

林野庁補助事業

令和5年度 「新しい林業」に向けた林業経営育成対策
のうち経営モデル実証事業

伐境の奥地化に適応した主伐・再造林作業システムの実証
—最新鋭の架線集材システムの導入による重機集材との二刀流へ—

事業成果報告書

令和6年3月

NPO 法人ひむか維森の会
宮崎大学農学部

I	実証事業の概要	1
1	事業の名称.....	1
2	取り組みの背景	1
3	実証のテーマ	2
4	実証団体の構成・相関図.....	3
5	実証事業の内容（実施場所、事業区分ごとの計画内容、工程表）	3
	（1）実施場所	3
	（2）事業区分ごとの計画内容.....	4
II	実証事業の実行結果及び課題	8
1	令和4年度の実施結果	8
	（1）主伐作業.....	8
	（2）立木公売シミュレーション.....	8
	（3）その他	9
2	令和5年度の実施結果	9
	（1）協議会の開催.....	9
	（2）主伐作業	14
	1）生産性分析の目的.....	23
	2）調査と分析の概要.....	23
	3）観測結果	23
	4）油圧集材機による集材作業の考察	26
	（3）ドローンによる造林作業の実証.....	34
	（4）アシストスーツによる造林作業の実証.....	39
	（5）一般民有林立木公売シミュレーション.....	46
III	今後の展開	53
1	宮崎ひむか「新しい林業」経営モデル	53
2	新技術に対する今後の取り組み	55
	（1）架線グラップル.....	55
	（2）ドローン&アシストスーツ	55
	（3）一般民有林の立木公売	55
3	最後に：技術革新の土壌づくり	55

I 実証事業の概要

1 事業の名称

伐境の奥地化に適応した主伐・再造林作業システムの実証
—最新鋭の架線集材システムの導入による重機集材との二刀流へ—

2 取り組みの背景

宮崎県は、2000 年代から主伐が拡大し始め、現在では年間 200 万 m³超の素材生産・流通量を誇り、供給力が需要を呼び、需要力が供給を呼ぶ好循環のなかにある。

大規模な素材生産・流通を支えてきたのは、グラップル等による重機集材である。かつては宮崎県でも架線集材が全県的に盛んであったが、生産性が高く、オペレータを確保しやすい重機集材に代替されてきた。現在では素材生産のほとんどが重機集材で、架線集材は県北の特に急峻な一部地域に残存している程度である。

しかし現在、主伐が拡大し始めて 20 年近くが経過するなか、宮崎県においては伐境の奥地化が深刻な懸念となっている。林道沿線などの好立地の人工林の大半を伐り尽くしつつあり、徐々に伐採対象を林道から遠く、急峻で、狭小な立地の人工林に求めざるを得なくなっている。

奥地での素材生産は伐出コストが増大し、林業経営の収支を圧迫する。それに伴って再造林は困難さを増していく。また、重機集材で無理に奥地伐採を実施すると山地荒廃を引き起こすリスクが高まる。

このような課題に対応するためには架線集材が有効であり、宮崎県内では架線集材を再び素材生産の現場に復活させようとする動きが出始めている。

そこで本事業では、このような動きを加速させるため、県内 2 か所、各 5 ha 程度の実証試験地を設定したうえで、最新鋭の架線集材システムを導入し、その効果を検証することを目的とした。そうすることで、奥地伐採における生産効率向上と環境負荷低減を実現し、伐境の奥地化にも対応しうる「新しい林業」経営モデルを提示することをめざした。

ただ、「新しい林業」経営を確立するためには、素材生産の技術力向上だけでは片手落ちである。技術革新の果実は素材生産業者が独占することも可能であり、林業経営（森林所有者）に行き渡る保証はない。そこで本事業においては、素材生産技術力向上の果実を林業経営（森林所有者）と分け合い、着実に次なる再造林と結びつけていくため、一般民有林における「立木公売」を模擬的に実施し、素材生産業者間の競争を促すような仕組みを試行することとした。

また、主伐後の再造林については、奥地における林道から遠く離れ、急峻で、狭小な林地での再造林作業を想定して、作業員の身体的負担を軽減するためのアシストスーツや資材運搬用ドローンを導入し、再造林作業の効率化・軽労化を試みることにした。

そして、これらの作業を円滑にかつ一体的に実施するため、ドローンレーザー計測とそのデータにもとづく主伐・再造林作業プランニングを実施することとした。これによって森林調査の省力化と迅速化、さらにはデータの豊富化を実現する一方、主伐・再造林作業のデジタル変革として主伐作業においては最新鋭の架線集材システムの実力発揮を支援し、再造林作業においてはゾーニングによって林業経営の不適地を抽出し、積極的に天然更新を図ることとした。

以上の取り組みにより、宮崎県における林業経営の持続化、黒字体質化を支援し、
 素材生産業者発の「新しい林業」経営モデルを提示することをめざした。

3 実証のテーマ

- 1) 油圧集材機と遠隔操作グラブプル搬器を組み合わせた架線集材システム
- 2) 適正な立木価格を実現するための一般民有林「立木公売」シミュレーション
- 3) 林業用アシストスーツと資材運搬用ドローンを使った奥地再造林作業
- 4) ドローンレーザー計測にもとづく主伐・再造林作業のデジタル支援

