェーンオイル3ℓ/日と仮定した
 - ・ブラキオ（ロングリーチ伐倒機）はチェーンオイル3ℓ/日と仮定した
 - ・ハーベスタはチェーンオイル5ℓ/日と仮定した → 鋸断回数が多いため

令和4年度林業省力化技術実証事業

報告書

【高津川地域：架線集材システム】

目次

1 調査概要	3
1.1 調査目的	3
1.2 調査対象機械	3
2 調査	4
2.1 調査地	4
2.2 調査方法	5
2.2.1 生産量	5
2.2.2 作業者負担	5
2.2.3 アンケート調査	6
2.3 調査結果	8
2.3.1 生産量	8
2.3.2 作業者負担	10
2.3.3 アンケート調査	12
3.考察	13
3.1 生産量について	13
3.2 作業者負担について	15
3.3 集材コストについて	16
4 まとめ	16
5 参考文献	16
巻末資料	17

1 調査概要

1.1 調査目的

高津川地域は県内でも急峻で複雑な地形が多いことから、架線による集材が多く行われているが、生産性については車両系の作業システムに比して低く、その現場条件ゆえに作業者への負担も大きい。

木材生産の場において、コストの低減により経営収支を改善し、魅力ある労働環境づくりを進めていくためには、架線集材の現場における課題を解決していく必要がある。

本調査では、最終的にAIによる無人集材を可能にすることを目標とし、集材作業の省力化につながる新型集材機に注目し、その有用性について検証を行った。

なお、調査は当地域で主に架線集材により素材生産を行っている伸共木材協同組合に全面的にご協力いただいた。

1.2 調査対象機械

調査ではイワフジ工業株式会社が製造・販売している「架線集材システム」(以下、「ロージンググラップル」(図表略称：ロージングG)とする)を使用した。

当該機械については、

- ・インターロック機能を備えた油圧式集材機を、特定小電力無線により遠隔で操作することができる。
- ・従来は人力で行っていた荷掛け・荷下ろしを、搬器に取り付けられた架線式グラップルを遠隔操作することで行うことができる。

以上の機構により、

- ・集材機操作の専属作業員が不要となるため、人・日あたりの労務コストが低減できる。
(従来集材機での集材は運用に3名が必要だが、本機では2名で運用可能の見込み)
- ・荷掛け・荷外しの人力作業が不要となり、作業時間が減少することにより時間あたり生産速度が向上するとともに、作業員の労働負荷の軽減と、安全性の向上が図られる。といったメリットが想定される。



写真一 ロージングGでの集材作



写真二 遠隔荷掛けの様子

現地では、油圧式集材機 1 台、架線式グラップル 1 機、システムラジコン 2 台、中継器ブロック 1 個を運用し、これら一式を購入した場合の価格は 33,000 千円である（写真－3）。



写真－3 運用機器一式

2 調査

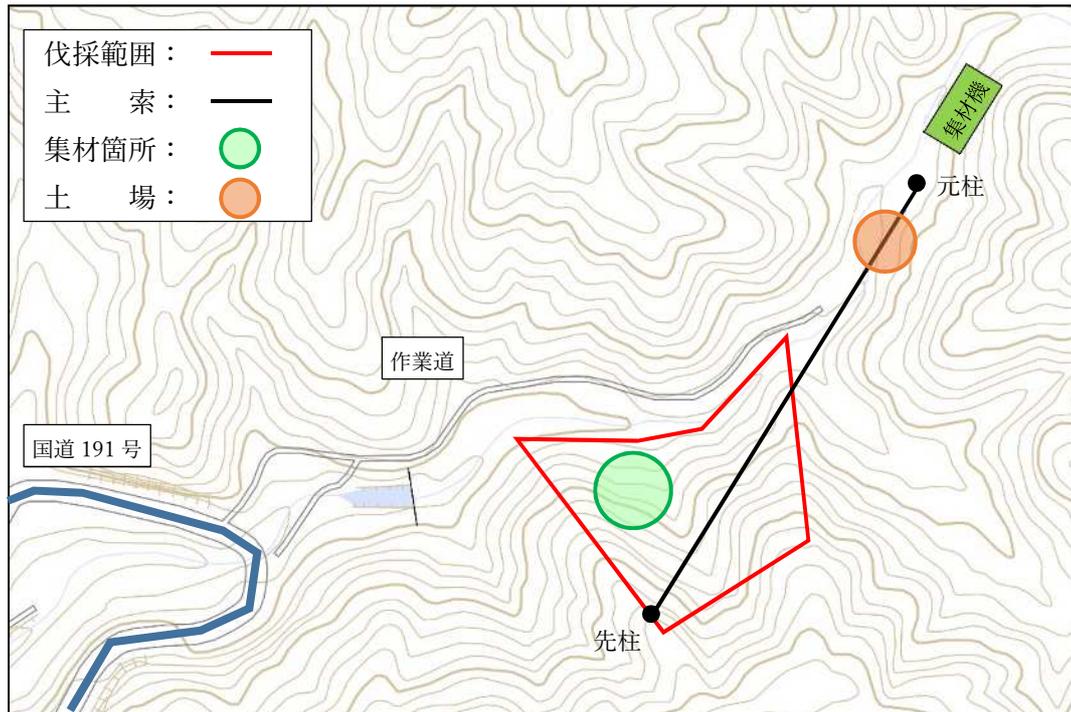
2.1 調査地

調査は、益田市美都町宇津川地内の人工林にて行った。調査林分の概要を表－1 に示す。なお、現地の作業システムについては、伐採をチェーンソー、集材をロージンググラップル、造材はプロセッサで行われたが、伐採については先行伐採によりすべて伐採済みであったため、本調査では作業システムのうち「集材」にかかる部分についてのみ検証・評価した。

集材については全木による下げ荷集材であり、索張りについてはエンドレスタイラー式を用い、元柱－先柱間の斜距離はおおよそ 500m であった。現地の状況を図－1 に示す。

表－1 現地林分の状況（森林簿より）

樹種	スギ	ヒノキ	アカマツ
年齢級		11	
傾斜		46°	



図－1 現地調査平面図

2.2 調査方法

2.2.1 生産量

令和4年6月14日にロージンググラップルによる集材作業の様子をビデオ撮影して時間要素の分析を行った。

なお、伐採範囲約4haのうち一部（図－1の緑丸周辺）の集材作業を調査対象とした。

その際、レーザー距離計を用いて、搬器の搬送距離と横取り距離を計測するとともに、土場にて集材された木の胸高直径と長さ（※）を測り、幹材積式（立木幹材積表―西日本編―：林野庁計画課）により作業時間内の集材材積を算出した。

※木については調査準備時点ですでに伐採が終わっていたため、聞き取りを元に切り株高を20cmとし、集材された木の末口から100cmを目安に胸高直径を計測した。

2.2.2 作業員負担

ロージンググラップルの集材作業の際、作業員に心拍計を装着してもらい作業中の心拍数の変動を記録した。

また、ロージンググラップルのレンタル終了後、現場に残った材を回収するため、従来集材機を設置して集材作業を行うこととなったため、令和4年7月4日に、ロージンググラップルと同様の方法で、従来集材機における心拍数の変動の記録を行った。

調査結果をもとに作業員の身体的負担を評価するため、心拍水準（1）を算出した。

心拍水準(% of max HR) = 作業時心拍数 (拍/分) / 予想最高心拍数 (拍/分) …… (1)

※予想最高心拍数 = 220 - 年齢

2.2.3 アンケート調査

上記の現場でのすべての集材作業が完了し、現場撤収が終わった後に、現地作業を行った班員4名に対しロージンググラップルでの集材作業についてアンケート調査を行った（図-2）。

ICT等実証試験（ロージンググラップル）アンケート	
お名前	業務従事歴
今回使用した、新型集材機（ロージンググラップルと油圧式集材機）について、該当する番号に○をつけて頂くとともに、記述欄に記入願います。	
Q.玉掛・荷外し作業に従事されていた方に伺います	
従来の玉掛・荷外しが不要となりましたが、従来の普通の搬器と比較して、	
①作業の速さ	速くなった・変わらない・遅くなった
②作業の容易さ（心理的負荷）	簡単になった・変わらない・難しくなった
③作業のきつさ（身体的負荷）	きつくなった・変わらない・楽になった
Q.集材機の操作に従事されていた方に伺います	
リモコンで遠隔操作できるようになりましたが、従来の集材機と比較して、	
①作業の速さ	速くなった・変わらない・遅くなった
②作業の容易さ（心理的負荷）	簡単になった・変わらない・難しくなった
③作業のきつさ（身体的負荷）	きつくなった・変わらない・楽になった
Q.従来集材機での集材作業は3名（荷掛手1名、土場作業・荷外し1名、集材機操作1名）が標準と考えて、新型集材機を使えば2名（土場側リモコン操作1名、先山側リモコン操作1名）で作業ができると考えますが、可能でしょうか	
①2名で可能（操作に慣れればほとんどの現場で可能）	
②現場次第では2名で可能	
③2名では困難（3名以上が必要）	
②と回答された方、こういった現場条件なら2名で使えそうですか	
〔 〕	
③と回答された方、3人目（以上）として必要な方はこういった作業になりますか	
〔 〕	
表面へ続く	

Q.今回の新型集材機を使えば、集材～造材～はい積みを、最小で2名(土場側リモコン操作と林業機械による玉切り・はい積作業の兼務で1名、先山側リモコン操作1名)で現場作業ができると思いますが、可能でしょうか。

- ①2名で可能(操作に慣れればほとんどの現場で可能)
- ②現場次第では2名で可能
- ③2名では困難(3名以上が必要)

②と回答された方、こういった現場条件なら2名で使えそうですか

[]

③と回答された方、3人目(以上)として必要な方はこういった作業になりますか

[]

Q.使用した機械の全体的な印象はどうでしたか

- ①良い(今後も使用したい)
 - ②まあ良い(使えなくはない。今後に期待。)
 - ③良くない(既存集材機と搬器・玉掛の方がよい。)
- ①または②と回答された方、どんな部分が良いと感じましたか。

[]

②または③と回答された方、どんな点が悪い、改善すべきと感じましたか。

[]

アンケートにご協力いただきありがとうございました。

※場合によってはアンケートの内容について聞き取りをさせていただきます。

図-2 アンケート調査票

2.3 調査結果

2.3.1 生産量

調査は集材作業14サイクル分、総作業時間は7946秒で、集材距離の平均は352m(324~392m)、横取り距離の平均が78m(60~90m)であった。要素作業の区分(表-2)、および要素作業ごとの時間割合(図-3)を以下に示す。

表-2 ローリンググラップルによる集材の要素作業

要素作業	内容
索上げ	荷下ろし後にローリングを巻き上げ、搬器が走行に移るまでの時間
空搬器走行	搬器が空荷で移動する時間
索引込	ローリングを荷掛け地点直上まで引込む(移動させる)時間
荷掛	引込み後に材を掴むまでに要した時間(複数本掴むための小移動含む)
横取	材を吊り上げてローリングが搬器直下へ戻る時間
実搬器走行	搬器が実荷で移動する時間
荷下ろし	土場についてから材を下ろすまでの時間
無線停止	無線途絶により操作不能となっていた時間
その他	来客対応他、トラブル等による遅延行為

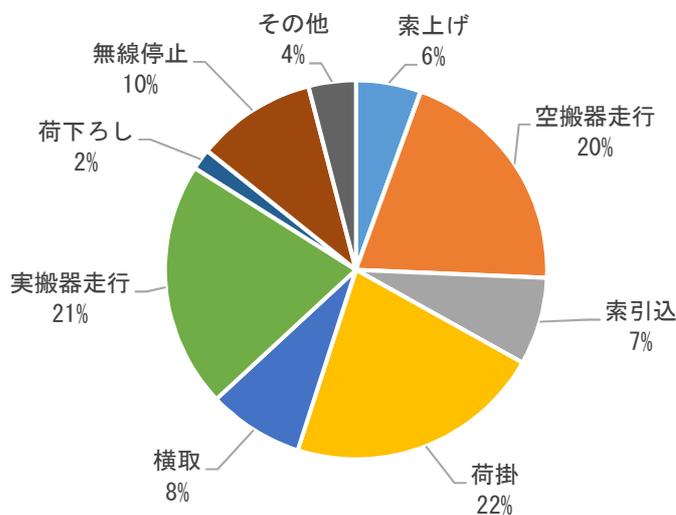


図-3 ローリンググラップルによる集材の要素作業ごとの時間割合

なお、従来集材作業では「荷下げ・荷外し」に該当する作業は、ローリンググラップルでは区分することが難しかったため、一括して「荷下ろし」として扱った。

また、サイクル毎に運搬した木材の寸法、およびその材積を以下に示す(表-3)。

表-3 ローミンググラップルにより集材した立木と材積

サイクル	立木 No.	樹種	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	幹材積 (m ³)
1	1	ヒノキ	12	11.7	0.071
1	2	広葉樹	10	7.0	0.027
2	1	広葉樹	28	19.1	0.493
3	1	アカマツ	28	16.7	0.464
4	1	ヒノキ	18	17.0	0.226
4	2	広葉樹	22	16.4	0.269
5	1	ヒノキ	23	19.5	0.413
5	2	ヒノキ	23	21.0	0.448
6	1	ヒノキ	37	22.0	1.129
7	1	ヒノキ	27	21.3	0.611
7	2	ヒノキ	23	9.4	0.184
7	3	ヒノキ	25	18.0	0.440
8	1	ヒノキ	33	23.8	0.999
8	2	ヒノキ	21	21.6	0.391
8	3	ヒノキ	24	18.6	0.424
9	1	ヒノキ	16	19.8	0.216
9	1	ヒノキ	21	16.1	0.283
10	1	ヒノキ	32	24.3	0.966
10	1	ヒノキ	16	24.3	0.271
11	1	ヒノキ	27	15.0	0.415
11	2	ヒノキ	25	18.0	0.440
12	1	ヒノキ	31	17.9	0.650
12	2	ヒノキ	16	17.9	0.193
13	1	ヒノキ	19	12.8	0.183
13	2	ヒノキ	28	20.5	0.626
14	1	ヒノキ	26	19.3	0.511
14	2	ヒノキ	38	19.5	1.038
材積計					12.380

ローミンググラップルによる、当該調査地での時間あたり生産量については、5.6 m³/h {12.38 m³ ÷ (7946 秒 ÷ 3600)} となった。

また、1日当たりの実労働時間を6時間とし、作業人役を3人とすると、1日・1人あたりの労働生産性は、11.2 m³/人・日 {5.6 m³/h × 6時間 ÷ 3人} となった。

2.3.2 作業員負担

ロージンググラップルを使った作業では、作業員AとBの2名に心拍計を装着してもらい、作業中の心拍の変動を記録した。

また、従来集材機を使った作業では、作業員A～Dの4名に心拍計を装着してもらい、作業中の心拍の変動を記録したが、作業員Bの作業はDの指導が主であり荷掛け作業にほとんど従事しなかったことと、データに欠損があったため、評価対象から除外した。

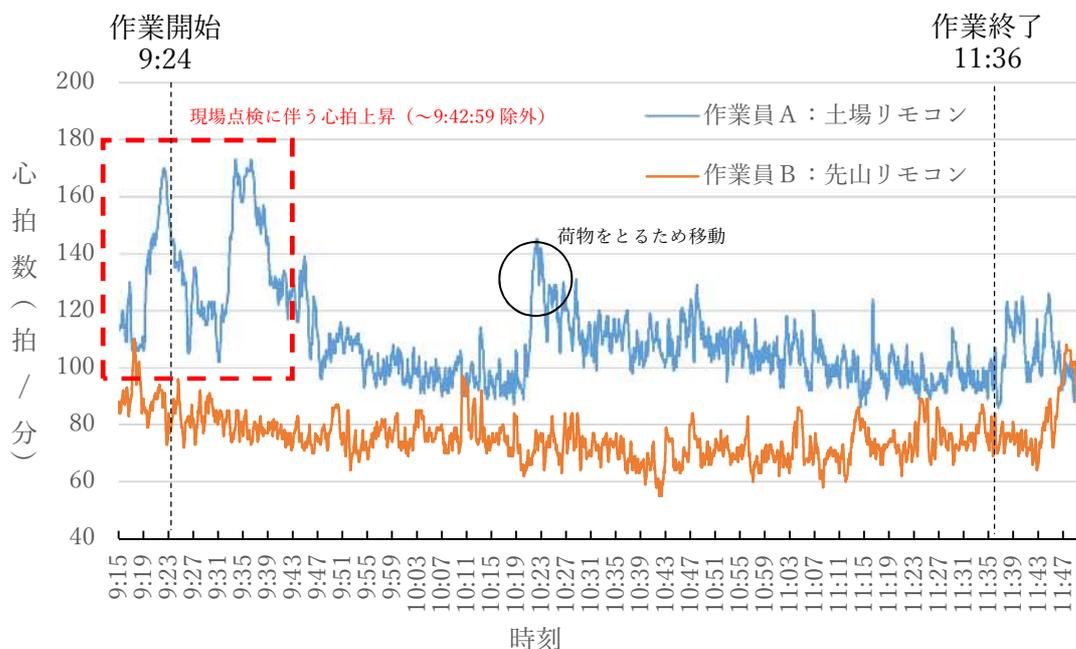
表－4 に作業員の情報と調査中の役割を示す（下線が心拍数の評価対象の作業）。

表－4 作業に従事した作業員の概要と調査当日の担当作業

作業員	A	B	C	D
経験年数（年）	14	14	14	4
年齢（歳）	37	35	36	25
体重（kg）	65	60	60	65
ロージングG	<u>土場リモコン</u>	<u>先山リモコン</u>	土場重機	—
従来集材機	<u>土場重機+荷外し</u>	<u>先山荷掛け補助</u>	<u>集材機操作</u>	<u>先山荷掛け</u>

作業の心拍の変動状況は以下のとおりとなった（図－4、5）。

なお、ロージンググラップル作業時のデータについて、図上の赤破線で囲った部分については、作業員Aが集材作業開始前の架線の点検のため現場を上り下りしたことにより、心拍が上昇したと判断し、評価の対象外としている（その際のリモコン操作と土場作業については、土場重機作業を行っていた作業員Cが兼務している）。



図－4 ロージンググラップルによる集材作業での心拍数の変動

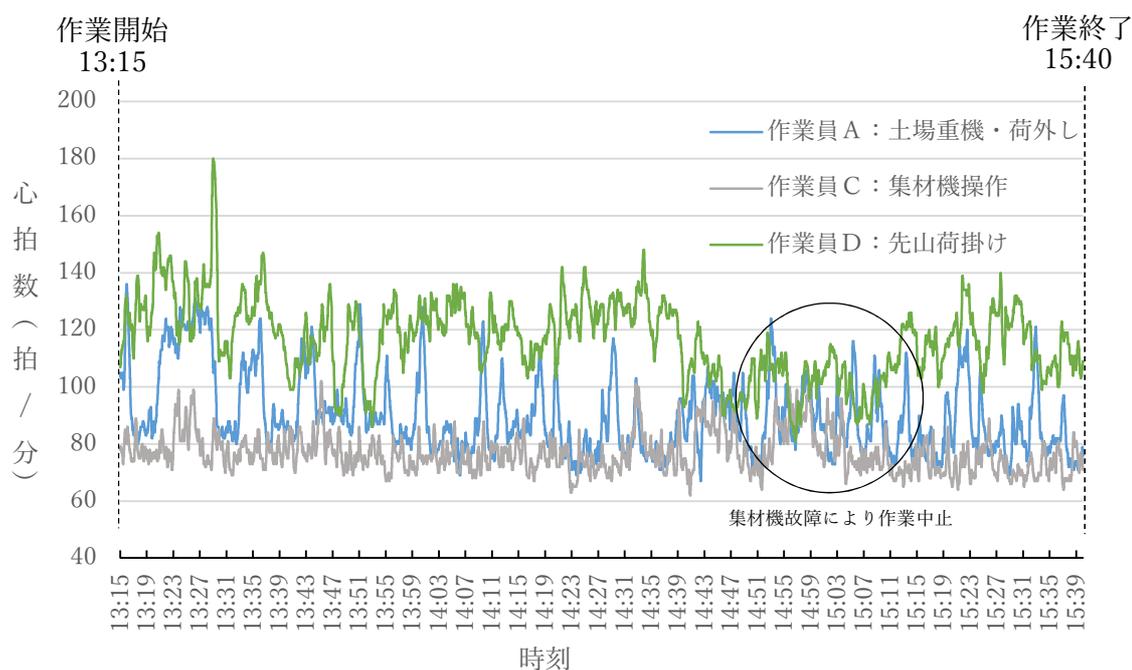


図-5 従来集材機による集材作業での心拍数の変動

これらのデータをもとに、各作業員及び作業ごとの心拍水準を算出した(表-5)。

なお、心拍水準を算出する際の作業時心拍数は定常状態(一定強度の運動を始めた後、心拍数が運動強度にあわせて安定した状態)となった際の平均心拍数を用いるとされているが、荷掛け・荷外し作業は運動と待ち時間が断続的に行われることもあり、定常状態の判断がつかないことから、今回は作業開始から終了までの平均心拍数を用いて心拍水準を算出した。

表-5 各作業員の心拍水準と関連する心拍に関する情報

作業内容	ロージンググラップル		従来集材機		
	土場リモコン	先山リモコン	重機・荷外し	集材機操作	先山荷掛け
作業員	A	B	A	C	D
年齢(歳)	37	35	37	36	25
予想最大心拍数 (拍/分)	183	185	183	184	195
作業時心拍数 (拍/分)	104.6	74.3	89.9	78.1	116.5
心拍水準(%)	57%	40%	49%	42%	60%

2.3.3 アンケート調査

作業員A～Dのアンケートに対する回答については以下のとおりであった（表－6）。
 なお、作業員Dは集材機操作をしなかったため、対応する質問には無回答であった。

表－6 アンケート調査結果

作業の速さ		速くなった	変わらない	遅くなった
	玉掛け・荷外し	2	0	2
	集材機操作	2	0	1

作業の容易さ (心理的負荷)		簡単になった	変わらない	難しくなった
	玉掛け・荷外し	2	0	2
	集材機操作	2	0	1

作業のきつさ (身体的負荷)		きつくなった	変わらない	楽になった
	玉掛け・荷外し	0	0	4
	集材機操作	0	0	3

	可能	現場次第	困難
集材を3名から2名に減らせるか	0	4	0
可能な現場条件	全体が見渡せる現場、電波がよく入る場所、グラップルが使用できる林分であること、グラップルで集材可能であれば、グラップルが不自由なく使えて電波が問題なく入る現場		

	可能	現場次第	困難
集材～造材～樅積を2名で可能か	0	4	0
可能な現場条件	全体が見渡せる現場、電波がよく入る場所（谷などがない）、リモコンの電波の調子が良ければ可能、電波が入ること、グラップルで集材できること、グラップルが不自由なく使えて電波が問題なく入る現場		

	良い	まあ良い	良くない
使用機械の印象	3	1	0
良いところ（記述）	荷掛け・荷外しが楽、疲労改善、玉掛け作業がいらぬ、退避場所から安全に作業できる、玉掛け作業の省力化、掛場作業員の負担軽減		
悪いところ（記述）	精密機械を搭載しているので運用に慎重を要する、電波が届いてないことが多々ありその間の作業効率が著しく低下する		

3.考察

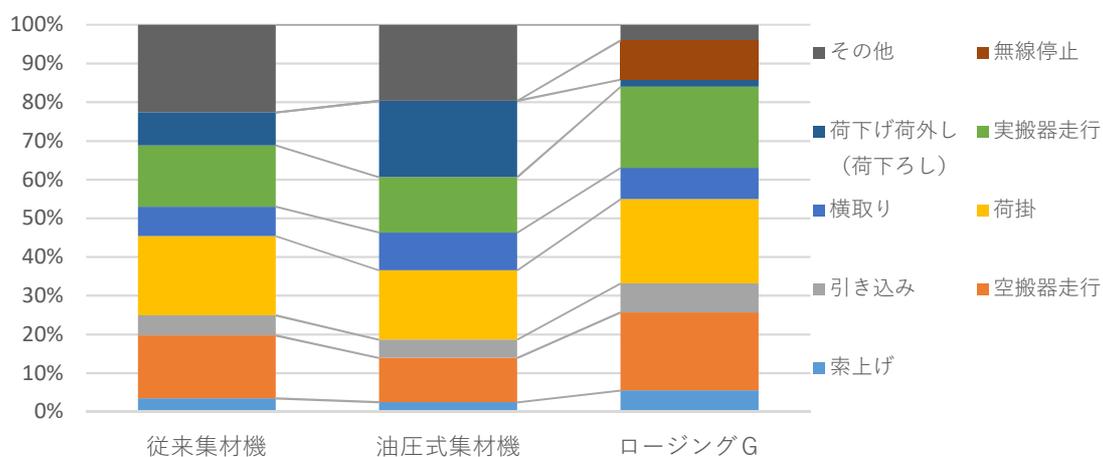
以上の得られた調査結果をもとに、従来集材機との比較を行いながら、時間あたり生産量・作業者負担・コストのそれぞれの観点から、ロージンググラップルの有用性について考察する。

3.1 生産量について

従来集材機における生産量については、「架線集材の低コスト化を目指して～島根県に適した作業方法の提案～（令和2年3月島根県中山間地域研究センター）」において、エンドレスタイラー方式で全木集材を行った際の事例がいくつか紹介されており、それらの各事例と今回調査の結果について、以下の通り比較を行った（表－7、図－6）。

表－7 集材機別事例の調査条件および結果の摘要

	従来集材機	油圧式集材機	ロージングG
調査地	浜田市田橋町	松江市大井町	益田市美都町
樹種	広葉樹	ヒノキ・広葉樹	ヒノキ・マツ・広葉樹
作業人数（人）	3	3(2)	3(2)
平均集材距離（m/回）	149	154	352
平均サイクルタイム（秒/サイクル）	547	493	568
平均空搬器走行速度（m/秒）	1.85	3.12	3.08
平均実搬器走行速度（m/秒）	1.80	2.13	2.96
平均搬器走行速度（m/秒）	1.82	2.63	3.02
平均集材材積（m ³ /サイクル）	0.5	0.68	0.88
時間あたり生産量（m ³ /時）	3.29	4.97	5.61



図－6 集材機別事例の要素作業の時間比率

集材現場における時間あたり生産量については、現地林分の林齢や樹種、集材距離等、左右する条件が多く、同じ現場は一つとしてないため、単純な比較は困難であるが、ロージンググラップルによる時間あたりの生産量は、他の事例を上回った。

要素作業の比率について過去事例と比較してみると、ロージンググラップルは搬器走行時間の比率が高いことと、荷下ろしの比率が低いことが特徴として挙げられる。

搬器走行の比率が高いことについては、集材距離が他事例の2倍以上の長さであることが原因と判断される。

また、平均サイクルタイムと要素作業の比率から、1サイクルあたり「荷下ろし」「荷下げ・荷外し」に要した時間を算出・比較すると、従来集材機は47秒、油圧式集材機99秒に対して、ロージンググラップルはわずか10秒であり、作業時間が短縮されている。

また、期待されていた荷掛け作業時間の短縮については、従来作業と比較して大きく変わらない結果であった。

これは、従来の荷掛けでは起こりえない、つかみ損ねによる時間のロスや、複数本を掴むため小移動してからの「つかみ換え」（1本つかんでから、近くにあるもう1本をつかみに行く）の動作により余分な時間がかかったためと推察される。

ただ、ロージンググラップルの一回当たりの集材材積の多さは、この「つかみ換え」により複数本掴むことができる、ということが有利に働いている部分もあるものと思われる。

なお、従来集材機であれば集材作業には3名が必須であったが、ロージンググラップルにおいては、土場の重機作業を行う作業員が集材機のリモコン操作を兼務することで、現地の班員数を1名減ずることも可能であると考えられる。

従事した作業員からもアンケートにおいて同様の回答を得ており、必要人員が3名から2名に減少することにより、人・日あたりの労働生産性については、2.3.1で示した労働生産性の1.5倍を発揮する可能性があることが示唆されている。

以上の比較について、下表のとおりまとめた（表－8）。

表－8 各集材機の生産にかかる能力の比較評価

	荷掛け 早さ	搬器 速度	荷下ろし 早さ	サイクル 集材積	時間あたり 生産量	労働生産性
従来集材機	△	△	△	△	△	△
油圧式集材機	△	◎	△	○	○	○
ロージングG	△	◎	◎	◎	◎	◎

3.2 作業員負担について

先山作業の身体的負担について、ロージンググラップルでのリモコン作業（作業員B）と、従来集材機での荷掛け作業（作業員D）の心拍水準を比較すると、ロージンググラップルでの作業の方が心拍水準が低かった。

また、アンケート調査の結果も「玉掛作業が不要となる」「退避場所から操作ができる」一様に「身体的負担は楽になった」等の回答が得られ、ロージンググラップルが現場作業員の身体的負担の軽減に効果があったと判断される。

土場作業の身体的負担について、ロージンググラップルでのリモコン作業（作業員A）と、従来集材機での重機運転+荷外し（作業員A）の心拍水準を比較すると、従来集材機での作業の方が心拍水準が低かった。

作業員Aのアンケートでは、ロージンググラップルの方が従来集材機よりも「身体的に楽になった」と回答しており、数値と感覚での結果が一致しなかったことから、本調査では、土場作業においてロージンググラップルが現場作業員の身体的負担を軽減するかは、明らかにはならなかった。

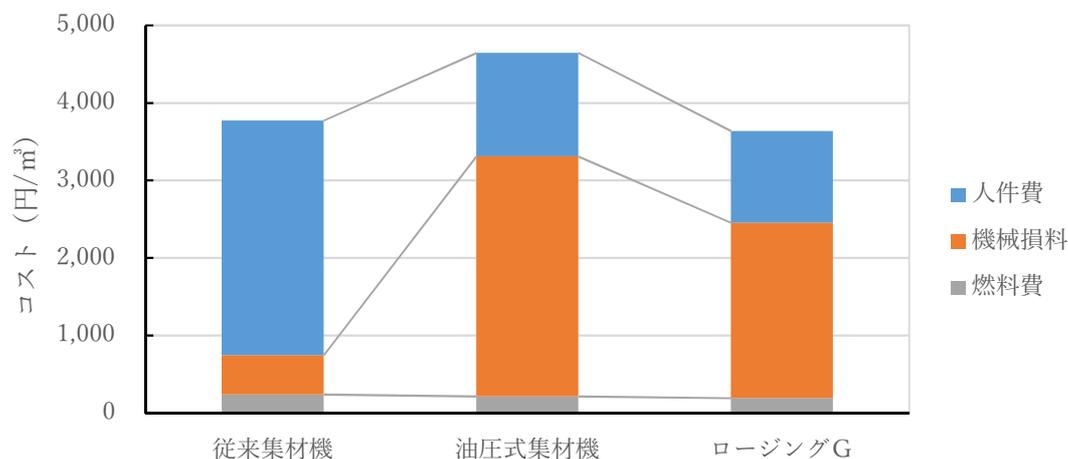
心理的負担については、アンケート結果や現場での作業員との意見交換から、「電波が切れて操作不能となる」「グラップルでは材を掴み損ねることがある」「精密機械ゆえに運用に神経を使う」等々の声も聞かれ、従来の集材機と比較して、安定してコンスタントに作業できないことがあることに対するストレスについて言及があった。

しかし、無線の途絶による操作不能以外については、作業員の慣れや、操作の慣熟により解消されていくものと推察される。

3.3 集材コストについて

1 m³あたりの集材にかかるコスト（人件費、機械損料、燃料費）について各集材機の比較を行った（図－7）。

なお、油圧式集材機とロージンググラップルは作業人員を2名で計算した。また、その他コスト試算に用いた数値条件については、巻末資料のとおりである。



図－7 集材機別のm³あたり集材コスト

ロージンググラップルの機械損料は従来集材機を大きく上回るものの、人件費において従来集材機を大きく下回っており、トータルでの集材コストはロージンググラップルが従来集材機より3%下回ることを確認した。

これは、ロージンググラップルの機械購入費やメンテナンス費用は従来集材機に対して高くなるものの、ロージンググラップルの利点である時間あたり生産量の高さ及び、作業従事者が少ないことで、労務コストが大きく縮減されたことによるものと判断される。

4 まとめ

ロージンググラップルについては、従来集材機よりも優れた時間当たり生産量を示すとともに、作業人員の減による集材コストの低減及び、作業者の負担軽減に資することが明らかとなった。

作業時間の1割を占め、作業従事者からも欠点として挙げられていた無線途絶による停止については、生産性の向上、作業従事者の心理的負担の軽減にもつながるので、本機メーカーへの改善点として今後に期待したい。

5 参考文献

- 1) 吉岡拓如ら (2020) 森林利用学.丸善出版社. p 118-120

巻末資料

1.人件費

特殊作業員	19,900 円/日
普通作業員	16,700 円/日

※島根県公共工事設計労務単価表（R4.8.1 適用）より

2.機械損料

機械名		従来集材機					
減価償却費①		維持管理費②		機械損料(①+②)			
購入価格	5,000,000	保守修理費率	30				
自己負担額	5,000,000	保守修理費	300,000				
償却年数	5						
想定運転日数	130						
年間償却額	1,000,000	年間維持費	300,000	年間損料	1,300,000		
日当り償却額	7,692	日当り維持費	2,308	日額損料	10,000		

機械名		油圧式集材機					
減価償却費①		維持管理費②		機械損料(①+②)			
購入価格	40,000,000	保守修理費率	50				
自己負担額	40,000,000	保守修理費	4,000,000				
償却年数	5						
想定運転日数	130						
年間償却額	8,000,000	年間維持費	4,000,000	年間損料	12,000,000		
日当り償却額	61,538	日当り維持費	30,769	日額損料	92,308		

機械名		ロージンググラップル					
減価償却費①		維持管理費②		機械損料(①+②)			
購入価格	33,000,000	保守修理費率	50				
自己負担額	33,000,000	保守修理費	3,300,000				
償却年数	5						
想定運転日数	130						
年間償却額	6,600,000	年間維持費	3,300,000	年間損料	9,900,000		
日当り償却額	50,769	日当り維持費	25,385	日額損料	76,154		

※機器購入価格は、機械所有者、もしくは機械販売者より聞き取り

償却年数と保守修理費率は、「間伐生産性・コスト分析シート使い方マニュアル（全国森林組合連合会）」を参照し、従来集材機はスイング/タワーヤードの値を、油圧式集材機とロージンググラップルは油圧機構を備えることからプロセッサ・ハーベスタの値を適用。想定運転日数は、従来集材機調査の聞き取り値をすべてに適用。

3.燃料費

軽油	145 円/ℓ
----	---------

4.生産速度・労働生産性の算出

	従来集材機	油圧式集材機	ロージングG
全作業時間 (秒)	19,681	10,847	7,946
推定処理材積 (m³)	17.98	14.982	12.38
生産速度 (m³/時)	3.29	4.97	5.61
日生産性 (m³/日)	19.73	29.83	33.65
作業員数 (任)	3	2	2
労働生産性 (m³/人・日)	6.578	14.917	16.827

5.人工数の算出

	従来集材機	油圧式集材機	ロージングG
m³あたり必要時間 (秒/m³)	1,094.61	724.00	641.84
m³あたり歩掛 (人工/m³)	0.152	0.067	0.059

※例：6時間（1日）従来集材機を運用した場合、3人工（3人日）の労務を要するので

$$3 \text{ 人役} \div (6 \times 3600) = 0.000139 \text{ (人役/秒)} \times 1,094.61 \text{ (秒/m}^3\text{)}$$

$$\Rightarrow 0.000139 \text{ (人役/秒)} \times 1,094.61 \text{ (秒/m}^3\text{)} = 0.152 \text{ (人役/m}^3\text{)}$$

6.コスト算出

	従来集材機	油圧式集材機	ロージングG
m³あたり歩掛 (人工/m³)	0.152	0.067	0.059
人件費 (円/m³) ①	3,025	1,334	1,183
機械損料 (円/m³) ②	507	3,094	2,263
機械出力(kWh)	50	68.4	68.6
燃料消費量 (L)	32	44	44
燃料費 (円/m³) ③	238	215	192
合計 (①+②+③)	3,770	4,643	3,637

※人件費＝労務単価：特殊作業員 (円/1人日) × m³あたり歩掛 (1人日/m³)

機械損料＝日額損料 (円/日) ÷ 日生産性 (m³/日)

燃料費＝日額燃料費 (円/日) ÷ 日生産性 (m³/日)

機械出力は、機械所有者聞き取り、もしくはカタログ抜粋

燃料消費量＝機械出力×1.08 (燃料消費率※) ×6時間＝日燃料消費量 (ℓ/日)

燃料費＝燃料単価 (円/ℓ) ×日燃料消費量 (ℓ/日)

令和3年度林業省力化実証事業

報告書

【隠岐地域：伐根粉碎機】

目次

1 調査目的

2.伐根粉碎機による伐根処理調査

2.1 調査対象機械

2.2 調査地

2.3 調査方法

2.4 結果

2.4.1 伐根体積

2.4.2 作業工程

2.4.3.コスト

2.4.4 労働強度

2.5 考察

3. まとめ

4. 参考文献

1 調査目的

造林から保育までの省力化や低コスト化を進める上で、造林後の下刈りにかかる負担をいかに抑えるかが課題の一つとなっている。下刈りにかかる負担を抑える手法として、下刈機械の使用が想定されるが、伐採後に残された伐根が下刈機械の効率的な使用を阻害する一つの要因となっている。

そこで本調査は、隠岐の島町内に導入された伐根破碎機（ウッドクラッカー）を使用し、伐根除去のコスト縮減効果および省力化を検証することを目的に調査した。

2. 伐根破碎機による伐根除去

2.1 調査対象機械

佐山の里企業組合が保有する伐根破碎機（woodcracker S400：写真－1）を用いた。機械の諸元を表－1に示す。

ベースマシンは13tクラスの重機を用いており、アタッチメント部分にクイックカプラ（商品名：Oil Quick）を装着している。このクイックカプラにより伐根破碎用アタッチメントとプロセッサヘッドの換装を30秒程度で完了することが可能である。



写真－1 伐根破碎機

表－1 機械諸元（アタッチメント部のみ）

メーカー	WESTTECH（オーストリア）
質量	760kg
切断幅	480 mm
適用ベースマシン	～18 t

2.2 調査地

隠岐の島町都万地内のスギ主伐現場において実証を行った。この伐採現場は佐山の里企業組合が作業し、伐倒はチェーンソーおよびロングリーチ伐倒機を用いた。

2.3 調査方法

令和3年12月2日に伐根粉碎機による作業を調査した。調査は伐区内に伐根粉碎機を用いる試験区（以下、「機械区」とする）を設定し、試験区内の伐根33株の高さおよび直径を予め記録した。そして、伐根粉碎機による作業の状況をビデオ撮影し、要素時間を分析した。なお、要素時間は表-2のとおり区分した。機械区の作業は経験年数8年の60代オペレータが行った。

令和3年12月3日に機械区に隣接する区域にチェーンソーを用いた従来作業用の試験区（以下、「従来区」とする）を設定し、調査を行った。従来区についても区域内の伐根25株の伐根の高さおよび直径を記録し、チェーンソーによる作業の状況をビデオ撮影して、要素時間を分析した。要素作業は表-3のとおり区分した。なお、従来区は経験年数5年の30代作業員が排気量は39ccのチェーンソーを用いて作業した。

従来区においては、労働強度を把握することを目的に作業員に心拍計を取り付け、作業中の心拍数を記録した。

表-2 機械作業の要素作業区分

要素作業	内容
走行	機械が走行している時間
伐根処理	伐根を処理する時間
整理	作業の支障となる残材等をつかんで移動させる時間（地均しを含む）
その他	休憩、トラブルによる遅延時間

表-3 従来作業の要素作業区分

要素作業	内容
移動	切断する根株まで移動する時間
根株周辺整理	根株周辺の土等を除去する時間
切断	チェーンソーを使って作業する時間
目立て	ソーチェーンの目立てを行う時間
燃料補給	燃料やオイルを補給する時間
その他	その他具体的に記載

2.4 結果

2.4.1 伐根体積

両試験区内の伐根体積を図-1に示す。伐根の平均体積は機械区 0.05 m³/株、従来区 0.04 m³/株だった。

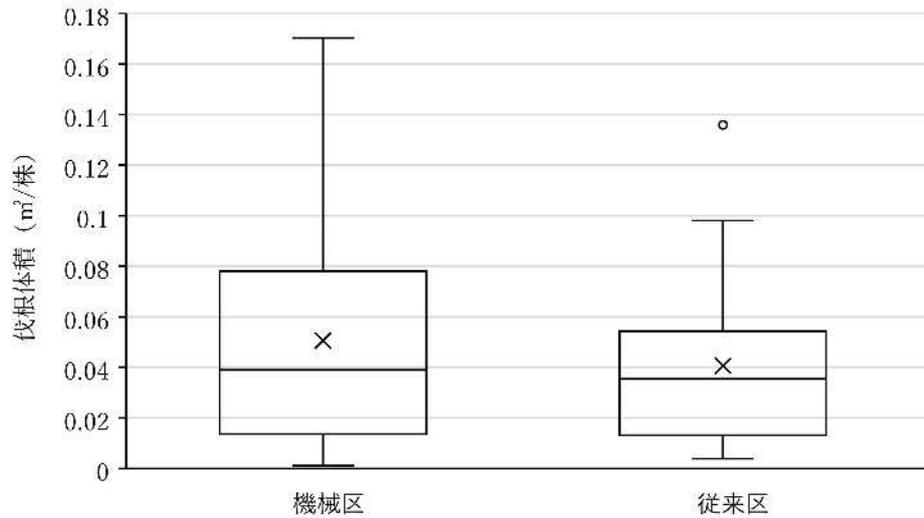


図-1 各作業区内の伐根体積

2.4.2 作業工程

機械区の作業時間は 1,952 秒で、その作業の要素別の時間割合を図-2に示す。伐根粉碎器による作業の 78%は伐根処理に時間を要した。

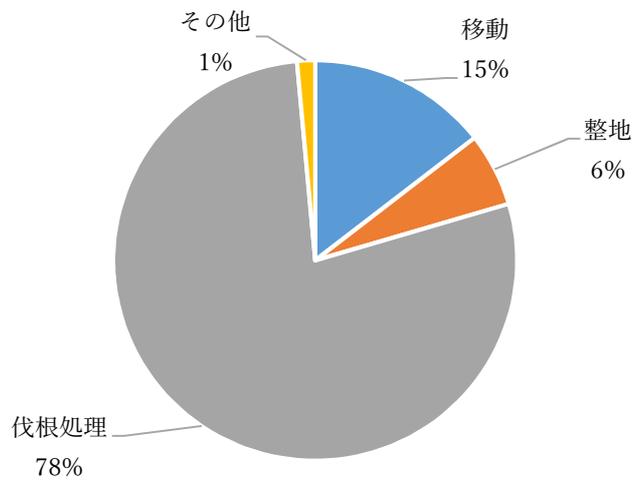


図-2 機械区における要素作業別の割合

また、機械区における伐根 1 株あたりの平均処理時間は 73 秒だった。また、伐根体積と処理時間には相関関係が認められた (図-3)。

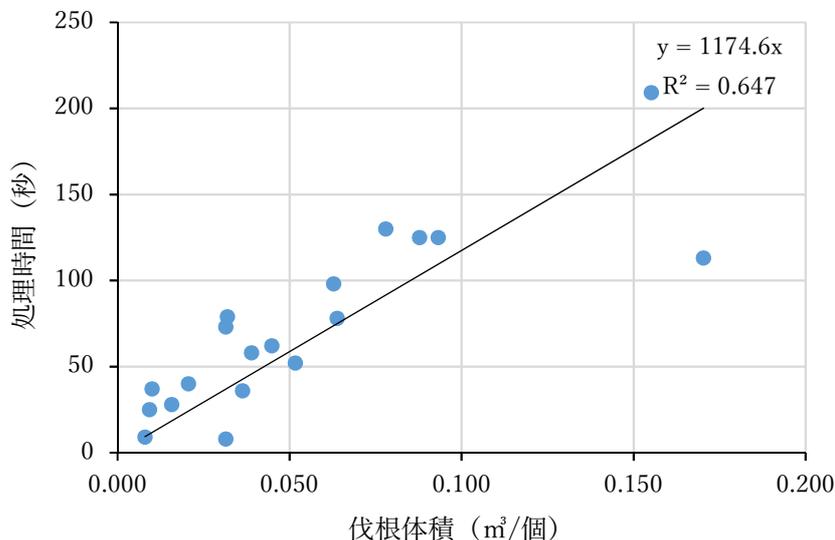


図-3 機械処理区における伐根体積と処理時間の関係

従来区の作業時間は 4,880 秒で、その作業の要素別時間の割合を図-4 に示す。従来区はチェーンソーによる切断が 52% と最も多くの時間を占めた。また、ソーチェーンの摩耗を最小限にするために伐根周辺の土や枝条を除去する時間が 23% を占めた。

また、従来区における伐根 1 株あたりの平均処理時間は 152 秒だった。また、伐根体積と処理時間には相関関係が認められた (図-5)。

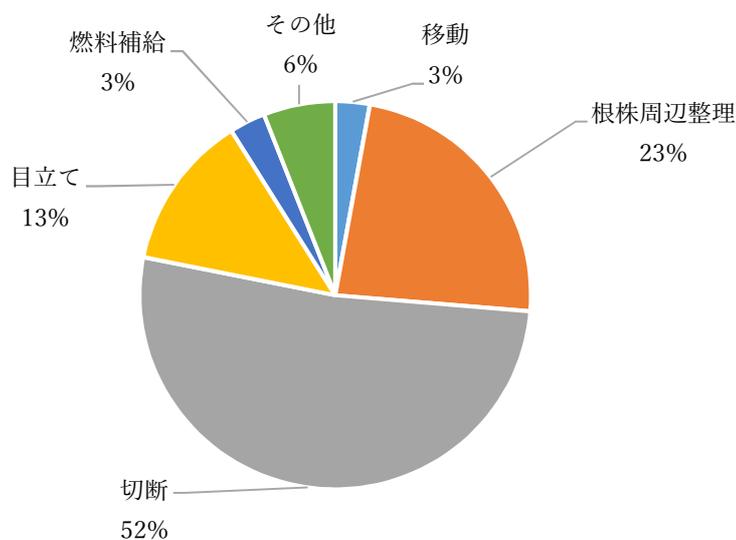
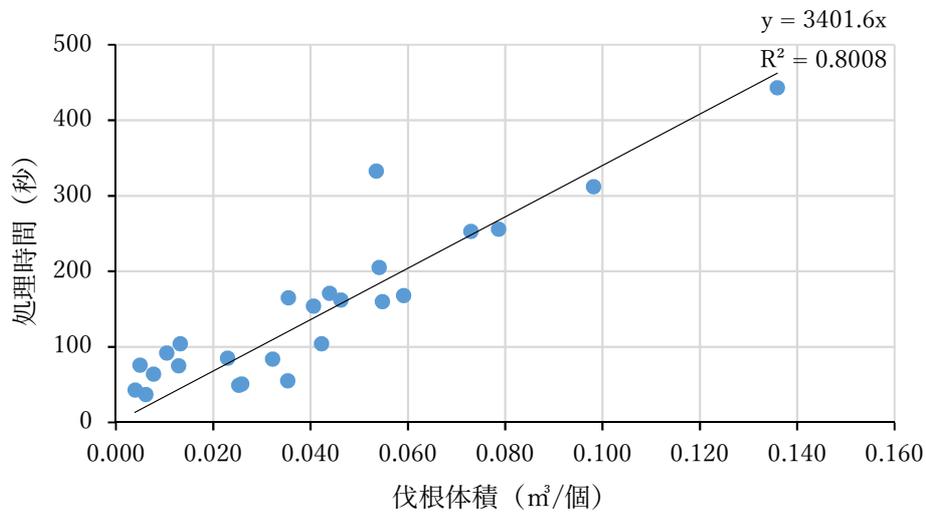


図-4 従来区における要素作業別の割合



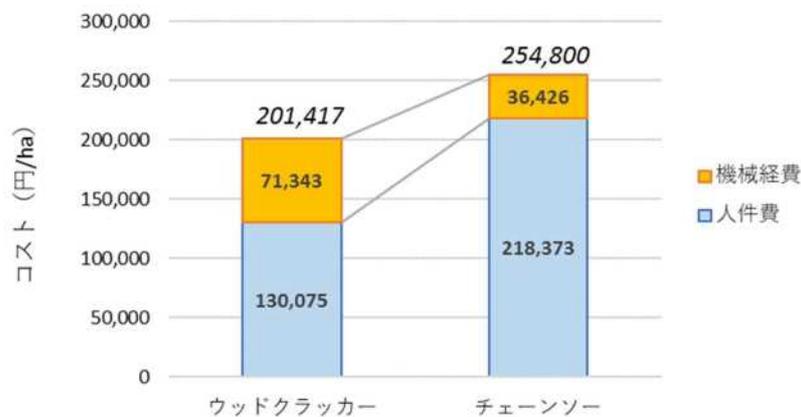
図－５ 従来区における伐根体積と処理時間の関係

時間分析の結果から、作業時間を6時間/日と仮定して1日あたりの伐根処理数を試算すると、機械作業で230株/日、従来作業で75株/日となった。この結果、伐根粉碎器はチェーンソーに比べて3.07倍の作業効率であることがわかった。

2.4.3 コスト

2.4.2の作業効率を用いて、機械作業および従来作業の1haあたりのコストを試算した(表－6)。なお、試算に用いた諸条件や数値を表－4から6に示す。

この結果、伐根粉碎機による作業は従来作業に比べて21%のコスト低減効果が認められた。



図－6 作業別のhaあたりコスト

表-4 人件費

人件費 (円/人・日)	
特殊作業員	19,000
普通作業員	16,200

表-5 機械経費

機械名	日額損料 (円/日)	燃料費 (円/日)
伐根粉碎機	4,135	—
〃 (ベースマシン)	9,898	1,223
チェーンソー	733	2,436
下刈機	667	636
刈払機	11,162	

表-6 林分条件および作業条件

項目	条件
1 haあたりの伐根数	862 個 @ 島根県人工林収穫予想表スギ地位 3、50 年生
伐根粉碎機の適用範囲	6 割 @ 事業体より過去の作業条件を聞き取り

2.4.4 労働強度

従来区作業における時間と心拍数の推移を図-7に示す。このうち、チェーンソーが挟まれないようにクサビ打ちを行った時に心拍数が最高で156拍/分になった。また、目立て中は平均109拍/分で安定していた。

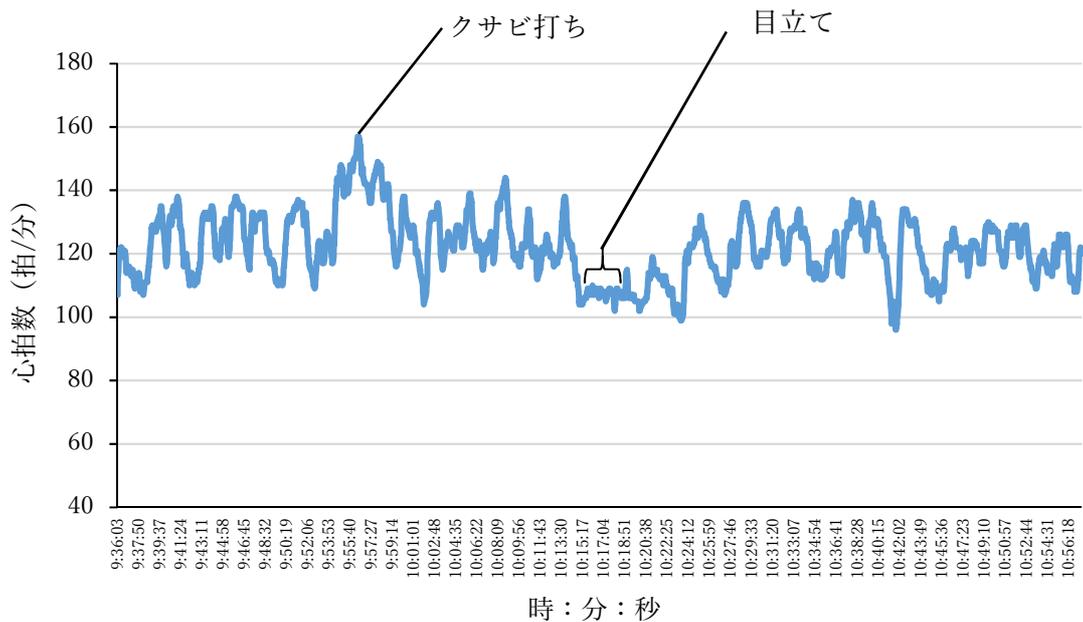


図-7 作業時間と心拍数の推移

また、作業開始から終了までの心拍数の平均値を用いて(式)により心拍水準を算出した。

$$\text{心拍水準}(\% \text{ of max HR}) = \text{作業時心拍数(拍/分)} / \text{年齢による予想最高心拍数(拍/分)} * \quad (\text{式})$$

$$\text{※年齢による予想最高心拍数(拍/分)} = 220 - \text{年齢}$$

$$220 - 32 = 188 \text{ 拍/分}$$

$$122 / 188 = 64\% \text{ of max HR}$$

この結果、チェーンソーによる伐根除去作業は64% of max HRであった。林業作業における心拍水準は一般的に表-7により評価するが、この結果は有酸素運動限界レベルの70% of max HRに匹敵する負担割合の大きい作業であることがわかった。

表-7 林業作業の心拍水準¹⁾

機械・作業	心拍水準 (% of max HR)
ハーベスタ ⁶⁾	42～49
プロセッサ ⁷⁾	43～44
フォワーダ ⁸⁾	44～52
スキッダ ⁹⁾	41～46
チェーンソー伐木 ³⁾	57～62
架線荷掛手 ¹⁰⁾	60～70

2.5 考察

調査結果より、伐根粉碎機による作業は従来作業に比べて作業効率が高く、人件費を低減させる効果が高い事が明らかになった。そこで、佐山の里企業組合が導入している下刈機（spider ILD01）との組み合わせを想定し、伐根処理及び4年間の下刈りを行った場合のコストについて比較した。なお、コストは図-8のとおり想定される3パターンの作業システムで試算し、比較した。

【比較システム】

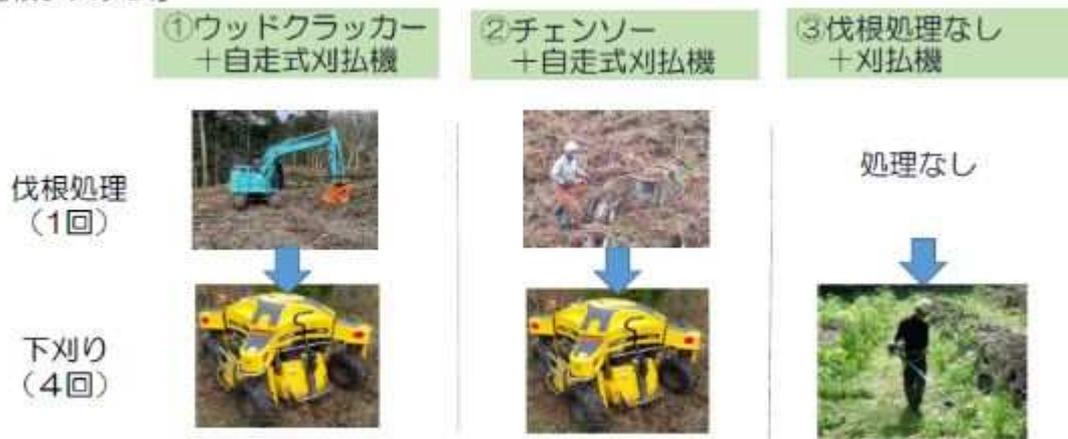


図-8 想定される作業システム

その結果、伐根処理をチェーンソーから伐根粉碎機に置き換える事で、8%のコスト低減が可能であると試算された（図-9）。このうち、人件費については従来作業に比べて18%のコスト低減効果が認められ、約4.6人役の省力化に繋がると判断した。



図-9 コスト試算の比較

伐根粉碎機はバックホーに取り付けるため、機械の適用範囲は概ね傾斜 30 度以下の緩・中傾斜に限定される。このため、森林 GIS を用いて島後地域内人工林で範囲を算出したところ、約 23%にあたる 2,341 haで利用可能と判断した。また、機械を保有する佐山の里企業組合が主に作業を実施している旧都万村地内では約 37%にあたる 566 haで利用可能と判断した。

3. まとめ

伐根粉碎機を用いて伐根を処理し、その後下刈機と組み合わせる事により保育作業の低コスト化と省力化が期待出来る。また、クイックカプラを備えた機械であることにより、作業に併せてアタッチメントを交換することが可能である。これにより、造材（プロセッサ）・伐根処理（ウッドクラッカー）・地拵え（バケット）の各作業に1台のベースマシンで対応することができる。

今後は機械の稼働率を高めるための事業地確保と、島内の林業事業者との更なる連携に向けた取り組みを推進する事が重要である。

4. 参考文献

- 1) 吉岡拓如ら (2020) 森林利用学.丸善出版社. p 118-120

令和 3 年度林業省力化技術実証

報告書

【松江地域：多目的造林機械①】

目次

1. 調査概要	4
1.1 調査目的	4
1.2 調査対象機械	4
2.調査	5
2.1 調査地	5
2.2 調査方法	5
2.3 機械作業	6
2.4 人力作業	7
2.5 労務.....	8
2.6 コスト試算.....	9
3. 考察.....	10
4. まとめ	11
参考資料.....	12
巻末資料.....	13

1. 調査概要

1.1 調査目的

松江地域においては一貫作業による地拵えを行う場合、作業道周辺においては高性能林業機械による地拵えが可能であるが、それ以外の区域においては人力による地拵えが行われている。

そこで近年開発された多目的造林機を用いて、人力作業部分の一部を機械化することにより地拵えから下刈りまでの造林作業をどの程度省力化が図られるかを検証する。

1.2 調査対象機械

本調査で使用した多目的造林機械は株式会社築水キャニコムが開発した山もつとモット（写真-1）である。機械の諸元を表-1に示す。



写真-1 山もつとモット

表-1 機械諸元

型式	CG510KZC YT
寸法	3,555 × 1,605 × 2,225 m
機械質量	2,445 kg
排気量	2,434 cc
出力	37.4 kw
燃料	軽油
走行スピード	0 - 9 km/h
最小回転半径	2 m
登坂能力	35°
最大傾斜角度	左右 各 30°
刈幅	1,200 m
刈高	0 - 370 mm
刈刃枚数	40 枚

この機械はアタッチメントを交換することによって地拵え、下刈り、苗木運搬を行うことが可能な多目的機械である。本調査では地拵えのために伐根や林地残材、ササ等を粉碎するアタッチメント（商品名：オーラランプシェーバー）を装着して作業した。なお、本機は機械後方にオペレータが搭乗して操作し、最大傾斜 30° まで作業が可能である。

2.調査

2.1 調査地

調査は安来市伯太町峠之内の主伐事業地（ヒノキ人工林伐跡地、林齢 45 年生、伐採本数 1,600 本/ha 程度、平均傾斜 21.5 度）において実施した。現場は全木集材により林地の残材は少ないものの、ササが繁茂しており地拵えが必要である（写真-2）



写真-2 試験地の様子

2.2 調査方法

多目的造林機による地拵え作業（以下、「機械作業」とする）と従来的人力作業（以下、「従来作業」とする）を比較するために、調査地内に 0.1ha 程度の試験区を 2 か所設定した（図-1）。そして、機械作業区については区域内の伐根の直径と高さを記録した。

機械作業は機械メーカーの職員（経験年数 3 年）が多目的造林機を操作し作業した。多目的造林機がプロット内を走行しながら伐根や枝条の粉碎とササ刈払いを行う様子をビデオ撮影して時間を分析した。

人力作業はしまね東部森林組合の作業員 2 名（経験年数：作業員 A は 31 年、作業員 B は 9 年）が従来実施している地拵え作業の様子をビデオ撮影して時間を分析した。

なお、両試験区とも作業前後にドローンによる空撮を行い、オルソ画像を作成して機械作業および従来作業の実行面積を求めた。



図-1 試験区の範囲

2.3 機械作業

令和3年10月20日に機械作業を行った。機械による作業時間は19,433秒で、作業実行面積は1,013 m²であった。作業のうち伐根粉碎に多くの時間がかかっており、その割合は54%であった(図-2)。

なお、試験区内全てを作業することは困難であった。この要因として、機械性能上は作業が可能な30°以下の傾斜地でも凹凸や急に变化する地形があると、機械オペレータの心理的な負担が増加し安全作業のために作業を見送る場面が確認された。

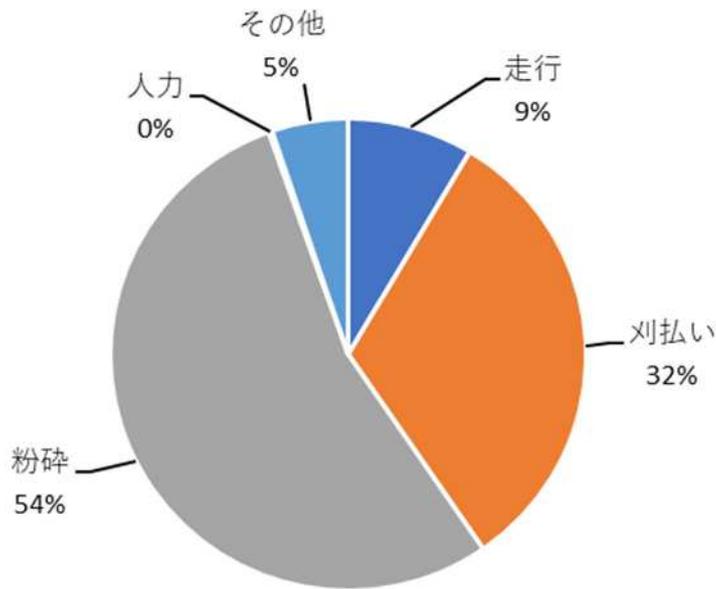


図-2 機械作業の要素作業割合

次に、伐根体積と粉砕に要した時間の関係を図-3に示す。なお、機械作業により粉砕した伐根は128個で、平均直径24cm、平均高さ27cm、平均体積0.01m³であった

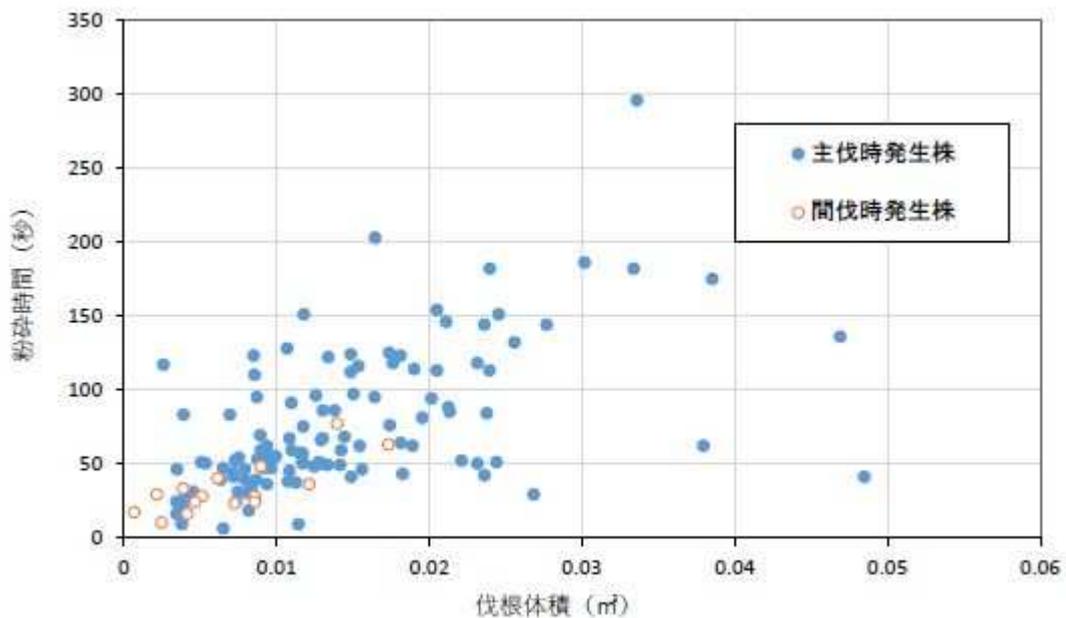


図-3 伐根体積と粉砕時間の関係

2.4 人力作業

令和3年12月9日に人力作業を行った。人力による作業時間は17,147秒で、要素作業

毎の実行面積を表-2 に示す。このうち、経験年数の長い作業員 A は刈払い作業を中断し、作業員 B と合流して地拵えを行ったため、刈払いと整理で実行面積が異なった。このため、調査時間内に観測した要素作業の割合は刈払いが 68% を占めた (図-4)。

表-2 人力区における要素作業毎の実行面積と時間

	実行面積 (m ²)	時間 (秒)
刈払い	1123.5	11,698
整理	499.5	3,136
その他		2,314

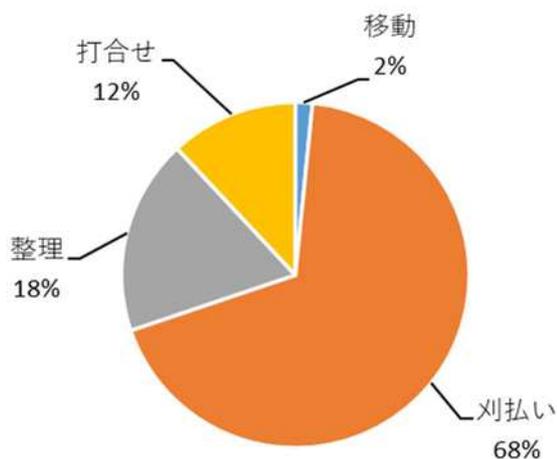


図-4 人力作業の要素作業割合

2.5 労務

2.3 および 2.4 の結果を用いて、機械作業と人力作業それぞれの 1 ha あたりに要す労務を試算した。その結果、機械作業で 9.0 人/ha、人力作業で 8.4 人/ha と試算され、若干ではあるが人力作業の方が効率的だった (図-5)。この要因として、機械作業は伐根粉碎に時間がかかったためと考えられる。

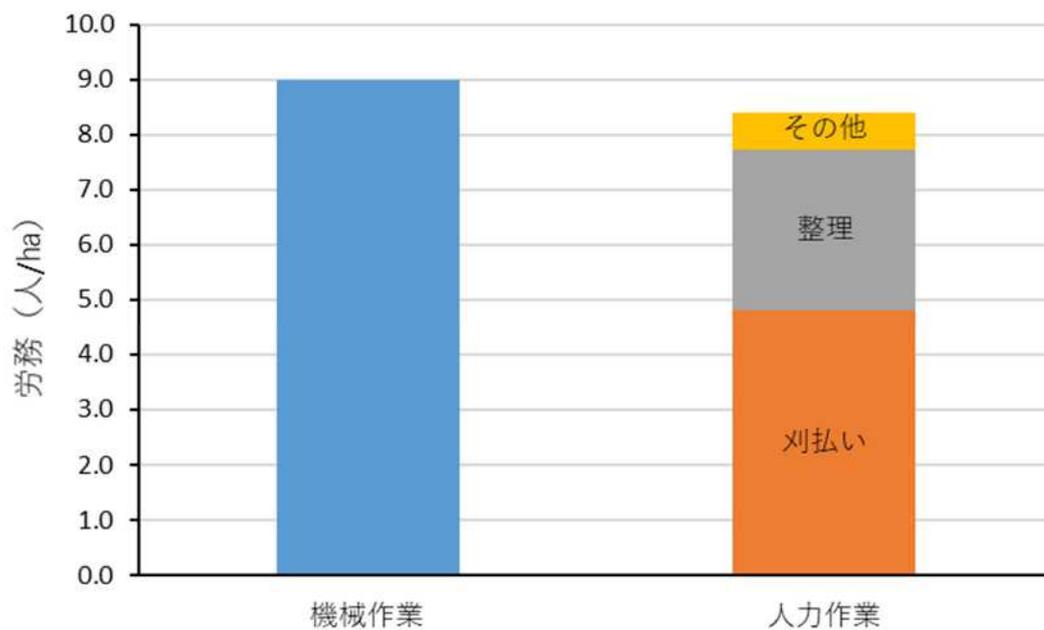


図-5 作業別の労務試算

2.6 コスト試算

2.5の労務と国が示している地拵え労務¹⁾(以下、「国歩掛」とする)を用いてhaあたりの作業コストを試算した(図-6)。ただし、機械作業により施業地内全ての作業を実施することは不可能だったため、本調査地の地形から区域内の60%を機械で実施し、残り40%は従来作業を併用するものと判断して試算した。なお、コスト試算に用いた数値は巻末資料のとおりである。

試算の結果、機械と人力を併用した作業は人力作業や国歩掛に比べて機械経費が増加し、コストが掛かり増しとなった。

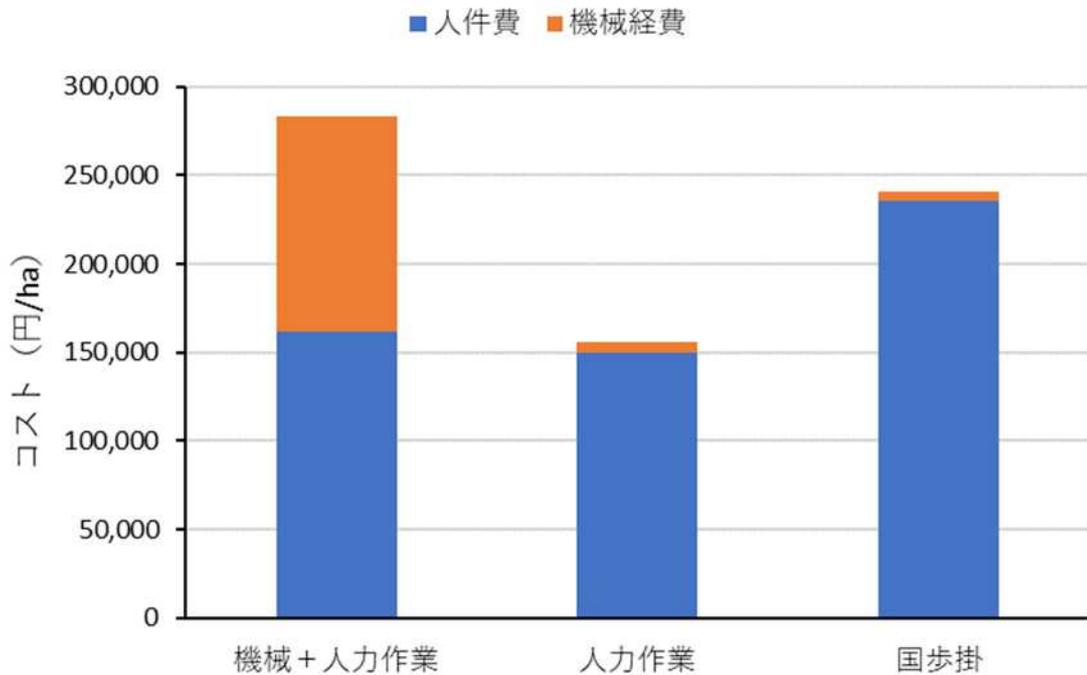


図-6 コスト試算

3. 考察

2.6では地拵えのみのコストを比較したが、渡部²⁾は本機で伐根を粉碎した場合に翌年の下刈りの作業効率が従来の約2.8倍(0.212 ha/時)になるとしている。この数値を参考にして地拵えから下刈りまでのコストを試算した(図-7)。なお、比較に用いた従来作業と一貫作業は島根県造林単価を用いて算出した。

その結果、機械と人力を併用した地拵えを採用することにより、従来作業に比べて27%、一貫作業に比べて12%のコスト削減効果を確認した。ただし、この試算は施行地内の6割を機械により作業することのできる緩傾斜地での試算であることに注意が必要である。

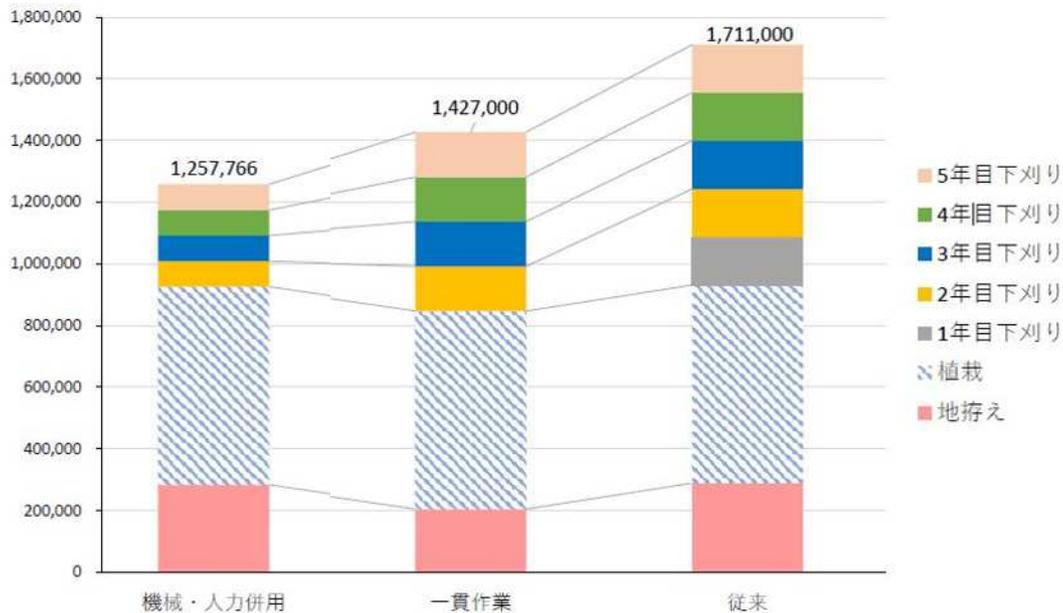


図-7 トータルコストの比較

機械作業により保育作業の労務を 3.4 人日/ha縮減させる事が可能になると考えられる。これにより、しまね東部森林組合の令和 4 年度の下刈り計画 99 haのうち 3 割を機械下刈りで実施しと仮定すると、101 人程度の余剰人員が見込まれる。この人員を他の作業に充てることにより、更なる原木増産や労務不足の解消が期待できる。

なお、機械導入にあたっては事業地を確保し、機械稼働率を上げることが重要となる。また、本機械は雑灌木や竹の粉碎も可能であるため、除伐や既設路網の維持管理での活用の検討や、複数事業体での共同利用を考える必要がある。さらに、本機械には残材集材用や苗木運搬用のアタッチメントも販売されているため、その作業効率については今後更なる検証が必要である。

4. まとめ

多目的造林機を用いた地拵えは 1) 機械損料の増加、2) これまで行わなかった伐根粉碎が発生するため、従来作業に比べてコストが掛かり増しになることが明らかになった。一方で、伐根を粉碎すれば下刈り作業を機械化することが可能となり、下刈りまでのトータルコストを縮減させる可能性がある。

本機械の普及にむけて、遠隔操作を採用して機械適用範囲を拡大させることや、現行の機械では困難とされる末木枝条や端コロの粉碎が可能になることを期待したい。また、本機械の活用するためには伐倒時に伐根の高さを出来るだけ低くすることや、機械下刈りを想定した植栽方法の普及指導が必要であると考えられた。

参考資料

1) 林野庁 森林環境保全整備事業における標準単価の設定等について（最終改正：令和3年3月31日 2 林整整第1381号）

2) 渡辺一郎（2020）新たに開発された造林作業機械によるカラマツ根株切削性能と下刈り作業コスト.森林利用学会誌誌 35（4）:197~202

巻末資料

1. 労務単価

項目	単価	備考
特殊作業員	19,000 円/人日	機械操作に適用、島根県公共工事設計労務単価表（R3.3.1適用）より
普通作業員	16,200 円/人日	一般作業に適用、島根県公共工事設計労務単価表（R3.3.1適用）より

2. 機械経費

機械名	山もっとモット	
減価償却費①	維持管理費②	
購入価格	15,000,000	機械損料(①+②)
自己負担額	8,500,000	保守修理費率 10
償却年数	5	保守修理費 300,000
想定運転日数	100	
年間償却額	1,700,000	年間維持費 300,000
日当り償却額	17,000	日当り維持費 3,000
		年間損料 2,000,000
		日額損料 20,000

機械名	刈払機	
減価償却費①	維持管理費②	
購入価格	80,000	機械損料(①+②)
自己負担額	80,000	保守修理費率 200
償却年数	3	保守修理費 53,333
想定運転日数	100	
年間償却額	26,667	年間維持費 53,333
日当り償却額	267	日当り維持費 533
		年間損料 80,000
		日額損料 800

3. 燃料費

項目	単価	備考
軽油	133 円/ℓ	R3.10～公共工事設計資材単価表（パトロール給油,2～4KL積載車給油 L 浜田AB）
混合油	151 円/ℓ	R3.10～公共工事設計資材単価表（2.5 : 1 L 本土）

4. 下刈りの条件

- ・ 伐根粉碎後の機械下刈り作業工程は論文値（渡辺一郎（2020）によると 0.212ha/時のため、実働 6 Hとした場合は0.79日/haとなる
論文（渡辺一郎（2020）新たに開発された造林作業機械によるカラマツ根株切削性能と下刈り作業コスト.森林利用学会誌 35 | (4) :197-202）より
- ・ 機械による作業は林地全体の6割、残り4割は従来作業で作業したと仮定
- ・ 機械・人力併用の人力部分は傾斜30度以上を行うため1割補正（ササ類と仮定）

5. 一貫作業の条件

- ・ 島根県造林単価より一貫作業の地拵え「機械・人力併用②」を適用
- ・ 植栽はスギコンテナ苗 2,000 本（地拵え抜き）を適用

令和3年度林業省力化技術実証事業

報告書

【浜田地域：多目的造林機械②】

目次

1. 調査概要

1.1 はじめに

1.2 調査目的

1.3 調査対象機械

2. 下刈り調査

2.1 調査地

2.2 調査方法

2.3 結果

2.3.1 植生

2.3.2 作業工程

2.3.3 コスト

2.3.4 労働強度

3. 地拵え調査

3.1 調査地

3.2 調査方法

3.3 結果

3.3.1 作業工程

3.3.2 コスト

3.3.3 労働強度

4. 機械稼働条件調査

4.1 調査方法

4.2 結果

5. まとめ

6. 参考文献

1. 調査概要

1.1 はじめに

浜田地域では原木生産の増加に伴い、地拵えや下刈り等を行う面積は年々増加しているが、刈払い機やチェーンソー等による人力作業のため、労働負荷が大きく、生産性が低い。特に林地残材が多い現場での作業量は多くなるため、コストが高くなることが課題となっている。

このため、生産性の向上による林業の低コスト化及び労働負荷の軽減を目的として、傾斜地で走行が可能なリモコン式多目的機械を用いた下刈り、地拵えの実証試験を行った。

1.2 調査目的

浜田管内では原木生産の増加に伴い、地拵えや下刈り等を行う面積が年々増加している。しかし、それらの作業は刈払機やチェーンソー等の小型機械を用いた人力作業のため、労働負担が大きく生産性が低いことが課題となっている。そこで、造林・保育作業の機械化を検証することを目的にラジコン式多目的機械の作業効率とコスト分析を実施した。

1.3 調査対象機械

調査に用いた機械は MDB 社（イタリア）のリモコン式多目的機械 Green Climber LV500 である（写真－1）。機械の諸元を表-1 に示す。

この機械は道路法面や公園緑地、果樹園での草刈だけでなく、アタッチメントを交換することにより切り株の切削や除雪作業を行える汎用性の高い機械である。

また、本機の特徴として、傾斜地走行の際には履帯部を拡張することにより、機械重心を低くして傾斜地の走行が可能になる機構を備えている（写真－2）。これにより、傾斜地での作業に対応することが可能で、林業での活用も期待出来る。

一方で、凸凹地形の多い林地での実証については報告されていない。本調査のうち、地拵えと下刈り試験では灌木粉碎用のアタッチメント（Forestry mulcher 以下、「粉碎アタッチメント」と記す、写真－2）を用いた。

型式	LV500pro
寸法（全長×全幅×全高）	2,170×1,740※×1,190 mm
機械質量（アタッチメントを除く）	1,280kg
排気量	2,190cc
出力	36kw
燃料	軽油
走行スピード	0－8km/h
最大作業勾配	60°
最大傾斜角度	左右 各 30°

（表 1 機械諸元）



(写真1)



(写真2)



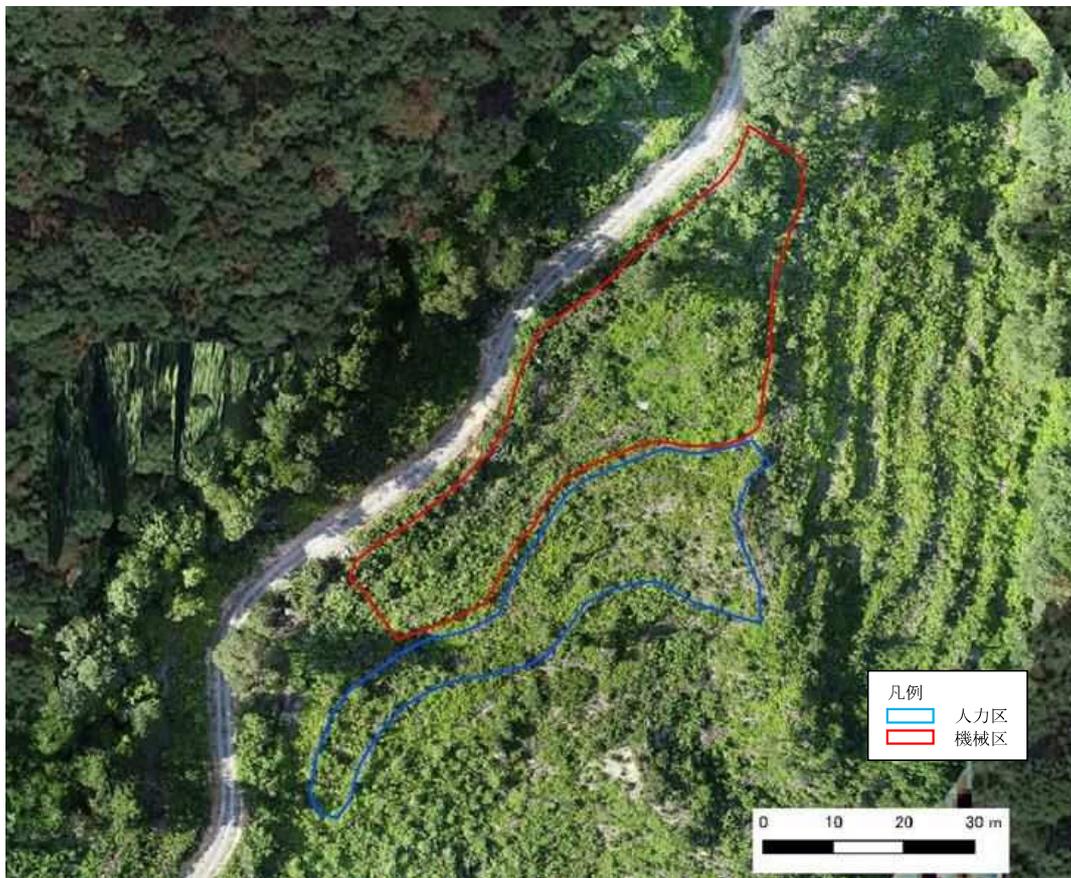
(写真3)

2. 下刈調査

2.1 調査地

江津市浅利町地内のヒノキ造林地に 0.1 ha のプロットを設定した (図-1)。各プロットの概要を表-2 に示す。調査地は小中径の灌木を伐採して地拵えを行ったため、枝条が高く積まれた状態の棚が多く見られた。また、植栽から 4 年経過しており、棚積みされた枝条の乾燥が進んでいた。

調査地内の植生状況はシダ類や広葉樹を中心とした木本類が繁茂していた (写真-5, 6)。現地実証調査は令和 3 年 7 月 27 日に機械作業、令和 3 年 8 月 26 日に人力作業を実施した。



(図1 調査地プロット (江津))

	プロット①	プロット②
プロット名	人力区	機械区
面積	0.10ha	0.10ha
作業条件	人力作業 10 割	機械作業 7 割、人力作業 3 割

(表2 プロット概要)



(写真5)



(写真6)

2.2 調査方法

図-1 のとおり機械作業区域および人力作業区として各 0.1 ha のプロットを設定した。機械区と人力区それぞれの区域で作業開始から作業終了までの様子をビデオ撮影し、持ち帰って時間分析を行った。

また、各作業区において植栽木の樹高と周辺の植生高をライントランセクト法により計測した。

なお、時間分析は作業の様子から、機械区では「刈払い」、「機械チェック」、「機械移動」、「作業開始」、「周辺確認」、「打合せ」の6つの要素作業に区分し、人力区は「刈払い」、「移動」、「その他」の3つの要素作業に区分した。

2.3 結果

2.3.1 植生

機械区内の植栽高さを図-2 及び3 に示す。ここで、図-2 は主にシダ類が繁茂していた区域のデータであり、植栽木の樹高が周辺植生を上回っていた。

図-3 は主に木本類が繁茂していた区域で、植栽木より植生高さは低いものの植栽木の樹高とほぼ同じ植生高となっていた。

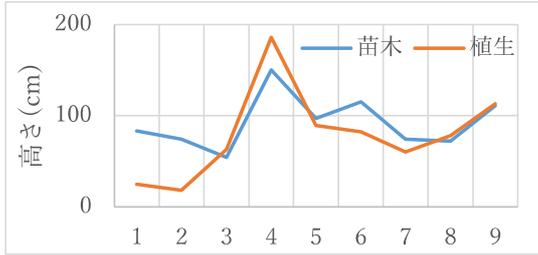
人力区内の植栽高さを図-4 及び5 に示す。どちらの調査箇所も植栽木より植生高さは低いものの植栽木の樹高とほぼ同じ植生高となっていた。



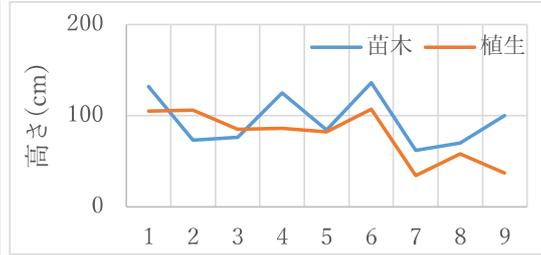
(図2 機械区①)



(図3 機械区②)



(図4 人力区①)



(図5 人力区②)

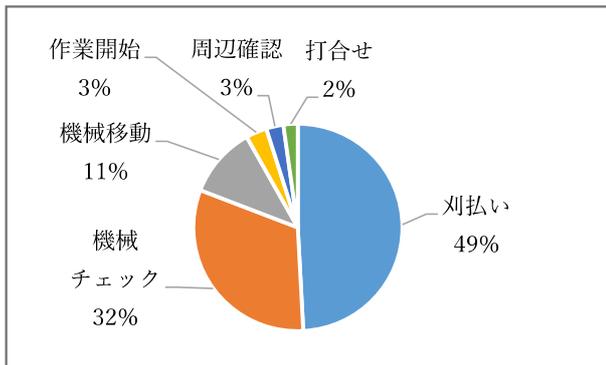
2.3.2 作業工期

観測した作業時間は機械作業区 3,078 秒で、その要素作業割合は図-6 のとおりであった。作業時間のうち 49%は刈払いを行っていた。また、機械作業により処理した面積は 0.02 ha だった。

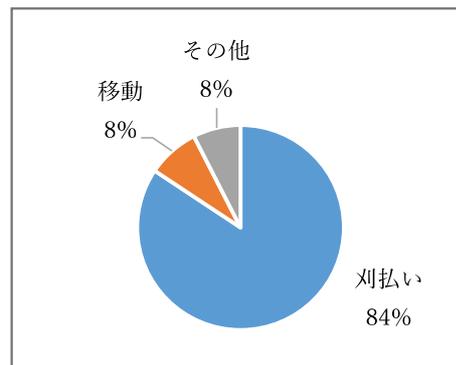
この結果からラジコン式多目的機械の作業能力は 0.16 ha/日と試算された。

次に人力作業区は 6,446 秒で、その要素作業割合は図-7 のとおりであった。作業時間のうち 84%は刈払いを行っていた。

この結果から人力による作業能力は 0.33ha/日と試算された。



(図6 機械区要素作業割合)



(図7 人力区要素作業割合)

2.3.3 コスト

2.3.2 より機械作業および人力作業の歩掛かりとコストを試算した(表-3)。なお、コスト試算に用いた単価は表-4 のとおりである。また、機械損料は表-5 のとおりである。

コストを試算した結果、機械区では人件費、機械経費ともに人力作業と比べて増加し、141,590 円のコスト増となった。

	人力区	機械区
人件費	71,250 円	102,100 円
機械経費	5,265 円	116,005 円
合計	76,515 円	218,105 円

(表3 作業コスト)

項目	単価
特殊作業員	19,000 円/日
普通作業員	16,200 円/日

(表4 単価)

機械名		LV500 (下刈り)			
減価償却費①		維持管理費②		機械損料①+②	
購入価格	11,000,000	保守修理費率	10		
自己負担額	11,000,000	保守修理費	220,000		
償却年数	5				
想定運転日数	100				
年間償却額	2,200,000	年間維持費	220,000	年間損料	2,420,000
日当り償却額	22,000	日当り維持費	2,200	日額損料	24,200

機械名		刈払機			
減価償却費①		維持管理費②		機械損料①+②	
購入価格	80,000	保守修理費率	200		
自己負担額	80,000	保守修理費	53,333		
償却年数	3				
想定運転日数	100				
年間償却額	26,667	年間維持費	53,333	年間損料	80,000
日当り償却額	267	日当り維持費	533	日額損料	800

(表5 機械損料)

2.3.4 労働強度

労働強度の検証を目的に機械区および人力区ともに作業者の上腕部に心拍計を取り付けて、刈払い作業を行った。機械区、心拍計の接触不良により心拍データを取得することができなかった。

一方で、機械作業員への聞き取りによれば、誤伐を回避するために植栽木を視認する必要があり、機械周辺を注視しながら作業するため心理的な負担が大きかったとのことだった。これは、1) ある程度の作業習熟が進む、2) 植栽木にピンクテープを付して視認性を向上させることにより低減されることが考えられる。

3. 地拵え調査

3.1 調査地

浜田市旭町和田地内のスギ伐採跡地に 0.1 ha のプロットを設定した (図-8)。各プロットの詳細を表-6 に示す。調査地は車両系システムによる伐採が行われた跡地で、スギの末木枝条や灌木が散乱していた (写真-7, 8)。現地実証調査は令和 3 年 7 月 28~29 日に機械作業、令和 3 年 11 月 22 日に人力作業を実施した。



(図 8 調査地プロット (浜田))

	プロット①	プロット②	プロット③
プロット名	人力区	機械区①	機械区②
面積	0.10ha	0.10ha	0.02ha
作業条件	人力作業 10 割	機械作業 7 割 人力作業 3 割	機械作業 7 割 人力作業 3 割

(表 6 プロット概要)



(写真 7)



(写真 8)

3.2 調査方法

図-8のとおり機械作業区域および人力作業区として各0.1haのプロットを設定した。

しかし、機械区①において機械が走行不能となり調査を中断したため、隣接する機械区②において作業を実施し調査した。

調査は機械と人力それぞれの区域で作業開始から作業終了までの様子をビデオ撮影し、持ち帰って時間分析を行った。

なお、時間分析は作業の様子から、機械区では「地拵え」、「移動」、「遅延」、「作業開始」の4つの要素に区分し、人力区では「刈払い」、「チェーンソー」、「人力」、「休憩」、「打合せ」の5つの要素作業に区分した。

3.3 結果

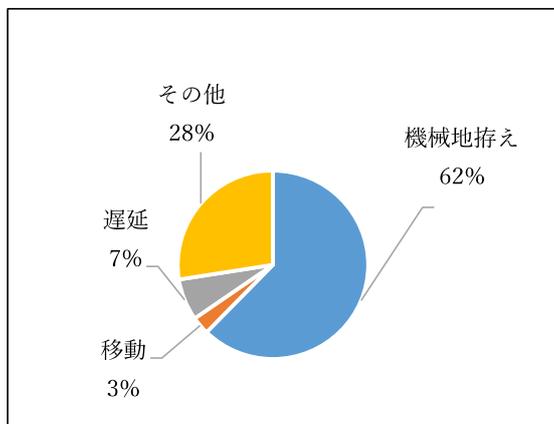
3.3.1 作業工程

観測した作業時間は機械作業区 4,343 秒で、その要素作業割合は図-9 のとおりであった。作業時間のうち62%は機械地拵えを行っていた。

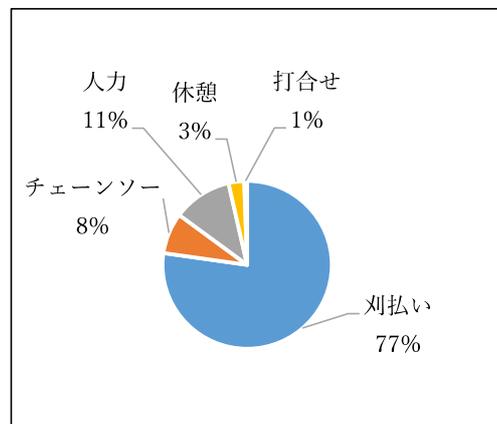
この結果からラジコン式多目的機械の作業能力は0.11ha/日と試算された。

次に人力作業区は10,649秒で、その要素作業割合は図-10 のとおりであった。作業時間のうち77%は刈払いを行っていた。

この結果から人力による作業能力は0.15ha/日と試算された。



(図9 機械区要素作業割合)



(図10 人力区要素作業割合)

3.3.2 コスト

3.3.1より機械作業および人力作業の歩掛かりとコストを試算した(表-7)。なお、コスト試算に用いた単価は表-8のとおりである。また、機械損料は表-9のとおりである。

コストを試算した結果、機械区では人件費、機械経費ともに人力作業と比べて増加し、193,431円のコスト増となった。

	人力区	機械区
人件費	122,419 円	153,186 円
機械経費	22,040 円	184,704 円
合計	144,459 円	337,890 円

(表7 作業コスト)

項目	単価
特殊作業員	19,000 円/日
普通作業員	16,200 円/日

(表8 単価)

機械名	LV500 (地拵え)				
減価償却費①	維持管理費②		機械損料(①+②)		
購入価格	12,300,000	保守修理費率	10		
自己負担額	8,200,000	保守修理費	246,000		
償却年数	5				
想定運転日数	100				
年間償却額	1,640,000	年間維持費	246,000	年間損料	1,886,000
日当り償却額	16,400	日当り維持費	2,460	日額損料	18,860

機械名	刈払機				
減価償却費①	維持管理費②		機械損料(①+②)		
購入価格	80,000	保守修理費率	200		
自己負担額	80,000	保守修理費	53,333		
償却年数	3				
想定運転日数	100				
年間償却額	26,667	年間維持費	53,333	年間損料	80,000
日当り償却額	267	日当り維持費	533	日額損料	800

(表9 機械損料)

3.3.3 労働強度

労働強度の検証を目的に機械区および人力区ともに作業員の上腕部に心拍計を取り付けて、刈払い作業を行った。機械区、心拍計の接触不良により心拍データを取得することができなかった。

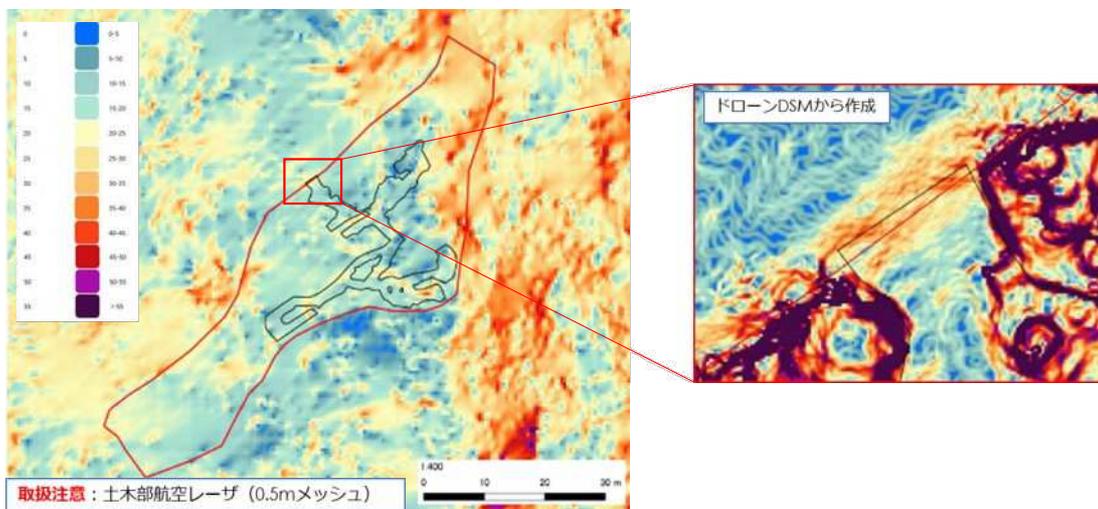
4. 機械稼働条件調査

4.1 調査方法

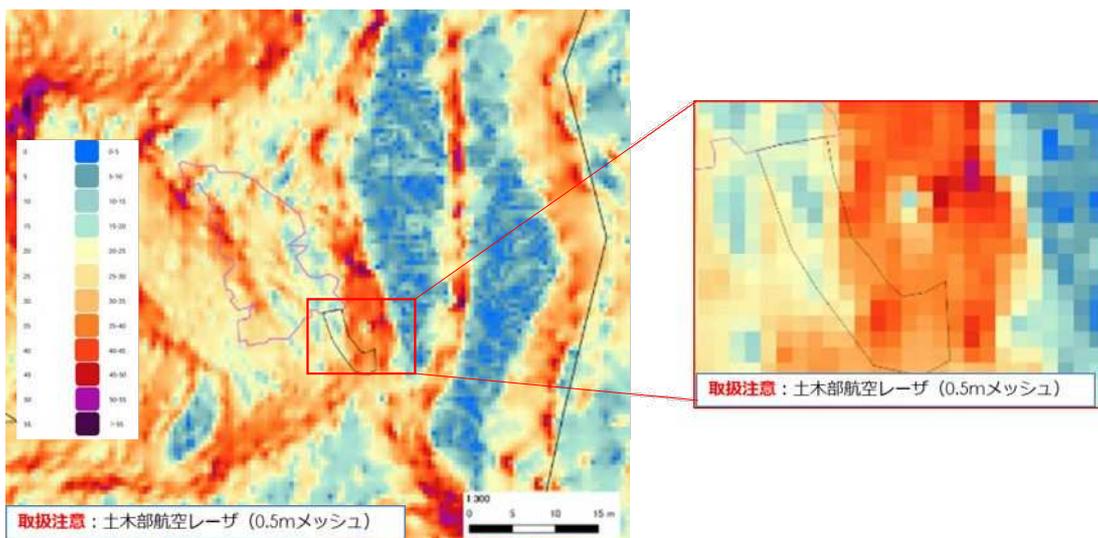
下刈り調査、地拵え調査において、土木部航空レーザー測量成果及びドローン撮影写真によって傾斜区分図を作成し、機械稼働箇所の傾斜情報を調査する。

4.2 結果

水平方向では最大 30 度程度、進入時などの鉛直方向には最大 35 度程度の箇所稼働した。ただし、土壌条件が悪い箇所では履帯が空転し、30 度程度の傾斜でも鉛直方向に登れないことが確認された。



(図 11 下刈り実証地)



(図 12 地拵え実証地)

5. まとめ

下刈り作業では、現地進入後、誤伐を防ぐために植栽木を視認しながらの稼働が難しく、想定している速度で動かすことは出来なかったことから、機械が走行する動線を想定した枝条整理や植栽が必要であると考えられる。

地拵え作業では胸高直径 10 cm程度の灌木であれば粉碎が可能だったが、地拵え時に棚状に積まれて乾燥した状態となっている灌木や枝条はアタッチメントの内部に引っかかってしまい、その除去作業に時間がかかる状況が数回確認された（写真－9）。また、伐根の粉碎は不可能であり、地拵え作業途中で伐根に乗り上げて身動きが取れなくなることも確認されたため、伐根を避けながら作業する必要がある。

以上の事から、現状の機械では、コストが高く、森林内での動きが遅いため、林業用に活用することは困難である。

なお、実証機械によって低コスト化を図るには、下刈りは最低でも 0.57a/日の作業、地拵えでは最低でも 0.34ha/日の作業を可能にしなければならない（表－10, 11）。



(写真9)

	現状		目標
人件費	102,100円	65%減	42,308円
機械経費	116,005円		33,571円
合計	218,105円		75,880円
作業量(ha/日)	0.16	3.6倍	0.57

(表 10 下刈りコスト及び作業量)

	現状		目標
人件費	153,186円		75,843円
機械経費	184,704円		66,431円
合計	337,890円		142,274円
作業量(ha/日)	0.11		0.34

(表 11 地拵えコスト及び作業量)

6. 参考文献

株式会社ギガマシナリー

[gigamachinery \[ギガマシナリー\]](#)

令和3年度林業省力化技術実証事業

報告書

【県央地域：苗木運搬ドローン】

目次

1. 調査概要

1.1 はじめに

1.2 調査目的

2.大型ドローンによる苗木運搬調査

2.1 調査対象機械

2.2 調査地

2.3 調査方法

2.4 結果

2.4.1 苗重量

2.4.2 作業工程

2.4.3.コスト

2.4.4 労働強度

2.5 考察

3. まとめ

1. 調査概要

1.1 はじめに

島根県では、近年主伐による原木生産を推進してきた結果、原木生産量は増加傾向にあるが、今後も原木を増産していくためには林業の生産現場における低コスト化が求められている。県では、造林の低コスト化を進めるために、主伐と再造林の一貫作業、植栽密度の削減、エリートツリーや早生樹の利用や下刈りの簡略・機械化、コンテナ苗や刈り払い方法の工夫などの技術を普及指導し、低コスト化に向けて取り組んでいるが、とりわけ低コスト化技術の中でドローン運搬の技術は年々向上が見られ、林業においても①空中からの写真撮影や測量、②苗木や資材など人力で行ってきた資材運搬などで活用されてきている。

今回はこのドローンに着目し、コンテナ苗運搬について、どれくらいの省力化につながるか実証することとした。

1.2 調査目的

ドローンによるコンテナ苗運搬での先行事例は、運搬能力 8-24kg のものが主に使われており、最大 49kg まで運搬可能な大型ドローンを用いた実証実験は行われていない。一度にコンテナ苗を 300 本程度運搬可能な大型ドローンを用いることで、より効率的な運搬ができる可能性がある。(以下※運搬能力 15kg 以下を小型ドローン、25kg 以下を中型ドローン、49kg 以下を大型ドローンと区別)

そこで、本実証試験では①大型ドローンによる苗木運搬は人力運搬に比べ、効率的に運搬できるのか。②大型ドローンによる苗木運搬は人力運搬に比べ、労働強度が軽減できるのか。③運搬における労働強度低減により植栽の時間短縮・コスト低減につながるか。これらを明らかにすることで、島根県におけるドローンを用いた苗木運搬モデルの基礎的な知見を得ることを目的とした。

2. 大型ドローンによる苗木運搬

2.1 調査対象機械

古川産業株式会社が開発中の大型ドローンを用いた（写真－1）。機体の諸元は表－1 のとおりである。このドローンの最大ペイロード 49kg で、最大積載の状態でも 7 分の飛行が可能である。

ドローン運搬ではオペレーターと補助者の 2 名/セットとして、離発着ポイントと苗下ろしポイントのそれぞれに 1 セットずつ配置（計 4 名）して作業する。飛行時は離発着ポイントのおよび苗下ろしポイントのそれぞれから目視可能な範囲で飛行させ、操縦権を切り替えながら作業する。

表－1 大型ドローン諸元



メーカー	古川産業
機体サイズ	2.3m × 2.3m
機体重量	30 kg
最大運搬能力	49 kg

2.2 調査地

邑智郡美郷町別府地内の公社造林地で実証を行った。更新伐による小面積皆伐を実施しており、2つの伐区に調査区を設定した。(調査地①、調査地②)面積と高低差はそれぞれ約 0.8ha、0.6ha、50m、30m で、各調査区にドローン運搬植栽区と人力運搬植栽区を設定した。

また近隣の作業道にドローン発着ポイントと苗木保管場所を設定した。(H)の箇所)調査地(邑智郡美郷町別府地内)

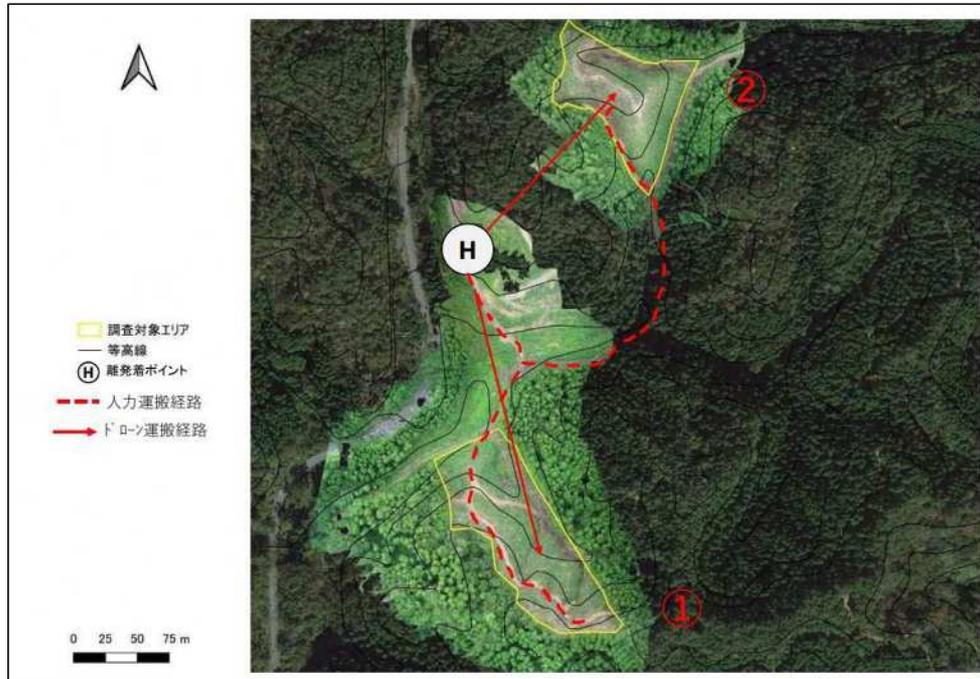


写真-2 調査地①全景と運搬経路図



写真-3 調査地②の全景と運搬経路図

2.3 調査方法

大型ドローンを用いたコンテナ苗運搬を令和3年11月25日に、人力でのコンテナ苗運搬を26日に行った。それぞれ、苗木運搬後にコンテナ苗木の植栽作業を行った。

調査に使用した苗木は島根県内で生産されたスギ・ヒノキのコンテナ苗（150 cc）で、50本ずつ袋に入った状態で運搬した。運搬前に袋毎にナンバーを付して、重量を計測した。

ドローン運搬は1,320本の苗木を8回に分けて運搬した（写真-2および3）。ドローン搬作業は古河産業のオペレーターが実施した。離発着ポイントと苗下ろしポイントの様子をビデオ撮影し、時間を分析した。ドローンの飛行距離はGIS上で離発着ポイントと苗下ろしポイントの斜距離を計測した。

人力作業は1,500本の苗を運搬しそのまま植栽した。作業は邑智郡森林組合の造林作業員5名で行った。作業員の年齢および造林作業の経験年数を表-2に示す。各作業員の作業の様子をビデオカメラで撮影し、時間を分析した。

作業員	年齢	経験年数
A	36	13
B	43	17
C	37	16
D	49	3
E	48	12

表-2 造林作業員の年齢・経験年数

人力作業においては、各作業員にGPSと心拍計を取り付け、移動経路と作業後との心拍数を記録した。そして、カルボーネン法（1）式により心拍数から苗木運搬時の労働強度を求めた。

運動強度（%）＝（運動時心拍数－安静時心拍数）÷（最大心拍数－安静時心拍数）×100

（1）

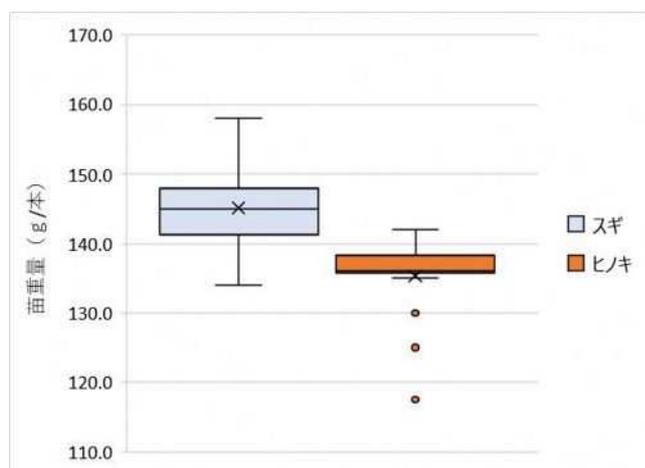
※最大心拍数＝220－年齢

2.4 結果

2.4.1 苗重量

運搬した苗木の平均重量はスギ 145g/本、ヒノキ 135g/本だった（図-1）。また、1袋あたりの平均重量はスギ 7,255g/袋、ヒノキ 6,465g/袋でスギのほうが重たかった。

図-1 コンテナ苗平均重量



2.4.2 作業工程

ドローン運搬の状況を表-3に示す。

フライトNo.	調査区	苗下ろしポイント	運搬距離 (m)	運搬重量 (kg)	運搬本数
1	1	E	185	21.6	150
2	1	D	185	21.0	150
3	1	C	214	21.3	150
4	1	B	308	21.5	150
5	1	A	308	16.8	120
6	2	III	182	27.9	200
7	2	II	183	28.7	200
8	2	I	171	29.5	200

表-3 ドローン運搬状況

ドローン運搬に要した時間は 5,018 秒で、このうちバッテリー交換や苗の準備を行う準備の時間が 44% (2189 秒) を占めた（図-2）。なお、その他の時間として、先山のオペレーターが移動する時間が 16% (788 秒) 発生したが、準備時間や離発着ポイントオペレーターの操縦時間中に移動することにより削減することが可能であると判断したため運搬効率の算定からは除外した。

ドローンで運搬した苗木 1,320 本を合計時間 70.5 分 (4,230 秒、その他時間を除く) で除したところ、運搬効率は 18.7 本/分であった。

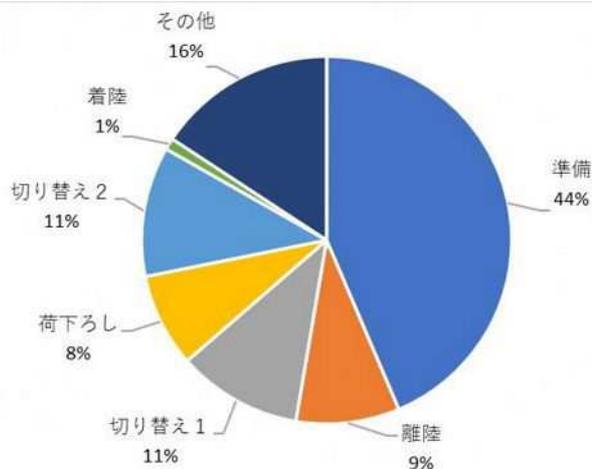


図-2 ドローン運搬における作業割合

運搬距離と飛行時間から苗運搬時の飛行速度（以下、「実荷速度」とする）は 35m/分、苗下ろし後の飛行速度（以下、「空荷速度」とする）は 34m/分であった。作業後にオペレーターへ聞き取りを行ったところ、上空で風が吹いていたことと苗木を慎重に運ぶことを優先したため飛行速度を抑えたとのことであった。

11 月 25 日の植栽作業の要素別作業時間を表-4 に示す。作業員毎に移動時間は異なっているものの、植栽作業の時間は概ね同じであった。

	単位：秒				
	作業員 A	作業員 B	作業員 C	作業員 D	作業員 E
移動	748	2536	502	1419	1600
植栽	7484	7355	7448	7232	6905
その他	3376	1888	3299	3159	3292

表-4 作業員毎の要素別作業時間（ドローン運搬）

11月26日の植栽作業の要素別作業時間を表-5に示す。人力により運搬した苗木1,500本を各作業員の運搬時間の合計73.1分(4,388秒)で除したところ、運搬効率は20.5本/分であった。ただし、この運搬時間は往路のみの時間であるため、復路の歩行時間を往路と同じ時間を要したと仮定すると、運搬効率は10.3本/分であった。

単位：秒

	作業員 A	作業員 B	作業員 C	作業員 D	作業員 E
準備	999	351	879	351	1549
運搬	1358	633	1114	516	767
移動	1225	1674	1430	1433	1723
植栽	10812	11545	10747	11488	10304
その他	4350	4893	4692	5438	3994

表-5 作業員毎の要素別作業時間(人力運搬)

コンテナ苗1本あたりの植栽時間について、ドローン運搬と従来作業を比較すると人力作業の方が短かった(図-3)。

これは後述の、平均運動強度においてドローン運搬と従来作業を比較したときに人力の方が運動強度が低くなったことを反映したためと考えられる。

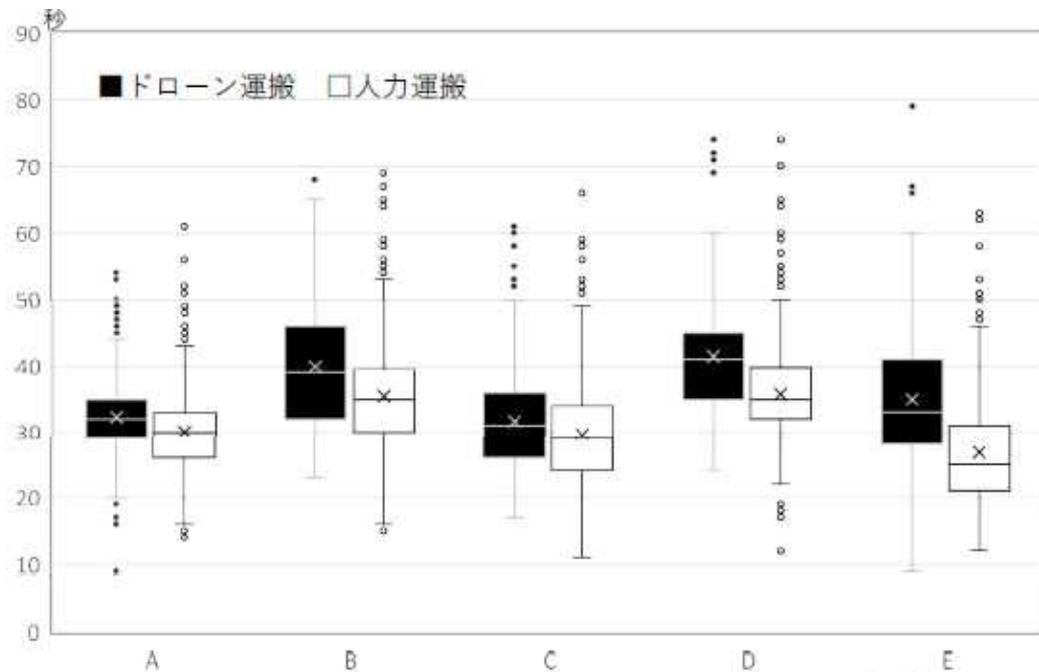


図-3 植栽時間の比較

2.4.3 コスト

2.4.2 の作業効率を用いて、2,000 本/haの植栽時の苗木運搬を行った場合のコストを試算した（図-4）。その結果、ドローン運搬は人力運搬に比べて運搬効率は 1.9 倍高かったが、コストが 2.1 倍と掛かり増しになる。この原因としては機械経費が高額であることと、ドローン飛行に係る 4 名分の人件費が考えられる。

本数	調査項目 (分)	本数	調査項目 (分)
ドローンによる苗木運搬	準備	人力による苗木運搬 計 1,500本	苗積み込みと現場までの移動時間(往路) 4,581秒 (76.35分)
	離着陸		
地点① 720本 地点② 600本	オベ切替	コスト5人役(往復)	25,768円
	荷下ろし		
計 1,320本	4230秒 (70.5分)	苗木運搬本数：150本(約22kg)造林袋50本+両手に50本ずつ。※ディブル、尺棒は荷物が少ない人がまとめて運搬	
コスト(機械+労務70.5分)	47,769円		
一台当たり運搬効率(往復)	18.7本/分	5人あたりの運搬効率(往復)	9.8本/分
1本あたり運搬コスト	36.2円/本	1本あたり運搬コスト	17.2円/本

※注 機械損料2,000万÷10年÷80日(年間使用数)=25,000円 年間維持費20万÷80日=2,500円
ドローン1台 日当50,000円 特殊作業員19,000円 普通作業員16,200円 で経費を試算

図-4 苗木運搬コストの比較

2.4.4 労働強度

作業員 A~D の運搬時の平均運動強度を図-5 に示す。なお、作業員 E については心拍計の不調により人力運搬の心拍データを取得できなかった。

運搬時の平均運動強度は全作業員で人力運搬の方が低く、ドローン運搬による労務負担の軽減効果は認められなかった。この原因として、ドローン運搬は尾根部へ苗を運搬したため、植栽時に作業員が尾根部へ登って苗を取り、植栽を行う必要があったためと考えられる。

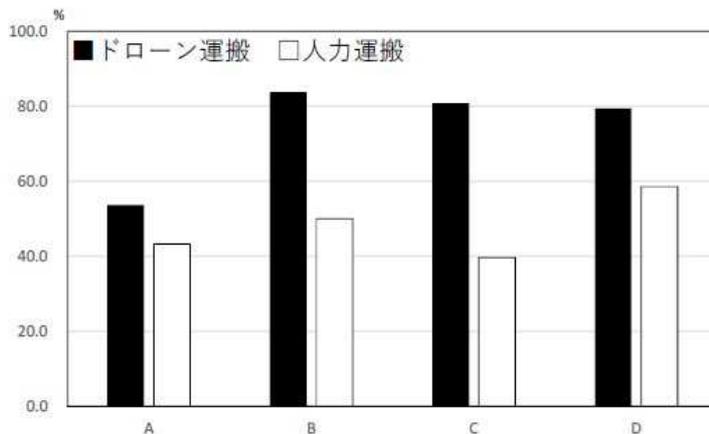


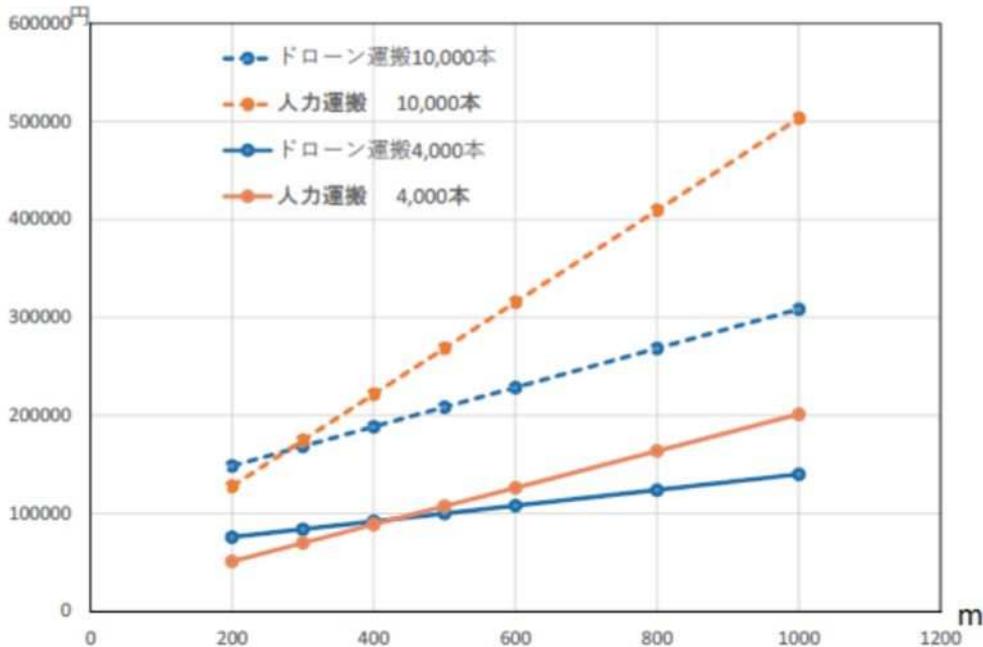
図-5 平均運動強度 (運搬時) の比較

2.5 考察

調査結果から、ドローンによる苗木運搬は運搬時の作業効率を向上させる効果はあるものの、必ずしも労働負担の軽減にはつながらなかった。また運搬後の植栽に関しても、植栽時間の短縮とコスト低減効果は認められなかった。考えられる要因として、ドローン運搬は尾根部へ苗を運搬したこと、運搬距離が比較的短かったことが考えられる。

一方、運搬時の作業効率は向上していることに着目して、今回の調査結果をもとに運搬距離と運搬コストの関係を試算した（図－6）

図－6 大型ドローン及び人力運搬の運搬距離とコストの相関



この試算結果から、運搬本数が4,000本の時に運搬距離400mでドローン運搬によるコストの低減効果が認められた。また、10,000本を運搬する場合には300mでドローン運搬によるコスト低減効果が認められた。

また、本調査結果と他県で先行的に調査された事例と比較した（表－6、図－7）。他県で先行的に調査された機種に比べて本調査で使用した機種は大型で、1回のフライトで多く運べるものの機械経費も高く一概にコスト面で有利とはいえないが、積載荷重が大きいことを活かし苗木以外にも架線資材や獣害対策資材の運搬も可能で、これにより機械稼働率を高めて運搬コストの低減が可能であると考えられる。

表－6 他県の事例に使用されたドローンの諸元

事例No.	機種名	運搬可能重量	1回ごとの運搬本数	最大飛行時間	バッテリー交換頻度	本体価格	操縦者	補助者	運搬比高	運搬距離	運搬効率 本数/分
1-1	いたきそ	約15kg	100-125本	50分	9-10往復	650万円	2名	2-3名	133-164m	316-358m	43.4本/分
1-2	EAGLE24	約24kg	100本	20分	1-2往復	360万円	2名	2-3名	25-50m	210-320m	27.6本/分
	EAGLE15	約15kg	50本	20分	1-2往復	300万円	2名	2-3名	25-50m	210-320m	13.8本/分
1-3	森飛（2オベ型）	約10kg	60-80本	30分	2-3往復	168万円	2名	0-1名	113-251m	350-540m	14.2本/分
	森飛（ウインチ型）	約8kg	60本	30分	3-4往復	268万円	1名	0-2名	113-251m	350-540m	10.3本/分
1-4	E616	約10kg	40-60本	15分	3往復	210万円	1名	1-2名	180m	440m	7.5本/分
県央	未定	約49kg	150-200本	17分	2-3往復	2000万円?	2名	2名	30-50m	100-220m	19.9本/分

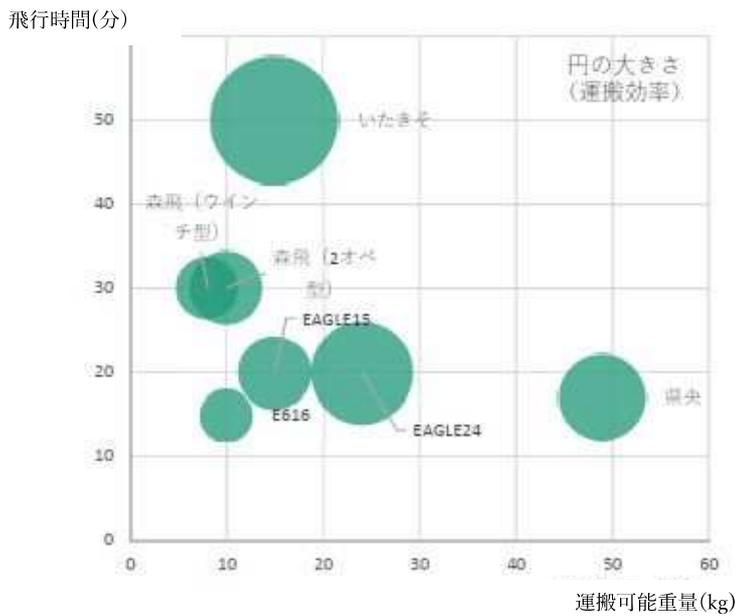


図-7 各種ドローンのスペックとコスト試算

3. まとめ

ドローン運搬により労務負担の軽減効果があるとは言えないものの、運搬場所や運搬本数を事業地内に点在させる等、運搬計画を整えることにより、ドローンの導入効果は更に発揮されることが考えられる。

今後、データが蓄積してゆくことで、ドローンの効果が発揮される運用条件が明らかになれば、造林における低コスト化のひとつの手段として確立するものと思われる。

令和5年度林業省力化技術実証事業

報告書

【雲南地域：無人航空機型レーザ計測／地上設置型レーザ計測】

目次

1 概要	3
1.1 目的.....	3
1.2 使用機器	3
2 調査	5
2.1 調査地	5
2.2 調査方法	6
2.3 調査結果	7
3.考察	9
3.1 森林資源量の把握について	9
3.2 調査コストについて	11
4.まとめ.....	13
5 参考文献.....	13
巻末資料1 調査コストの算出	14
巻末資料2 OWL による素材生産・採材シミュレート調査	16

1 概要

1.1 目的

森林の経営・施業の計画のためには、経営する森林の資源量調査や、路網開設のための地形調査など、様々な調査が必要であり、これらは従来、現場での人力による調査（毎木調査・標準地調査や、現地測量を伴う踏査など）が行われてきた。

人力による調査は、多くの労力・コストを要していたが、近年開発されたリモートセンシング技術（離れたところから、対象物に触れずに対象物の形や性質を測定する技術）の一つである、レーザを利用した計測手法は、調査の省力化が期待されている。

本事業では、森林資源量調査の省力化が期待される航空レーザ計測手法のひとつである「産業用無人ヘリコプターによるレーザ計測」による計測を行った。また、併せて「地上型レーザによる計測」を行い、従来の人力調査を基準として、「資源量把握の差の程度」、「作業省力化・低コスト化の効果」の2点を検証した。

1.2 使用機器

航空レーザ調査では、ヤマハ発動機株式会社が提供している「森林計測サービス」（図表中は「森林計測 S」とする）を使用した。当該サービスは、エンジン式の無人ヘリコプターにレーザ計測器（機器の諸元については表-1のとおり）を搭載することで、地形に追従しながら長時間・安定的に低空飛行できるため、森林に対して鉛直下向きだけでなく、様々な角度のレーザを照射することができ、高い密度の点群データ（「空間座標 x,y,z と色情報を持った点」の情報を集めたデータ）の取得を可能としている。

表-1 航空レーザ調査に用いた使用機器の諸元

無人ヘリコプター	
機器名	FAZERR G2
開発元	ヤマハ発動機株式会社
主なスペック	最大積載重量 35kg、最大離陸重量 110kg 最大高度 2,800m、最大速度 72km/h、航続距離 90km
レーザ計測器	
機器名	VUX-1LR
開発元	RIEGL（オーストリア）
主なスペック	計測点数：750,000 点/秒、レーザ到達距離：1350m@60%反射 有効計測レート：最大 750kHz、強度：Class1 マルチパルス 重量：約 4 kg、駆動用バッテリー重量：約 3 kg

このことから、『高高度を飛行する航空機型のレーザでは困難な、幹の形状や地表などの「林内」の情報を得られる』『バッテリー式のドローンなどに比べ、1日当たりより広い面積を調査可能となる』といった、他のリモートセンシング技術との差別化が図られている。



写真一 使用された無人ヘリコプター



写真二 搭載される LiDAR

なお、当該サービスは、ヘリコプターおよび運用チームの派遣と計測作業、データ解析、成果物の納品までの業務が一体となっている。その費用は派遣現場により変動するが、島根県内・1日あたり最大100haの計測範囲内で300万円程度とのことであった。なお今回実施した調査では、計測から成果物データの納品まで約3か月を要した。

地上型レーザ調査では、アドイン研究所株式会社が開発・販売している、「森林3次元計測システム OWL」（機器の諸元については表-2のとおり）も使用した。OWLは一般に、「地上型レーザスキャナー」と呼ばれるリモートセンシング機器である。当該機器は、レーザを林内に設置しボタンを押すだけで、林内の詳細な点群データを取得することができ、取得データから単木の情報（高さ・直径・曲がり・材積・位置など）の算出、写真と点群データを活用した3次元マップの作製が行える。また、立木データと丸太市場価格から収入予測と最適な採材を提案する等の処理が可能な、様々な解析ソフトがオプションとして販売・提供されている。

表-2 地上型レーザ調査に用いた使用機器の諸元

地上型レーザ計測器

機器名	森林3次元計測システム「Optical Woods Ledger：OWL」
開発元	株式会社アドイン研究所
主なスペック	計測点数：43,200点/秒、レーザ到達距離：30m 本体重量3.7kg（バッテリー・一脚含む）、連続稼働時間：5～6時間



写真三 OWLによる計測作業の様子

2 調査

2.1 調査地

調査は、飯石郡飯南町小田地内の和恵（わえ）県有林にて行った。

当該地では、令和4～8年度の5年をかけての伐採収穫事業が行われている。調査時点での事業実施状況と収穫計画、および調査プロットの位置については図-1のとおりである。

なお今回の調査は、令和5年度の収穫区域を対象としてデータの取得を行った。

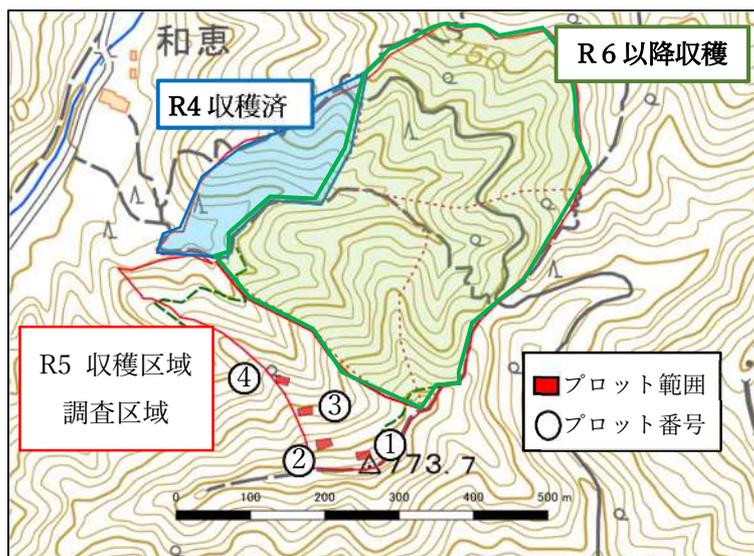


図-1 和恵県有林収穫事業区域および調査プロットの位置図

当該林分の森林簿による林況は表-3のとおりであった。

表-3 調査林分の森林簿情報（現況）

	樹種	林齢	傾斜
プロット1,2	ヒノキ	65	30-38°
プロット3,4	カラマツ (ヒノキ)	65 (47-51)	36-45°

プロット3,4のある林分については、森林簿上の主要樹種であるカラマツは尾根沿いにわずかに生立するだけで、ヒノキ林分となっていたため、現況を（ ）で記す。林齢は伐採完了後に切り株により確認した。

2.2 調査方法

①人力調査

令和5年5月25日に人力による森林資源量調査を行った。令和5年度の収穫区域内にプロット(10m×20m)を4か所設定し、プロット毎に胸高直径10cm以上の生立木について、樹種、樹高、胸高直径を測定する毎木調査を行い、「立木幹材積表－西日本編－」および立木幹材積式により単木材積を算出・総和し、プロットごとの資源量とした。

資源量を他の測定方法を比較するために、測定した全木に対して根元にナンバーテープ、幹にスプレーによる番号記載、おおよその立木の配置を記録した。毎木調査は、Haglof社製Vertexによる樹高測定に1名、輪尺による胸高直径測定とVertexの子機設置とナンバーテープ打ちに1名、測定結果・形状・配置などの記帳に1名、スプレーナンバリングに1名、計4名を1班として行った。

②地上型レーザー調査

令和5年6月16日に地上型レーザー(OWL)による森林資源量調査を行った。人力調査の際に設定した4か所のプロットにおいて所定の計測作業を行い、取得された点群データを付属の解析ソフト「OWLManager」により処理を行い、単木毎の樹高、胸高直径を算出し、人力調査と同じ方法によって単木材積を算出・総和し、プロットごとの資源量とした。

なおOWLには、「自動的に樹種を判別する機能(ただし、解析時に林分の優先樹種は指定可能)」「枯損木と生立木を見分ける機能」は搭載されておらず、また、小径木も測定対象とするため、得られた点群データを、人力調査の配置図、OWLが計測時に撮影する全天球写真などと突合し、「人力による樹種の判別と設定」と「10cm未満の立木と枯損木の除外作業」を行った。調査は、OWLの運搬・計測1名を1班として行った。

③航空レーザー調査

令和5年5月11日に伐採事業区域全域について、ヤマハ発動機のヘリコプター及び搭載LiDARによる計測が実施され、計測により得られたデータについて8月31日にヤマハ発動機より提供を受けた。

なおヤマハ発動機によるデータ解析の条件は、単木材積の計算は高田式($V=D^2 \cdot H / (a+b \cdot D)$)を使用して計算され、「胸高直径10cm以上の立木」のみを対象としており、樹種判別はオルソ画像に基づいた人間の目視により行われた。

2.3 調査結果

各調査手法により得られた、プロットごとの森林資源量に係るデータおよび調査時間を表-4に示す。

表-4 各調査方法により取得したプロットごとの森林資源に関する値

調査方法	本数 (本)	立木	平均	平均	プロット 材積 (m ³)	1本あた り材積 (m ³)	調査 時間※ (分)
		密度 (本/ha)	DBH (cm)	樹高 (m)			
プロット1	人力	13	650	29.5	18.5	8.17	45
	OWL	—	—	—	—	—	23
	森林計測 S	15	750	29.9	19.1	9.41	—
プロット2 (うち1本赤松)	人力	17	850	27.2	16.9	8.52	80
	OWL	—	—	—	—	—	32
	森林計測 S	18	900	27.3	18.3	9.38	—
プロット3 (うち3本赤松)	人力	35	1750	20.6	15.4	10.98	40
	OWL	34	1700	21.5	14.0	10.16	30
	森林計測 S	37	1850	24.6	19.7	17.82	—
プロット4 (うち1本コナラ) (うち1本赤松)	人力	36	1800	20.0	15.0	11.04	65
	OWL	34	1700	21.3	15.3	11.07	15
	森林計測 S	29	1450	27.5	20.2	17.54	—

※調査時間はプロット作成を除く、毎木調査に要した時間

森林計測サービスについては、各プロットの範囲杭の位置を GNSS で測位・取得し、森林計測サービスのデータ処理ソフト (GIS) である「RINTO」上にプロット範囲 (緑ポリゴン) を落とし (図-2)、範囲に含まれる立木のデータを集計することにより算出した。

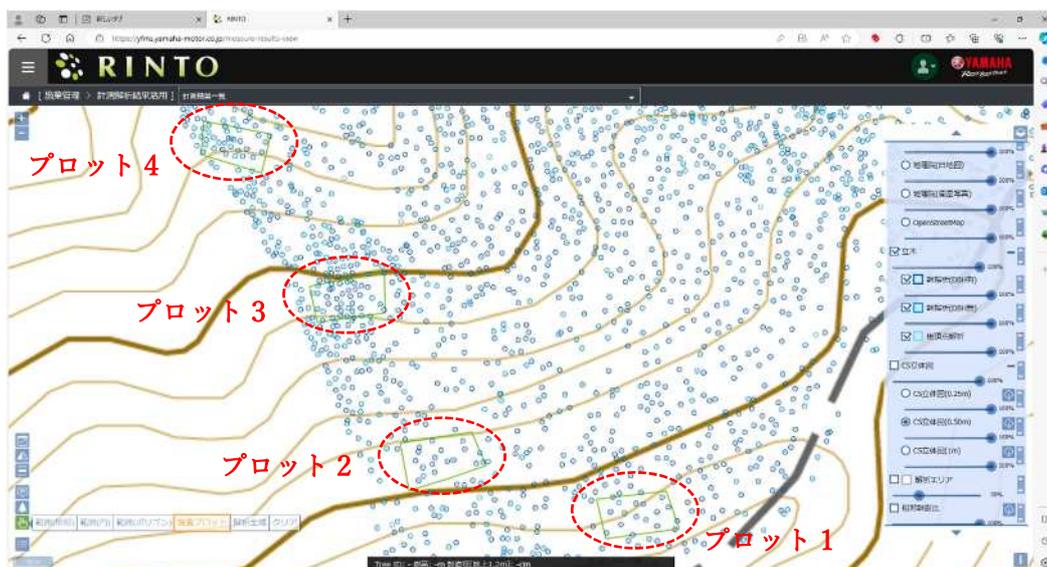


図-2 「RINTO」上に落とした各プロットの位置と範囲 (緑ポリゴン)

OWLについては、4プロットの内プロット1,2でデータ取得ができなかったが、当該プロットは人の背丈を超える高さの灌木が繁茂しており（写真-4）、この下層植生によりレーザが遮られ、樹高や直径を算出するのに必要な点群データが取得できなかったことが原因と考えられた。



写真-4 各プロットの林内状況

3.考察

得られた調査結果をもとに、従来の人力調査との比較を行いながら、「産業用無人ヘリコプターによるレーザー計測(森林計測サービス)」、併せて試験に供した「地上型レーザー(OWL)」の機能特性について考察する。

3.1 森林資源量の把握について

人力調査結果を基準として、各手法で得られた結果との百分率（各調査手法による数値／人力調査の数値×100）を下表に示す（表－5）。

表－5 人力調査結果を100%とした場合の各プロット・各手法で得られた値との比較

	調査方法	本数 (本)	平均 DBH (cm)	平均 樹高 (m)	プロット 材積 (m ³)	1本あたり 材積 (m ³)
プロット1	OWL	-	-	-	-	-
	森林計測S	115%	101%	103%	115%	100%
プロット2	OWL	-	-	-	-	-
	森林計測S	106%	100%	108%	110%	104%
プロット3	OWL	97%	104%	91%	93%	97%
	森林計測S	106%	119%	128%	162%	155%
プロット4	OWL	94%	107%	102%	100%	106%
	森林計測S	81%	138%	135%	159%	194%

地上型レーザー(OWL)では、データの取得できたプロットにおいては、人力調査の値に対して平均胸高直径は+4~7%、平均樹高は-9~2%、それらに基づくプロット材積は-7~0%の差があった。

調査結果でも記述したとおり、下層植生が繁茂しているなど、レーザーが遮られるような林分ではそもそもデータを取得することができないことがあり、下層植生の粗密により、部分的にレーザーが届かず立木データが欠損するということも考えられる。また、樹種の自動判別機能を持たないため、針広混交林などではデータ解析時に人間による樹種の判断が必要になっている。

なお、OWLによるレーザーの計測限界はおおよそ30mとされており、それ以上の高さの立木については正しい樹高が測定できない可能性があることに注意が必要である。

本機器は、樹高30m以下で下層植生が乏しく単一樹種の林分では、人力調査に近い測定値が取得可能と考えられる。

航空レーザ（森林計測サービス）では、人力調査の値に対し、プロット1,2では平均胸高直径は0~+1%、平均樹高は+3~8%、プロット材積は+10~15%、プロット3,4では平均胸高直径は+19~38%、平均樹高で+28~35%、プロット材積は+59~62%の差があった。

このことについて、森林計測サービスでは、胸高直径の情報をレーザで取得することができなかった場合、取得できた「樹高」と「レーザでデータ取得できた任意の高さの直径」を参照し、立木の形状のモデル（幹曲線式や、細り表と呼ばれるもの）を当てはめることで「推定の胸高直径」を算出するという手法がとられている。

乖離の小さかったプロット1は15本中14本、プロット2は18本中16本の立木が胸高直径の情報を取得することができたのに対し、プロット3は37本中24本、プロット4は29本中12本と、胸高直径の情報を取得できた割合が低く、前述の手法による「推定胸高直径」を採用した立木が多分に含まれていた（図-3）。

これらのことから、プロット3,4は立木密度が高く下層植生が乏しいことから、上空からの光、およびレーザが林内に届きにくい林分であったこと。結果、レーザにより胸高直径の情報が取得できない立木が増え、胸高直径の推定手法が適用された立木が増えたこと。そして、胸高直径推定の際に当てはめに使用した形状のモデルと、今回調査地の立木の実際の形状が乖離していたこと。これらの要因により、胸高直径の乖離が生じたのではないかと考えられた。

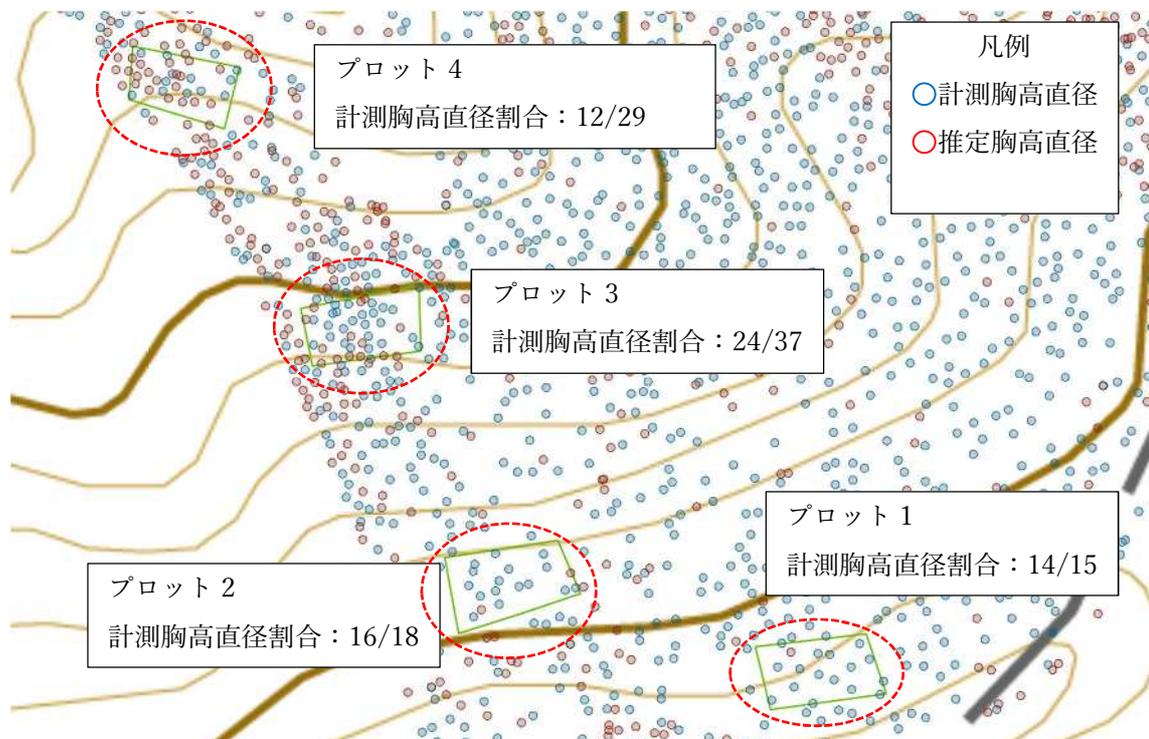


図-3 胸高直径情報の取得状況

なお樹高の差については、今回の調査で得ることのできた結果からは考察することができなかった。

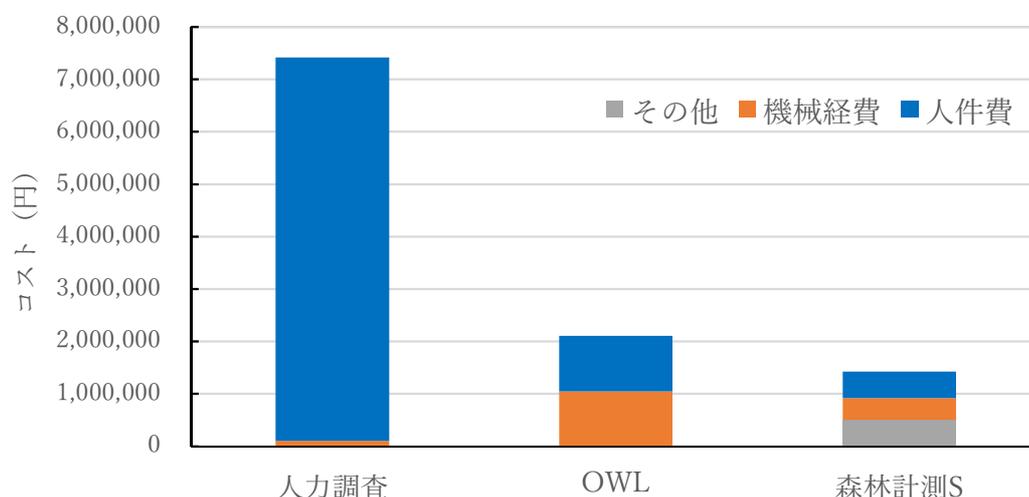
3.2 調査コストについて

本調査における「調査コスト」については、資源量を算出するために必要な情報を得るための「現場計測作業に係るコスト」と定義し、計測後の林分材積の計算や分析作業は除外することとした。

森林計測サービスについては、斐伊川流域林業活性化センターから提供された委託契約に係る見積もり金額情報を基に、現場の計測に係る経費のみを調査コストとして抽出した。

人力調査、および地上型レーザ調査については、プロットごとの計測作業時間と作業人員数から、人役および人件費を算出し、それぞれの作業に使用した機器経費も併せて、調査コストを算出した。

これらを同じベースで比較するため、「森林計測サービスの計測面積：20.7ha を計測した場合のコスト」で比較を行った（図－5）。試算、およびその算出条件については、巻末資料1のとおりである。



図－5 県有林収穫事業地全域(20.7ha)を調査した場合のコスト比較

人力調査の面積あたり労働投入量は 20.5 人・日/ha であった。

これは、今回調査を行ったプロットは傾斜 30～45°、下層植生が多くかなり歩行困難で、安全に配慮しながら調査を行ったことや、本来の毎木調査には必要のないナンバリングや立木配置の記録なども行ったことから、作業時間がかかり増しになったためと思われる。

参考まで、他事例の人力資源量調査における面積あたり労働投入量を挙げると、本年度当センターで実施した別調査地（針広混交林、傾斜 0～5°、立木密度 419 本/ha、面積 0.36ha）では 3.5 人・日/ha であった。また、室木¹⁾らが行った UAV 空撮画像と地上型レーザを併用した林分材積の推定についての調査では、同手法による労力削減効果を評価するため、従来型調査（本調査と同様の機器を使用した資源量調査）の労働投入量を算出しており、この労働投入量は 37.3 人・時/ha、日当たり労働時間を 7 時間とすると 5.3 人・日/ha となる。

用地調査等業務積算基準²⁾には、公共工事で伐採する立木の補償額を算定するための調査の歩掛（直接人件費・外業のみ）が示されており、1,000 m²あたり 0.69 人役（「人役」は休憩時間込みの 1 人 1 日 8 時間労働を要する作業量と定義され、人・日とほぼ同義）つまり、

6.9 人・日/ha が計上されたうえ、これに現場傾斜による 1.0～1.4 倍の補正がかかる。

上記のとおり、人間が現場に入って行う調査については、同じ面積でも現場調査の困難さ次第で大幅にコストがかかり増しになることがある。

これに対して、森林計測サービスに要するコストについては、林内作業を行わないことから、調査地の林況・地況などによる作業の困難さには影響されないため、調査が困難な現場であればあるほど、人力による資源量調査との調査コストの開きが大きくなる、言い換えれば、コスト縮減効果が高くなることが推察される。

4.まとめ

産業用無人ヘリコプターによるレーザ計測について、今回の実証では、

「資源量把握の差異の程度」という点においては、上空から林内に十分なレーザが届き、胸高直径情報を正確に取得できる点群データが得られる林分であれば、林分材積は1割程度の差に収まるが、林内に十分なレーザが届かず、推定プロセスを用いて胸高直径を算出するような林分の場合、林分材積に6割程度の差が生じた。

また、「作業省力化・低コスト化の効果」という点においては、今回の森林計測サービスで調査を行った面積(20.7ha)に要する現場計測コスト、という条件で比較した場合、労働投入量の低減による省力化、それに伴うコストの低減効果があったと判断された。

地上型レーザ計測については、

「資源量把握の差異の程度」という点においては、レーザ計測可能な林分では、人力調査とほとんど差がない結果が得られたものの、下層植生の繁茂を原因として計測ができないことがあった。

「作業省力化・低コスト化の効果」という点においては、人力調査に対して、単位面積あたりの調査に要する労働投入量の低減による省力化が期待でき、コスト低減効果があると判断された。

今回の実証機器はいずれも、「どんな林分においても人力調査と差異のない計測結果が得られる」ものではなかったが、現状の機器の特性と、使用する現場のかみ合わせなどを考慮して導入・現場で運用することで、必要な情報を得つつ、現場の省力化・低コスト化というメリットを享受できる機器であるものと考えられた。

5 参考文献

- 1) 室木直樹・井崇行(2019) UAV 空撮画像と地上レーザスキャナを併用した林分材積の推定.森林計画誌 52 NO.2'19 : 83~88.
- 2) 中国地方整備局 用地調査等業務費積算基準(最終改正:令和4年3月4日国中整用企第143号)

巻末資料1 調査コストの算出

試算条件

- ・各手法における、現場計測作業に係る部分についてのみの算出を行った。
- ・機械損料は別シートにより算出（次ページ）
- ・使用機器の価格については、実調達額や実勢価格を参考にした。
- ・労務単価は普通作業員（島根県公共工事設計労務単価表（R5.12.1適用））を適用。
- ・人力調査は4人で行ったが、根株へのナンバリング（タッカー）1名は、通常の資源量調査では必要のない作業なので除外し、3名作業でコスト算出した。

日作業時間

1日あたり実作業 7 時間

調査結果から作業速度

	人力調査	OWL	森林計測S
全作業時間（分）	230	100	
計測面積（ha）	0.08	0.08	
作業速度（ha/時）	0.021	0.048	
日作業換算（ha/日）	0.146	0.336	
作業員数（人）	3	1	
作業生産性（ha/人・日）	0.049	0.336	

haあたり作業時間と労働投入量

	人力調査	OWL	森林計測S
haあたり必要時間（分/ha）	2,875	1,250	
haあたり必要時間（時間/ha）	47.9	20.8	
作業員数（人）	3	1	
haあたり労働投入量（人・日/ha）	20.536	2.976	

3種比較（haあたり）

	人力調査	OWL	森林計測S
haあたり労働投入量（人・日/ha）	20.536	2.976	
人件費（円/ha）①	353,214	51,190	24,450
機械損料（円/ha）②	4,963	50,496	19,913
そのほか（円/ha）③	0	0	24,197
合計（①+②）	358,177	101,687	68,560



県有林調査

20.7

割戻し算出

	人力調査	OWL	森林計測S
人件費	7,311,536	1,059,643	506,120
機械経費	102,730	1,045,268	412,197
その他	0	0	500,880
20.7	7,414,266	2,104,911	1,419,197

別紙「事業費内訳表」
から

機械損料

機械名	人力計測				単位 (円)	
減価償却費①	維持管理費②		機械損料 (①+②)			
購入価格	217,500	保守修理費率	50	Vertex4:214,500円(税抜) 直径巻尺:3,000円(税抜)		
自己負担額	217,500	保守修理費	21,750			
償却年数	5					
想定運転日数	90					
年間償却額	43,500	年間維持費	21,750	年間損料	65,250	
日当り償却額	483	日当り維持費	242	日額損料	725	

機械名	OWL計測				単位 (円)	
減価償却費①	維持管理費②		機械損料 (①+②)			
購入価格	5,090,000	保守修理費率	50	OWL一式(本体・分析ソフト) 5,090,000円(税抜)		
自己負担額	5,090,000	保守修理費	509,000			
償却年数	5					
想定運転日数	90					
年間償却額	1,018,000	年間維持費	509,000	年間損料	1,527,000	
日当り償却額	11,311	日当り維持費	5,656	日額損料	16,967	

森林計測サービス事業内訳表 (現場作業に係るコストは黄色の網掛けの部分を計上)

費目	工種	種別	細別	単位	数量	金額内訳	
直接業務費						1,419,197	
	直接人件費					506,120	
		調査準備					*****
			作業実施計画	式	1		*****
			現地踏査	式	1		*****
			飛行シミュレーション		1		*****
			航空法申請	式	1		*****
			機体整備・調整	式	1		*****
		レーザ計測					*****
			現地計測	式	1		*****
		データ解析					*****
			森林現況・地形解析	式	1		*****
		打合せ・納品準備等					*****
			打合せ協議	式	1		*****
			協議資料作成(関係機関協議)	式	1		*****
			報告書作成	式	1		*****
	直接経費					500,880	
		旅費交通費		式	1		*****
		賃料	高所作業車	式	1		*****
	機械経費					412,197	
		機器損料					*****
	技術管理費						*****
		精度管理費					*****
間接業務費	諸経費						*****
		一般管理費					*****

巻末資料2 OWLによる素材生産・採材シミュレート調査

<調査目的>

本調査で使用した地上型レーザ、OWLについては、得られた森林資源の電子的情報（単木の高さ・胸高直径、そこから導き出される林分材積、および材の曲がりなどの形状の情報）から、目的に応じた採材のシミュレートが可能なソフト（OWLProcessor）が提供されている。

この採材シミュレート機能を使用した際の、「森林資源量情報からシミュレートされる造材結果」と、「実際の造材結果」との差異について、実験的に比較を行った。

<調査概要>

調査地、プロットについては本調査で使用したものと同一。

11月29日および、12月6日に、対象プロット（プロット3,4）の集材・造材作業に帯同し、造材された素材の末口・長さなど、素材生産結果を記録した。

なお、今回の現場で生産された素材は、市場を通さない加工場との直接取引が決まっており、取引先のニーズに基づいた造材が行われた。この取引先のニーズに基づいた採材・仕分けルールについて事業体に確認したところ以下のとおりであった。

- ・ヒノキは「末口14cm以上の4m材（合板向け）」を優先して取り、「残りはチップ」
- ・マツは「パレット材として利用可能な材」を優先して取り、「残りはチップ」
- ・広葉樹は「チップ」
- ・梢端および玉取りの際に切り捨てた部分（バチ、タンコロ）は「チップ」

6月16日に計測したOWLによる対象プロットのデータを使用しOWLProcessor（採材計画支援システム）により、採材シミュレートを行った。

なおシミュレートについては、上記の現場の採材ルール（合板向けの4m材を取り、残りはチップ）に基づく「長さ指定採材（4m）」と、参考として、「収益が最大となる採材（最適採材）」「4m材を優先してとりそれ以外の部分も材として取れる場合は取る（長さ優先採材）」によるシミュレートを行い、素材生産結果を出力した。価格を計算するための素材取引価格として、島根県森林組合連合会江の川木材共販市場の木材市況速報（第675回12月20日）の価格を使用した。

なお、素材生産とシミュレートの比較にあたり、素材生産結果調査の際に搬出が確認できなかった番号の立木についてはシミュレートから除外し、シミュレートに要するパラメータがないアカマツと広葉樹については素材生産結果から除外した。

<調査結果>

素材生産された材の一覧および、2cm 括約径級ごとの本数と丸太材積を以下に示す。

プロット 3			
立木 No	長さ(m)	末口(m)	短幹材積(m ³)
136	4	0.16	0.1024
140	4	0.15	0.09
140	4	0.175	0.1225
143	4	0.17	0.1156
143	4	0.215	0.1849
144	4	0.145	0.0841
144	4	0.19	0.1444
144	4	0.23	0.2116
146	4	0.18	0.1296
149	4	0.18	0.1296
151	4	0.15	0.09
153	4	0.165	0.1089
153	4	0.19	0.1444
157	4	0.165	0.1089
159	4	0.19	0.1444
159	4	0.215	0.1849
164	4	0.135	0.0729
164	4	0.17	0.1156
165	4	0.155	0.0961
165	4	0.185	0.1369
169	4	0.155	0.0961
総計	21 本		2.6138

プロット 4			
立木 No	長さ(m)	末口(m)	短幹材積(m ³)
104	4	0.16	0.1024
105	4	0.155	0.0961
105	4	0.2	0.16
106	4	0.155	0.0961
107	4	0.175	0.1225
107	4	0.21	0.1764
109	4	0.16	0.1024
111	4	0.165	0.1089
111	4	0.225	0.2025
111	4	0.255	0.2601
116	4	0.18	0.1296
117	4	0.175	0.1225
117	4	0.21	0.1764
120	4	0.16	0.1024
121	4	0.18	0.1296
123	4	0.21	0.1764
123	4	0.26	0.2704
124	4	0.175	0.1225
124	4	0.24	0.2304
124	4	0.27	0.2916
125	4	0.14	0.0784
129	4	0.165	0.1089
129	4	0.2	0.16
総計	23 本		3.5265

プロット 3		
径級(cm)	本数(本)	径級別材積(m ³)
14	2	0.157
16	7	0.6942
18	6	0.7498
20	3	0.4332
22	3	0.5814

プロット 4		
径級(cm)	本数(本)	径級別材積(m ³)
14	1	0.0784
16	7	0.7172
18	5	0.6267
20	2	0.32
22	4	0.7317
24	1	0.2304
26	2	0.5305
28	1	0.2916

採材シミュレートの結果は以下の通り。なお、OWLの採材シミュレートでは、立木の曲がり具合をもとに、造材した丸太を「製材向けの通直材（A材）」「小曲がり材・合板向け（B材）」「曲がり材ほか低質材（C材）」に区分する仕組みとなっているが、今回の出力結果ではC材に該当するものはなかったため、表では記載を割愛した。

（長さ指定採材：4m指定）

プロット3：長さ4m指定

径級(cm)	4m (通直・製材)		4m (小曲・合板)		合計	
	本数(本)	材積(m ³)	本数(本)	材積(m ³)	本数(本)	材積(m ³)
14	4	0.31	9	0.71	13	1.02
16	1	0.1	3	0.31	4	0.41
18	1	0.13	8	1.04	9	1.17
20	1	0.16	1	0.16	2	0.32
22	1	0.19	1	0.19	2	0.38
			総計		30	3.30

プロット4：長さ4m指定

径級(cm)	4m (通直・製材)		4m (小曲・合板)		合計	
	本数(本)	材積(m ³)	本数(本)	材積(m ³)	本数(本)	材積(m ³)
14	1	0.08	5	0.39	6	0.47
16	0	0	9	0.92	9	0.92
18	1	0.13	5	0.65	6	0.78
20	0	0	4	0.64	4	0.64
22	0	0	0	0	0	0
24	0	0	1	0.23	1	0.23
			総計		26	3.04

(最適採材：収益最大)

プロット3：最適採材

径級 (cm)	2m(通直・製材)		2m(小曲・合板)		3m(通直・製材)		3m(小曲・合板)		4m(通直・製材)		4m(小曲・合板)		合計	
	本数 (本)	材積 (m ³)												
14	5	0.2	1	0.04	1	0.06	3	0.18	0	0	11	0.86	21	1.34
16	1	0.05	0	0	6	0.46	0	0	0	0	5	0.51	12	1.02
18	3	0.19	0	0	1	0.1	0	0	0	0	3	0.39	7	0.68
20	0	0	1	0.08	2	0.24	0	0	1	0.16	2	0.32	6	0.8
22	0	0	0	0	3	0.44	0	0	0	0	0	0	3	0.44
24	2	0.23	0	0	1	0.17	0	0	0	0	0	0	3	0.4
												総計	52	4.68

プロット4：最適採材

径級 (cm)	2m(通直・製材)		2m(小曲・合板)		3m(通直・製材)		3m(小曲・合板)		4m(通直・製材)		4m(小曲・合板)		合計	
	本数 (本)	材積 (m ³)												
14	1	0.04	2	0.08	2	0.12	3	0.18	0	0	4	0.31	12	0.73
16	0	0	0	0	7	0.54	0	0	0	0	7	0.72	14	1.26
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.52	4	0.52
20	2	0.16	2	0.16	2	0.24	0	0	0	0	3	0.48	9	1.04
22	1	0.1	0	0	1	0.15	0	0	0	0	0	0	2	0.25
24	2	0.23	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.46	4	0.69
26	0	0	0	0	1	0.2	0	0	0	0	1	0.27	2	0.47
28	1	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.31	2	0.47
30	1	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.18
												総計	50	5.61

(長さ優先採材：4m 優先)

プロット 3：4m 優先採材

径級	2m(通直・製材)		2m(小曲・合板)		3m(通直・製材)		3m(小曲・合板)		4m(通直・製材)		4m(小曲・合板)		合計	
	本数 (本)	材積 (m ³)												
14	5	0.2	1	0.04	2	0.12	3	0.18	0	0	12	0.94	23	1.48
16	1	0.05	0	0	1	0.08	0	0	2	0.2	4	0.41	8	0.74
18	2	0.13	0	0	1	0.1	0	0	0	0	7	0.91	10	1.14
20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.16	3	0.48	4	0.64
22	0	0	0	0	1	0.15	0	0	1	0.19	1	0.19	3	0.53
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	1	0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.14
											総計	49	4.67	

プロット 4：4m 優先採材

径級	2m(通直・製材)		2m(小曲・合板)		3m(通直・製材)		3m(小曲・合板)		4m(通直・製材)		4m(小曲・合板)		合計	
	本数 (本)	材積 (m ³)												
14	3	0.12	2	0.08	2	0.12	3	0.18	1	0.08	5	0.39	16	0.97
16	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.2	9	0.92	11	1.12
18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.13	5	0.65	6	0.78
20	0	0	0	0	1	0.12	0	0	1	0.16	4	0.64	6	0.92
22	1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.19	2	0.29
24	1	0.12	0	0	0	0	0	0	1	0.23	1	0.23	3	0.58
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.27	1	0.27
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.31	1	0.31
30	1	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.18
											総計	47	5.42	

<まとめ>

本調査で行った立木としての森林資源量（ヒノキ搬出木のみ）、現場素材生産結果と各シミュレート結果、および、シミュレート結果として出力された素材（玉）を市場に販売した場合の予想取引価格を下表にまとめた。

プロット3 (ヒノキ搬出木)	現場実測 現場素材生産(m ³)	OWL 計測/ 採材シミュレート(m ³)	シミュレート価格 (円)
森林資源量	8.79	7.97	
4m 固定・指定採材	2.61	3.30	49,187
価格優先採材		4.68	78,321
4m 優先採材		4.67	72,901

プロット4 (ヒノキ搬出木)	現場実測 現場素材生産(m ³)	OWL 計測/ 採材シミュレート(m ³)	シミュレート価格 (円)
森林資源量	9.07	8.86	
4m 固定・指定採材	3.52	3.04	47,869
価格優先採材		5.61	91,281
4m 優先採材		5.42	86,289

令和5年度林業省力化技術実証事業

報告書

【県央地域：背負い式地上型レーザー計測】

目次

1.概要	3
1.1 目的.....	3
1.2 使用機器	3
2.調査	4
2.1 調査地	4
2.2 調査方法	5
2.3 調査結果	5
3.考察	6
3.1 森林資源量の把握について	6
3.2 調査コストについて	7
4.まとめ.....	7
巻末資料1 調査コストの算出	8
巻末資料2 〈参考〉無人航空機型レーザー計測との比較	10

1.概要

1.1 目的

森林の経営、施業の計画のためには、経営する森林の資源量調査や、路網開設のための地形調査など、様々な調査が必要であり、これらは従来、現場での人力による調査（毎木調査・標準地調査や、踏査を伴う現地測量など）が行われてきた。

人力による調査は、多くの労力・コストを要していたが、近年開発されたりモートセンシング技術（離れたところから、対象物に触れずに対象物の形や性質を測定する技術）の一つである、レーザを利用した計測手法は、調査の省力化が期待されている。

本実証では、森林資源量調査の省力化が期待されるレーザ計測手法の一つである「背負い式地上型レーザ」による計測を行い、「資源量把握の差の程度」、「作業省力化・低コスト化の効果」の2点について、従来の人力調査との比較により、有用性の検証を行った。

1.2 使用機器

調査は株式会社マプリーが販売する背負い式地上型レーザ計測器「LA03」及び、取得したデータを取り扱うアプリケーション「mapryPC版」を対象とした（図表中は「mapry」とする）。

計測機器の「LA03」（写真-1）は、背中に背負う形式のレーザ計測器で、当該機器を背負って林内を歩くだけで高い密度の点群データ（「空間座標 x,y,z と色情報を持った点」の情報を集めたデータ）を取得でき、これをアプリケーション「mapryPC版」で処理することで、単木の樹高・直径・材積などの、林分の資源量データを取得することができる。

また、「計測間隔を考慮して計測地点を設定する」「計測時にはじっとしていないといけない」ことが必要な既往の地上設置型レーザ計測器に対して、「歩行するだけでデータ取得できる」ため、作業の容易さ・効率において優位性を持っていると考えられる。



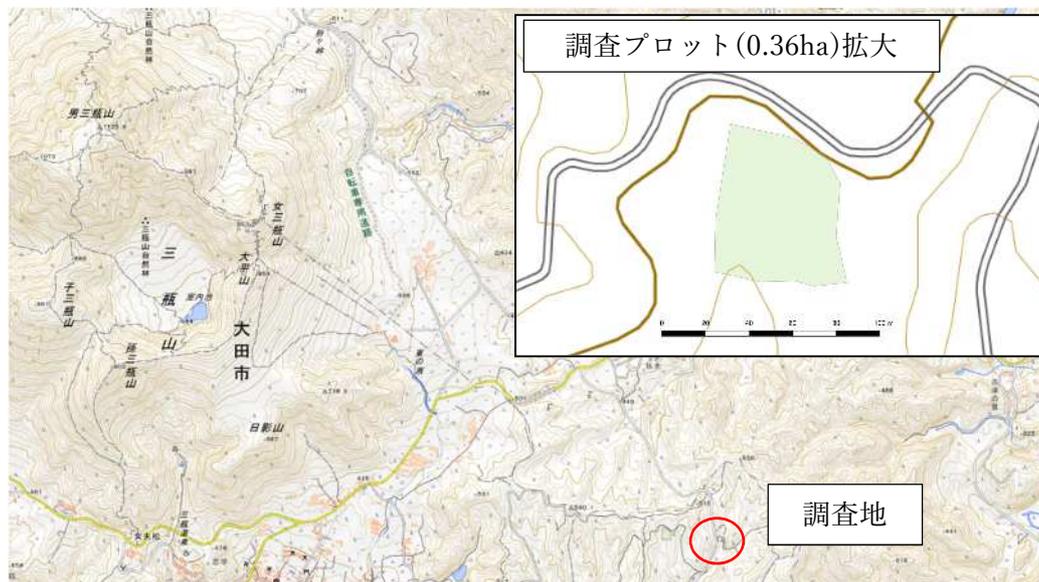
写真-1 背負い式地上型レーザ計測器「LA03」

「LA03」の販売額は225,000円（税抜き）と、従来の地上型レーザ計測器（設置型・歩行型）よりも低価格に抑えられていることも利点として挙げられる。（なお別途、アプリケーションの利用料として、月額10,000円（税抜き）が必要である。）

2.調査

2.1 調査地

調査は、大田市三瓶町上山地内の東上山大田市有林にて行った（図一）。



図一 東上山大田市有林位置図および調査プロット

当該林分の森林簿情報による林況は表一のとおりであった。

表一 調査林分の森林簿情報

樹種	スギ
齢級	14
傾斜	11°

ただし、現況としてはスギの純林ではなく、広葉樹が所々含まれていた（写真一）。

大田市担当部署に聞き取りをしたところ、13年前、元々植栽されていたスギを列状に抜き取りしたうえで、下層木として広葉樹を植栽する施業を行ったとのことであった。結果として、元々の造林木であるスギの高木と、自然に生立した広葉樹の高木、追加で植栽した広葉樹の低木によって構成される、現況の林分となったものと判断された。



写真一 調査プロットの林況

2.2 調査方法

①人力調査

令和5年10月4日に森林資源量調査を行った。

胸高直径10cm以上の生立木の樹種、樹高、胸高直径を測定する毎木調査を行い、そこから「立木幹材積表－西日本編－」により単木材積を算出したものを総和し、調査プロット材積とした。また、人力による資源量情報を他の測定方法の資源量情報と比較するため、測定した全木の幹にスプレーによる番号記載を行った。

現地調査は、Haglof社製Vertexによる樹高測定に1名、輪尺による胸高直径測定とVertexの子機設置に1名、測定結果などの記帳に1名、スプレーによる番号記載に1名、計4名を1班として行った。

②背負い式地上型レーザー調査

同年12月16日に背負い式地上型レーザーによる森林資源量調査を行った。

調査では、LA03を背負って林内を歩行し、取得した点群データを「mapryPC版（mapryPointcrpidViewer：ver1.0.54.3）」にて処理を行い、単木の、位置、樹高、胸高直径、プログラムに組み込まれた立木幹材積式（式は「立木幹材積表－西日本編－」と同様）により算出された材積などを、電子データとして出力した（CSVおよびShapeファイル）。

上記データと、調査プロットの範囲をGNSSで測位・取得したデータ（Shapeファイル）をGIS（QGIS）上で重ね合わせ、範囲に含まれる単木のデータを集計し、プロットの森林資源量情報とした。

なお、データの算出条件として「胸高直径10cm未満の立木は対象としない」とし、樹種の判別は自動化されていないため、全ての立木を主要樹種であった「スギ」とみなし、一律にスギの立木幹材積式を適用して材積計算を行った。

現地調査は、レーザー計測器LA03の運用1名1班として行った。

2.3 調査結果

各調査手法により得られた、調査プロットの森林資源量情報を以下に示す（表-2）。

表-2 各調査方法により取得した調査プロットの森林資源量情報

調査方法	立木 本数 (本)	平均 密度 (本/ha)	平均 DBH (cm)	平均 樹高 (m)	平均 プロット 材積 (m ³)	1本あた り材積 (m ³)	調査 時間 (分)	
調査プロット (0.36ha)	人力	151	419	36.7	19.3	180.4	1.19	179
	mapry	312	866	24.3	21.8	204.4	0.66	20

3.考察

得られた調査結果をもとに、従来の人力調査との比較を行いながら、「背負い式地上型レーザ計測器」の機能特性について考察する。

3.1 森林資源量の把握について

今回の調査プロットでは、人力調査に対して、プロット材積は1.1倍であったが、立木本数は2倍、平均胸高直径は0.66倍と、項目によっては人力調査の結果とは大幅に異なる結果となるものがあった。差異の大きかった立木本数について、調査プロットにおける径級毎の立木本数グラフを示す(図-2)。

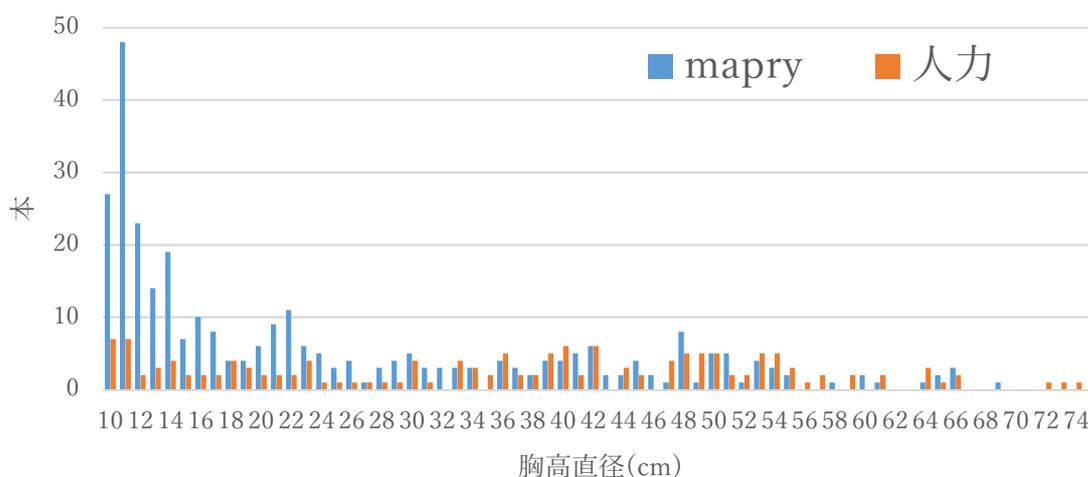


図-2 調査プロット立木の径級別本数

人力調査の結果に対して、背負い式地上型レーザは小径木が過大数計上されており、単木材積の小さな小径木が大量に計上されたため、このような結果になったと推察される。

点群データから立木を抽出する場合、取得された点の集まりが立木か否かの判断は、アルゴリズムによりおこなわれているが、そのアルゴリズムが「立木でない点の集まり」を立木として認識した、ということが考えられる。特に、今回の現場のような下層植生や細かい灌木などが多い現場では、計測対象の立木以外の「点」が取得され、その「本来は無関係な点の集まりから」アルゴリズムが立木を見出した結果と推察される。

なお、こういった人間から見れば誤検知である立木を、解析ソフト上で点群データを見ながら人力で1つ1つ立木否か判断し削除していくことは可能ではあるが、大面積・立木本数が多いと手間がかかるうえ、そのような個々人の判断は客観性がなく、得られる結果は普遍性のあるデータとは言い難い。以上を踏まえ、現時点の運用方法としては、

- ①小面積の標準地調査で活用し、一定の判断基準をもって人力によるデータ削除を行う
- ②小径木の過大数計上が起こる場合、大径木のデータのみを活用する

といった方法が現実的であると考えられる。

また、今回の調査では検証できなかったが、本年度斐伊川流域での地上型レーザ(OWL)の実証でそうであったように、下層植生などの支障物の少ない単層林などでは誤検知も少なくなると考えられ、人力調査と同等の結果が得られるのではないかとと思われる。

3.2 調査コストについて

調査コストについては、資源量を算出するために必要な情報を得るための「現場計測作業に係るコスト」と定義し、計測後の林分材積の計算や分析作業は除外することとした。

人力調査および、背負い式地上型レーザ計測調査については、計測作業時間と作業人員数から、人役及び人件費を算出し、それぞれの作業に使用した機器経費も併せて、調査コストを試算し、比較を行った（図-3）。

なお、試算およびその算出条件については、巻末資料1のとおりである。

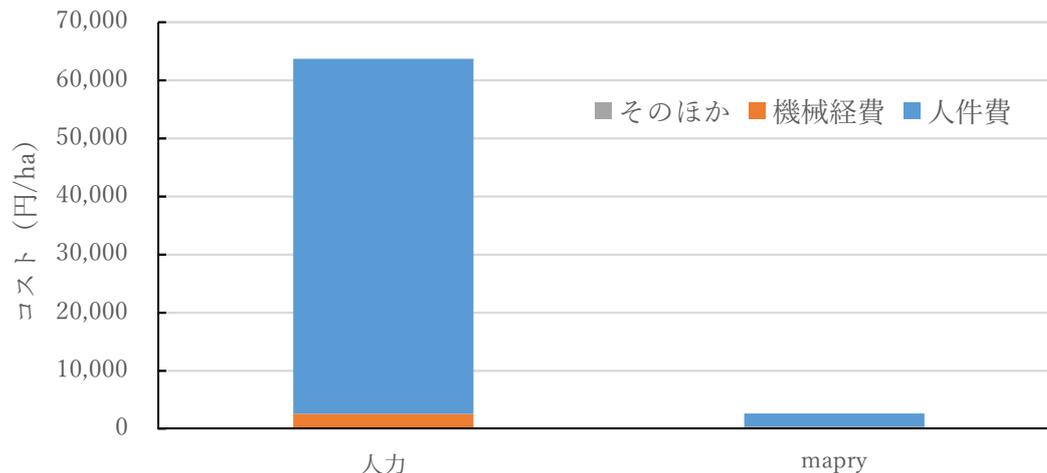


図-3 haあたりの調査コストの比較

試算では、従来調査の4%までコストを削減することを確認した。

これは、調査人員と調査時間の縮減により、人件費が大幅に減ったことに起因する。

また、背負い式地上型レーザによる調査に要する機器の費用は、人力調査に要する機器の費用とほぼ変わらず、使用日数による機器の償却費の差をあまり考慮する必要がないため、人力調査を当該手法に置き換えるだけで、高いコスト低減効果を得られると考えられる。

4.まとめ

背負い式地上型レーザによる計測について、今回の調査では、

「資源量把握の差の程度」については、森林資源量としての材積は人力調査と1割程度の差しか出なかったが、調査地が下層植生の多い針広混交林であったこともあり、小径木が過大数計上され、森林資源の情報が正しく把握できたか、疑問の残る結果となった。

「作業省力化・低コスト化の効果」という点では、人力調査に対して、単位面積あたりの調査に要する労働投入量の大幅な低減による省力化が期待でき、それに伴うコストの低減効果も期待できると判断された。

なお、今回の検証結果については時点のものであり、検証対象機器については令和5年6月に販売が始まったばかりで、現在進行形でソフトウェアの改良がおこなわれている。

現時点での導入・運用を行う場合は、機器特性を理解したうえで使用することを推奨するとともに、今後の機器の発展に期待したい。

巻末資料1 調査コストの算出

試算条件

- ・各手法における、現場計測作業に係る部分についてのみの算出を行った。
- ・機械損料は別シートにて算出
- ・使用機器の価格については、実調達額や実勢価格を参考にした。
- ・労務単価は普通作業員（島根県公共工事設計労務単価表（R5.12.1適用））を適用。
- ・人力調査は4人で行ったが、スプレーナンバリング1名は、通常の資源量調査では必要のない作業なので除外し、3名作業でコスト算出した。

日作業時間

1日あたり実作業 7 時間

調査結果から作業速度

	人力	mapry
全作業時間（分）	179.0	20.0
計測面積（ha）	0.36	0.36
作業速度（ha/時）	0.12	1.08
日作業換算（ha/日）	0.845	7.560
作業員数（人）	3	1
作業生産性（ha/人・日）	0.282	7.560

haあたり作業時間と労働投入量

	人力	mapry
haあたり必要時間（分/ha）	497.22	55.56
haあたり必要時間（時間/ha）	8.29	0.93
作業員数（人）	3	1
haあたり労働投入量（人・日/ha）	3.552	0.132

各種比較（haあたり）

	人力	mapry
haあたり労働投入量（人・日/ha）	3.552	0.132
人件費（円/ha）①	61,087	2,275
機械損料（円/ha）②	2,575	298
そのほか（円/ha）③	0	43
合計（①+②）	63,662	2,616

※「そのほか」はソフト利用料。機械稼働時間にかかわらず月額10,000円なので、
 $10,000 \text{円} \times 12 \text{か月} \div 365 \text{日} = \text{「日額利用料(円/日)」}$ を算出し、
「日当たり作業効率(ha/日)」で割ることで、「面積あたり利用料(円/ha)」を算出

機械損料

機械名		人力計測			
減価償却費①		維持管理費②		機械損料(①+②)	
購入価格	217,500	保守修理费率	50	Vertex4:214,500円 直径巻尺:3,000円	
自己負担額	217,500	保守修理費	21,750		
償却年数	5				
想定運転日数	30				
年間償却額	43,500	年間維持費	21,750	年間損料	65,250
日当り償却額	1,450	日当り維持費	725	日額損料	2,175

機械名		mapry(LA03)			
減価償却費①		維持管理費②		機械損料(①+②)	
購入価格	225,000	保守修理费率	50	LA03:225,000円	
自己負担額	225,000	保守修理費	22,500		
償却年数	5				
想定運転日数	30				
年間償却額	45,000	年間維持費	22,500	年間損料	67,500
日当り償却額	1,500	日当り維持費	750	日額損料	2,250

巻末資料2 〈参考〉無人航空機型レーザ計測との比較

今回の調査地では、無人航空機型レーザ（森林計測サービス：ヤマハ発動機(株)）による森林資源量の計測が行われており、所有者である大田市より当該データを提供頂いたため、背負い式地上型レーザ調査（以下、「本体調査」とする）により得られた各手法による森林資源量情報と、無人航空機型レーザによる森林資源量情報の比較を行った。

なお比較にあたり、人力、mapry、無人航空機型、全データが重なるプロット（重複プロット：0.29ha）を設定した（図-1）。

各手法の資源量情報については、本体調査と同様、人力は毎木調査結果により、mapryと無人航空機型については電子データの重ね合わせにより、集計を行った（表-1）。

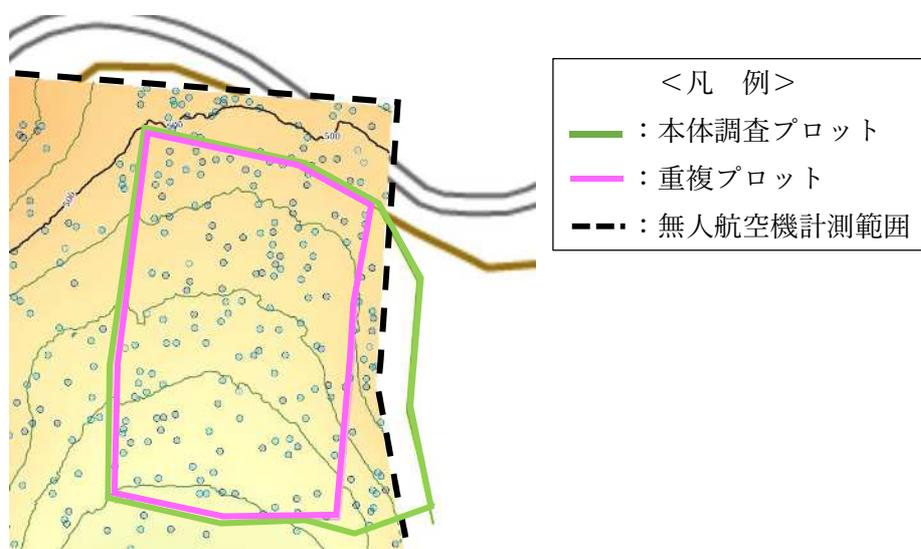


図-1 各プロットの位置関係

表-1 各調査方法により取得した重複プロットの森林資源量情報

調査方法		本数 (本)	立木密度 (本/ha)	平均DBH (cm)	平均樹高 (m)	プロット材積 (m ³)	1本あたり材積 (m ³)
重複プロット (0.29ha)	人力	128	441	37.1	19.6	162.4	1.27
	mapry	253	872	25.3	21.7	175.7	0.69
	無人航空	145	500	33.4	22.5	144	0.99

mapry は、人力調査と比べて、プロット材積は1.1倍だが、本数は2倍となった。本体調査と同じデータを使用したこともあり、小径木が過大数計上された結果と考えられる。

無人航空機型は、人力調査と比べ、プロット材積は0.9倍、本数1.1倍、平均胸高直径は0.9倍、樹高は1.1倍と、各値に±0.1倍の差が生じた。

令和3年度林業省力化技術実証事業

報告書

【高津川地域：プライベートLTE】

目次

1. 調査概要	3
1.1 調査目的	3
1.2 調査対象機器	3
2. 調査.....	4
2.1 通信環境	4
2.2 通話遅延	5
2.3 バイタルセンサーとの組み合わせ	7
2.4 コスト試算.....	11
2.4.1 作業トラブルによる掛かり増し経費	11
2.4.2 sXGP によるコスト縮減効果.....	11
3. まとめ	13
4. 参考文献	14

1. 調査概要

1.1 調査目的

高津川地域においては架線集材による伐採が主体となっている。架線集材においては、集材機と荷掛の間で無線機を用いて音声で相互の状況を伝達し作業している。また、架線集材技術そのものが複雑で高度な技術と知識を必要とする作業である。このためより、原木増産や低コスト化のために当地域では架線集材における新規就業者の育成や安全性を向上させる必要がある。

一方で、伐採を行う山林の多くは携帯電話の電波が届かない不感地帯であり、現場内の作業員同士のコミュニケーションだけでなく、緊急時に消防署へ通報が遅れる等の課題がある。

本調査では、現場内で音声以外に画像や映像によって作業員同士でのコミュニケーションを可能にする通信技術に注目し、通信機器の適用範囲や作業効率の改善効果を検討するため現地実証を行った。なお、調査は当地域で架線集材を主体に伐採を行っている伸共木材協同組合に全面的にご協力していただいた。

1.2 調査対象機器

調査ではアイテック阪急阪神株式会社が開発中のプライベートLTE（以下、「sXGP」とする）通信による連絡システムを採用した。sXGP（Shared Extended Global Platform）はPHS運用帯域である1.9GHz帯を利用した通信技術で、2017年の電波法施行規則の改正により、特定の利用者や用途向けに独自のネットワークを構築して業務利用が可能となっている。近年では工場や病院内での占有利用に使われ始めている

sXGPの特徴を表-1に示す。

表-1 sXGPの特徴¹⁾

強み	<ul style="list-style-type: none">◎免許不要○技適認定の端末が既に流通しており、導入ハードルが低い◎WiFiと比べ、移動するデバイスとの安定した通信が可能◎占有使用が可能(トラフィック集中する場所での安定利用)◎セキュリティ性が高い(閉域網のため)<ul style="list-style-type: none">・SIMカードを用い、デバイス管理が容易・通信料金が無料(ネットワーク内)◎通話(VoLTE) + データ通信(メールや画像のやり取りなど)可能◎エリア内では、プライベートLTEは勿論、キャリア回線も利用可能(デュアルSIM端末利用時)<ul style="list-style-type: none">・PoE対応によりAPの電源不要◎公衆回線途絶の際、単独動作が可能のためBCP対策として有効◎導入コストが安価◎容易に使用目的に応じた機器カスタマイズが可能
技術性能	<ul style="list-style-type: none">・周波数帯 (B39) (1880MHz~1920MHz: TDD) F0: 1899.1MHz F1: 1891.0MHz F2: 1914.1MHz <現在はF0のみ。F1、F2は2020年夏ごろ認可予定>・帯域幅 5MHz (下り10Mbps 上り4Mbps) <2021年春: 20MHzへ拡大予定: 下り110Mbps 上り10Mbps>・同時接続数 16端末(SIM) <1APあたり>・検知エリア 半径200m(1APあたり)

また、sXGP は免許が不要であることと、通信網構築にかかるコストが比較的安い事が利点である。

通信機器は伐採現場での運用を考慮して、(1) 可搬式基地局セット、(2) スマートフォンとヘッドセット、(3) バイタルセンサーにより構成されており、価格は 925 千円/式である (図-1)。



図-1 sXGP の構成

このうち、バイタルセンサーは作業員の腕に装着して心拍数やストレス値を記録するとともに、転倒を検知する事も可能である。これにより、スマートフォンのGPSと連動して作業員毎の体調管理や労務負担の評価への活用と、現場進捗状況の把握が可能になると考えられる。

2. 調査

2.1 通信環境

令和3年7月8日に益田市匹見町宇津井地内の伐採現場において、土場に基地局を設定し、土場と先山とで音声通話が可能であるか試験した。なお、土場-先山間の斜距離は約300mであった。現地の状況を図-2に示す。

試験の結果、音声通話が可能であることを確認した。しかし、ヘッドセットがイヤーマフやヘルメットに干渉し、音声が聞き取り難くなる事が明らかになった。さらに、音声通話では土場と先山の間で1秒程度の遅延(タイムラグ)が発生していることも明らかになった。



図-2 通信環境の確認状況

2.2 通話遅延

2.1 の調査により音声通話において1秒程度の遅延発生が明らかになった。架線集材において、例えばロージングブロックを集材木周辺まで引き込む際に、1秒の遅延によりロージングブロックの停止位置が2m程度ずれることが想定される。これは、作業効率だけでなく、安全性の観点からも課題があるためsXGPの遅延時間を確認した。

R3年12月 日に伸共木材協同組合本社の敷地内において、sXGPと従来の作業に使用している無線機(standard社製 FTH-508:以下、「無線機」とする)の通話状況を調査した。先山と土場を想定して機器と人員を配置した、地点間の距離は約90mであった(図-3)。

調査は先山と土場および基地局にビデオカメラを設置して通話の状況を撮影し持ち帰り、動画編集ソフト(サイバーリンク社:PowerDirector18)を用いて3台のビデオ映像を結合して音声波形から遅延時間を求めた(図-4)。なお、sXGPによる音声通話15回、ビデオ通話5回と無線機による通話1回のデータを取得した。



図-3 通信遅延の確認時の状況

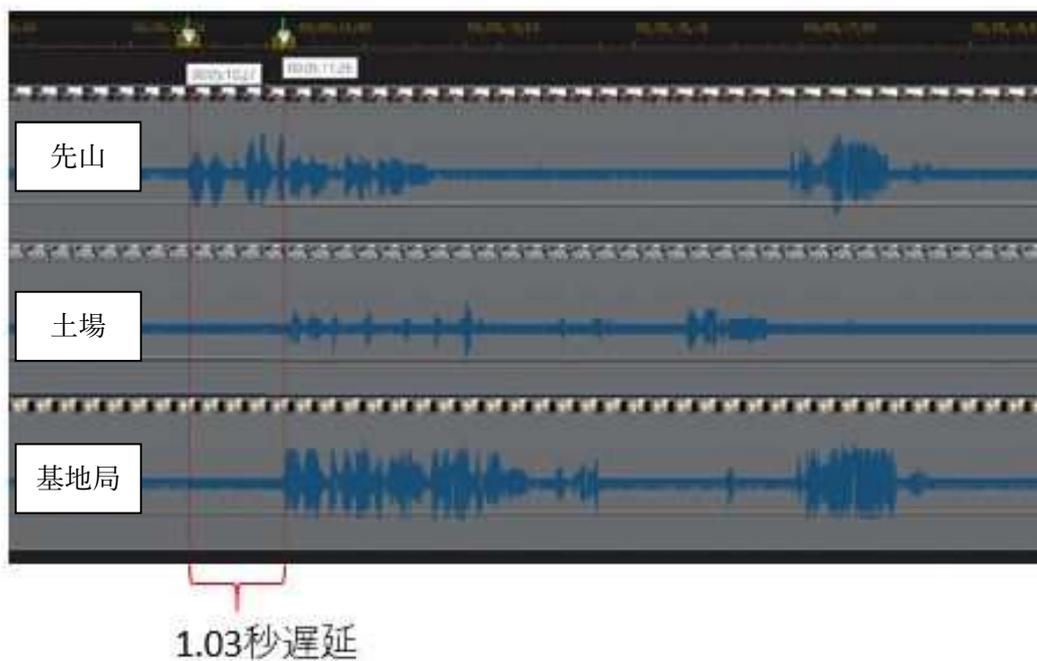


図-4 音声波形による遅延時間の確認例

調査の結果、無線機による通話では 0.06 秒の時差が確認されたが、実務において支障はないものと判断した。sXGP による音声通話では平均 1.17 秒、ビデオ通話では 1.87 秒の遅延が確認された（図-5）。音声通話の方が遅延時間は短かったものの、作業員への聞き取りによれば 1 秒程度のタイムラグは架線集材作業において支障が出るとのことであった。また、遅延時間のバラツキが大きく通話状況が安定しないことも課題である事が明らかになった。

一方で、架線集材に脱索等のトラブルが発生した場合や荷掛時に荷掛手だけでは判断が難しい作業状況が発生した場合に、班長の指示を仰ぐ場合ではビデオ通話や写真共有によって作業効率を向上させる効果が期待出来る。

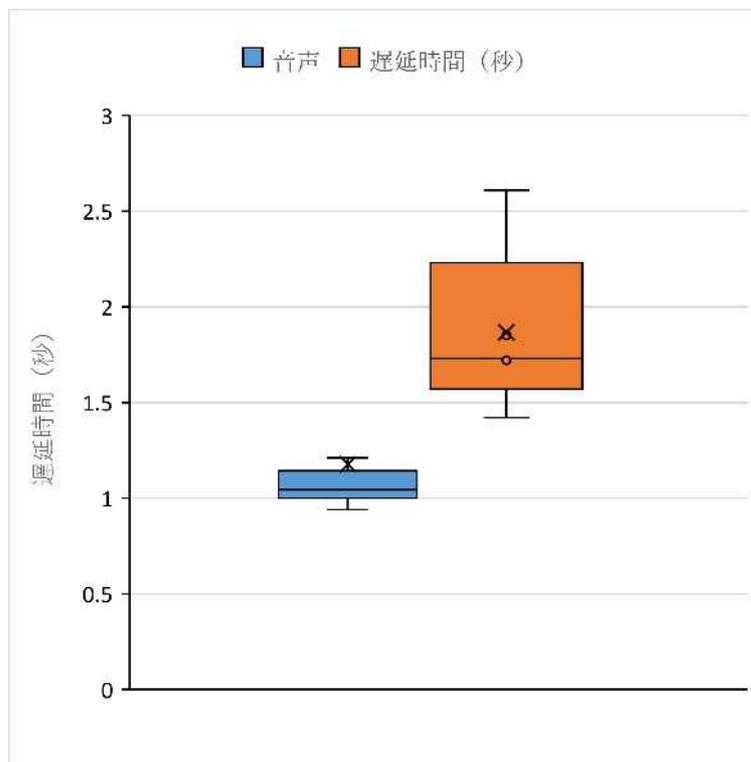


図-5 sXGP 通話別の遅延時間

2.3 バイタルセンサーとの組み合わせ

2.2 の調査により、sXGP の更なる活用に向けてバイタルセンサーとの組み合わせによって取得したデータを活用するために、バイタルデータの取得状況を現地で実証した。実証期間は令和 4 年 2 月 8 日から令和 4 年 3 月 3 日まで間で、4 現場 4 班でデータを取得した。

このうち、令和4年3月2日については、現場作業の様子をビデオ撮影しバイタルデータとの関連性を分析した。作業は益田市川登町地内の伐採現場において架線集材による伐採を行っており、集材機横に設置した基地局から荷掛手までの距離は約300mであった

(図-6)。作業員の配置は集材機、先山にそれぞれ1名、土場はグラップルソー造材1名と荷外し・チェーンソー造材を兼務する1名の計4名で実施した。集材機を除いた3名の作業員がスマートフォンと連動するバイタルセンサーを装着しており、それぞれでバイタルデータを取得した。このうち荷掛手は作業開始から約1時間のデータしか取得できていなかったため、半日分のデータが記録されていたグラップルソー造材、チェーンソー造材の2名を分析した。なお、取得したバイタルデータのうち、労務強度の評価にも用いられる心拍数を分析した。

グラップルソー造材の作業員(以下、「作業員A」とする)の心拍数を図-7に示す。

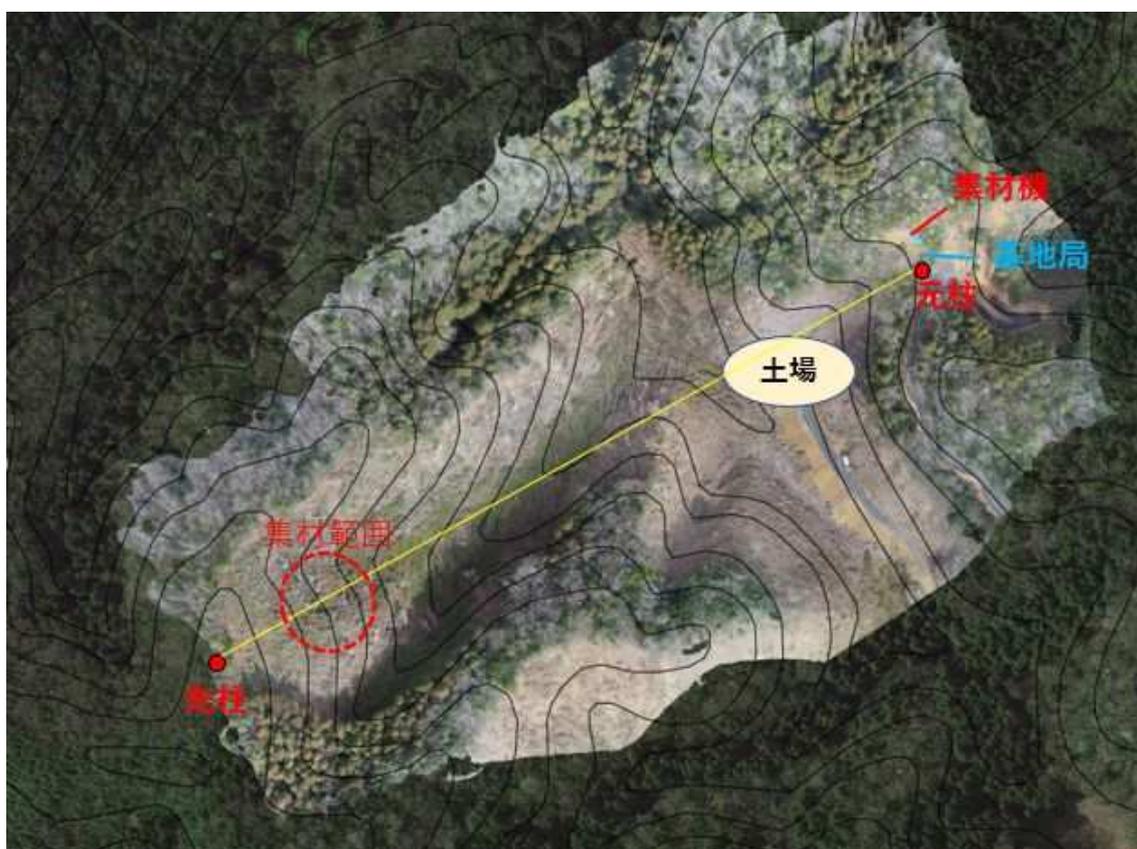


図-6 3月2日の作業状況

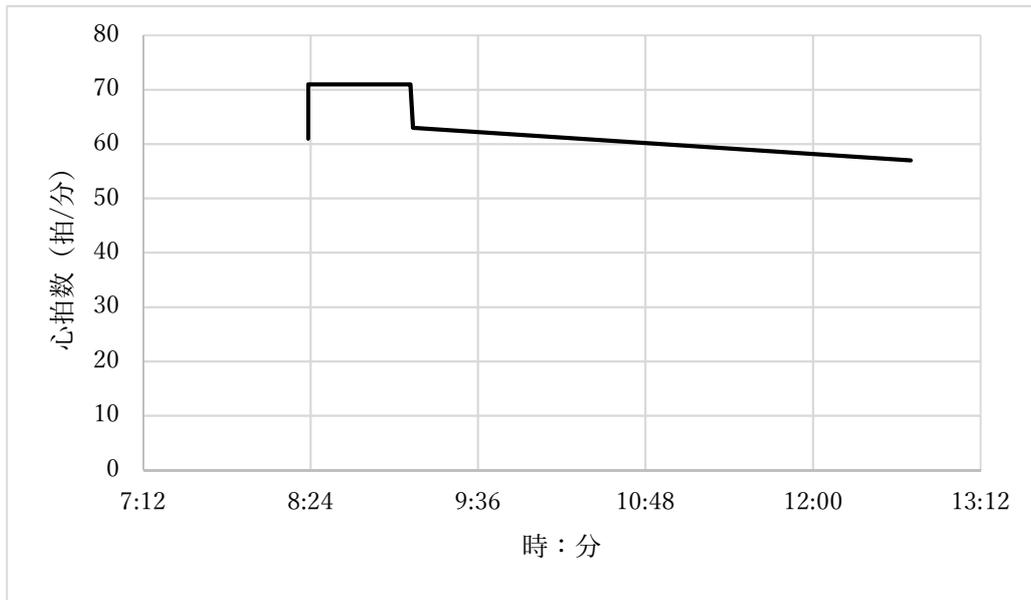


図-7 作業員 A の心拍数推移

本来、心拍データは作業員 A の心拍データは 1 分毎に記録される設定になっているが、作業員 A については、8 時 23 分、9 時 7 分、9 時 8 分、12 時 42 分の 4 回のみ記録されていた。このため、心拍数と作業内容の関連性を明らかにすることはできなかった。

一方で、取得した 4 回分の心拍データの平均値を用いて、(式) により想定させる心拍水準を試算した。なお、作業員 A の年齢は 30 歳であった。

心拍水準(% of max HR) = 作業時心拍数(拍/分) / 年齢による予想最高心拍数(拍/分)[※] (式)

※年齢による予想最高心拍数 (拍/分) = 220 - 年齢

$$220 - 30 = 190 \text{ 拍/分}$$

$$64 / 190 = \underline{33\% \text{ of max HR}}$$

ここで算出した 33% を林業作業における心拍水準 (表-2) に当てはめると、ハーベスタやプロセッサ作業に比べて低い水準であると判断された。

表-2 林業作業の心拍水準²⁾

機械・作業	心拍水準 (% of max HR)
ハーベスタ ⁶⁾	42～49
プロセッサ ⁷⁾	43～44
フォワーダ ⁸⁾	44～52
スキッダ ⁹⁾	41～46
チェーンソー伐木 ³⁾	57～62
架線荷掛手 ¹⁰⁾	60～70

チェーンソー造材の作業員（以下、「作業員B」とする）の心拍数を図-7に示す。

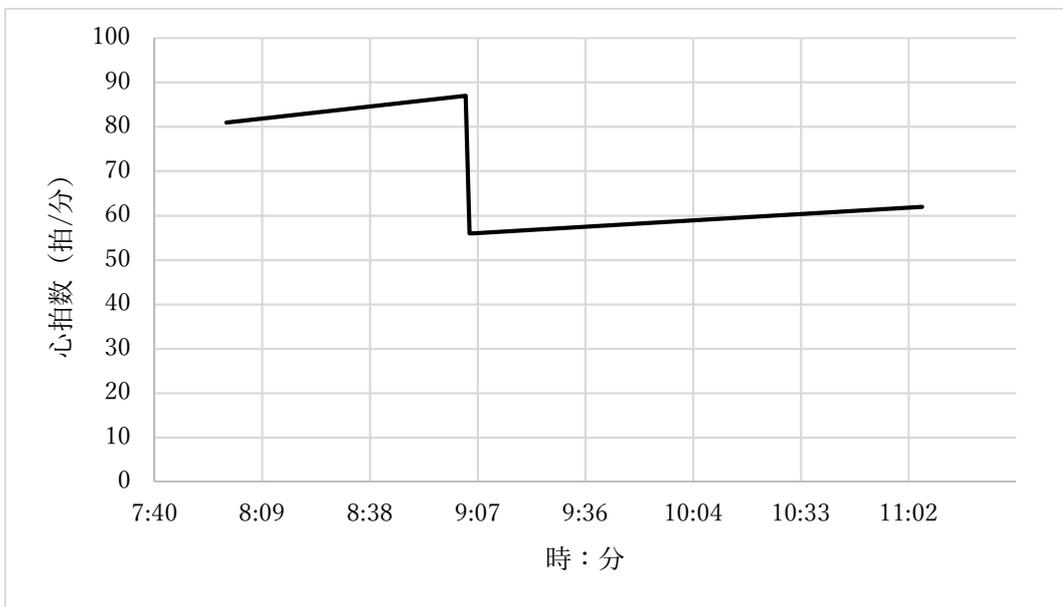


図-7 作業員Bの心拍数推移

心拍データの取得間隔は作業員Aと同様に、8時00分、9時4分、9時5分、11時6分の4回のみ記録されていた。このうち、9時4分から9時7分の間で心拍数は31拍/分低下しており、ビデオデータを用いて作業内容と心拍数の関係を分析した。

その結果、作業員Bは9時4分までは荷外し作業を行い、その後に作業員Aがグラップルソーで造材を行ったため、待機時間が発生していた。このため、約3分の間で心拍数が低下し、安静状態に近い数値に落ち着いたものと考えられる。

2.4 コスト試算

2.4.1 作業トラブルによる掛かり増し経費

令和4年3月2日の作業では、午後13時51分に先柱が折れたため、全作業を中断した。この時に、荷掛手を除く3名は先柱の状況を確認するために、徒歩で先柱へ移動し、荷掛手と合流して作業班員全員で状況確認と今後の作業計画を話し合った。なお、荷掛手を除いた3名は荷掛手により設置されていたルートを歩いて先柱へ移動した。更に先柱側での状況確認と打合せを行い、架線張り直しのために4名全員で下山した。この先柱折損により要した時間を表-3にまとめた。

表-3 先柱折損後の作業員動き

時間	状況	備考
13時51分	先柱折損	
14時6分	作業員移動開始	荷掛手を除く3名
14時20分	作業員が先柱側に到着、現場確認	
14時40分	作業員が移動開始	4名全員
14時52分	作業員が到着	

仮に、sXGPのビデオ通話による状況確認と打合せを実施し、作業員の移動時間を削減したと仮定すると26分を次の作業にあてることが可能になると考えられる。

次に作業員の賃金を19,000円/人日、1日あたりの勤務時間を8時間と仮定すると、作業員の時給は2,375円になる。この時給を用いて、26分間5人分の賃金は5,106円となる。今回のような大きなトラブルは全ての現場で必ず発生するという事は無いが、sXGPを活用する事によって約5,000円の人件費を削減できると試算される。

2.4.2 sXGPによるコスト縮減効果

先柱側へ作業員が移動する際には身体的負担が少ない尾根に沿って移動した。この移動ルートの距離をQGISで計算すると約460mであった(図-7)。そこで、距離と移動時間から求めた歩行速度を表-4に示す。上りで若干歩行速度が低下するものの、身体的負担ができるだけ小さくなるように尾根に沿った緩傾斜地に歩行ルートを設定したことにより、吉川ら(2001)³⁾の数値と同程度であった。

この歩行速度と作業員賃金を用いて、歩行距離毎の縮減コストを試算した(図-8)。ここで、歩行距離は往復距離を示しており、上りと下りで同じルートを歩行したものとして試算した。

伸共木材協同組合では索張り距離が 300～500mの現場が多いとのことであったため、往復距離で 600～1,000mとして 1,344～2,240 円/人の移動にかかるコストを縮減できると推察できる。

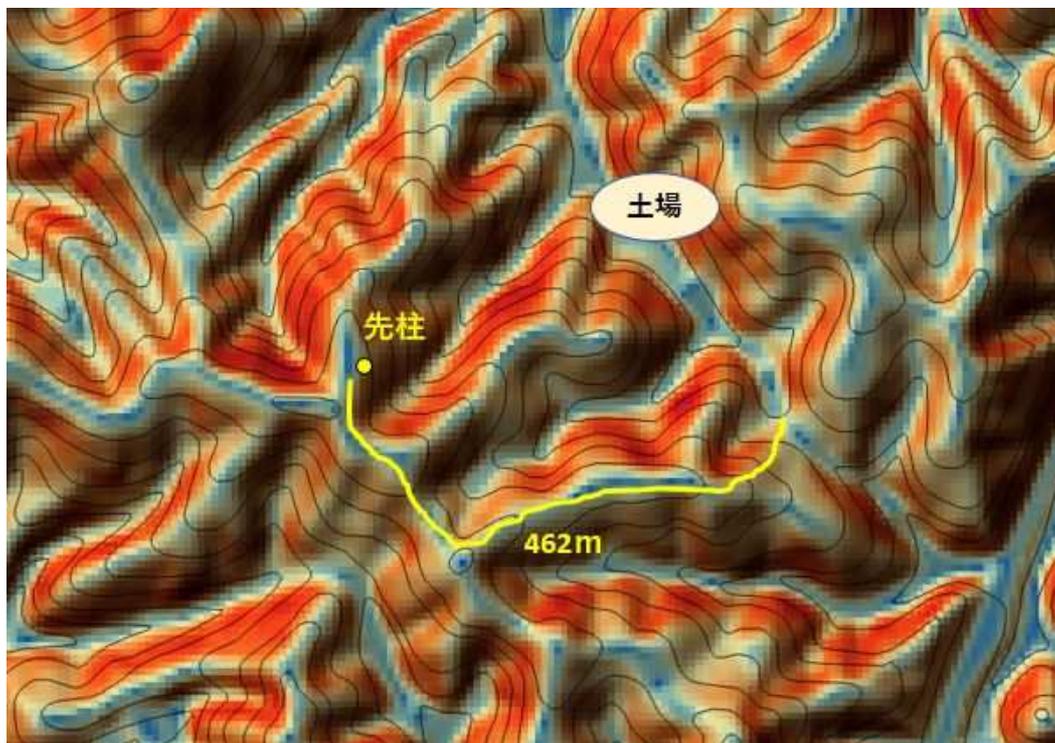


図-7 作業員の移動ルートと距離

表-4 作業員の歩行速度

	距離 (m)	移動時間 (分)	歩行速度 (m/分)
往路(上り)	460	14	32.8
復路(下り)	460	12	38.3

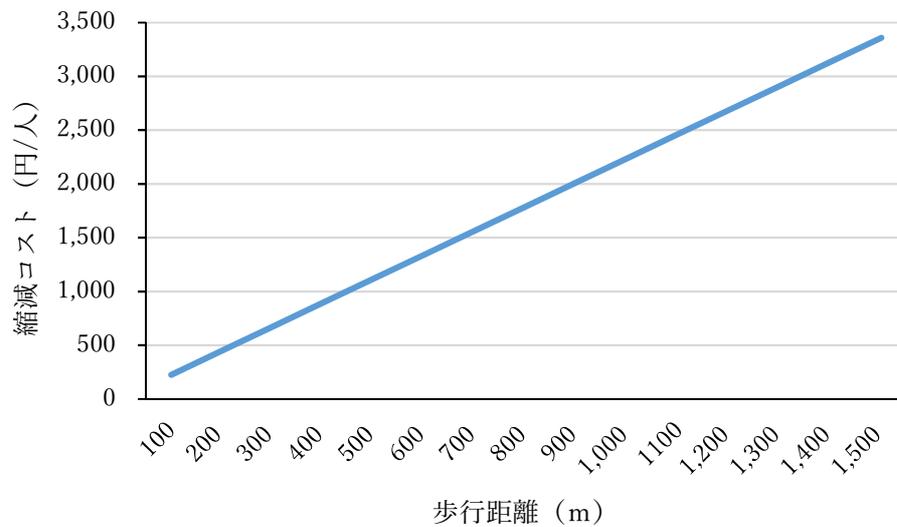


図-8 歩行距離毎の縮減コスト

3. まとめ

本調査によりこれまで林業での使用事例が無かった sXGP を林地で活用するための基礎データを取得できた (表-5)。また、sXGP の導入により、現場内で独自ネットワークを構築して、映像や画像を活用した作業員間のコミュニケーションが可能になることが明らかになった。

架線集材の現場においてはトラブルが発生した場合に作業員が歩いて移動する必要があるが、sXGP のビデオ通話を活用する事によって移動時間を削減し、コストを縮減させる事が可能である。さらに、会社側はバイタルデータや位置データに基づく工程管理や労務調整が可能になることが示唆された。これにより、現場レベルでは作業効率と安全性の向上、事業体レベルでは魅力ある職場作りとして、当地域における木材の増産と低コスト化に資するツールであると考えられる。

機能	実証状況
音声通信	○
映像通信	○
データ収集	△(開けた場所では○)
位置情報	△(開けた場所では○)
+	
データ分析	○

表-5 本調査で明らか¹³にした利活用の可能性

4. 参考文献

- 1) アイテック阪急阪神株式会社業務資料
- 2) 吉岡拓如ら (2020) 森林利用学.丸善出版社. p 118-120
- 3) 吉川正純・沼田邦彦 (2001) 森林作業における歩行負担の生理学的解析.日本森林学会誌 83(4) : 279~284.