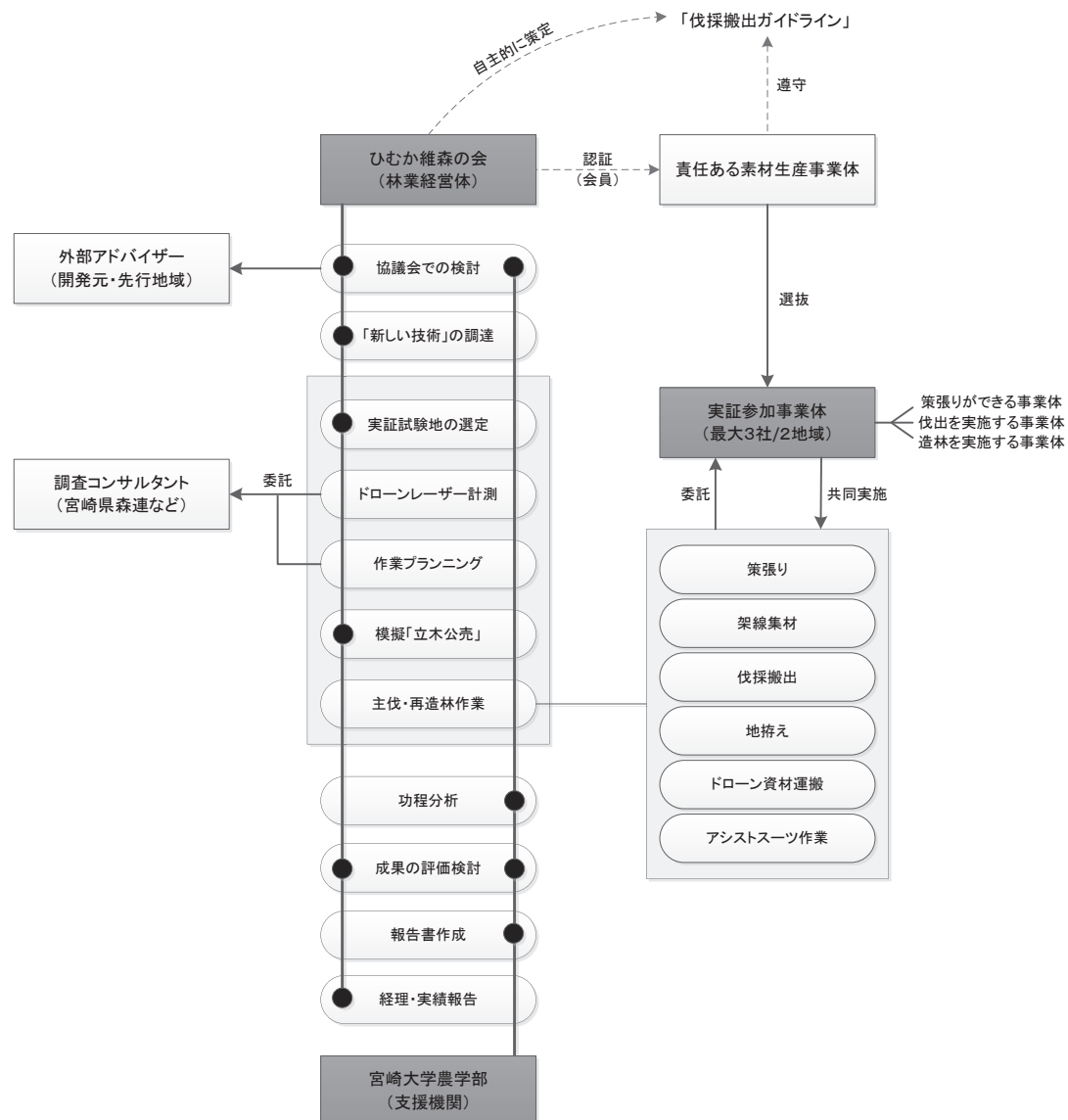


図 1-4-1 本事業の実施体制

4 実証団体の構成・相関図

ひむか維森の会は、素材生産業者で組織した NPO 法人である。主に、個別の素材生産事業体ではできないことを、非営利活動として、また、理事等も基本的には無報酬で活動する団体である。会員とひむか維森の会との間に特段の資本関係等は存在しない。

ひむか維森の会の主たる活動は、伐採搬出ガイドライン活動であり、また、その第三者認証制度である責任ある素材生産事業体認証制度の運営である。他方で、年に2～3回のペースで「未来の林業セミナー」を開催し、会員にかぎらず、宮崎県の林業関係者に対して森林・林業に関する新しい考えや技術に触れる場を提供してきた。

本事業は、ひむか維森の会が、本県素材生産業の大きな悩みである「奥地化」をテーマとして、それに対する最新の架線技術の導入試験を企画し、会員の協力のもと実施するものである。

本事業の実施に際しては、具体的な実証事業体等は特に定めず、事業着手後に会内で議論し、公募等によって選定した。また、実証試験の企画立案と実行については、支援機関として宮崎大学農学部への参画を得ると同時に、宮崎県の林業に精通したコンサルティング業者（スギサチ林業事務所）に委託した。

5 実証事業の内容（実施場所、事業区分ごとの計画内容、工程表）

（1）実施場所

本事業の実施にあたっては、事業期間中に協議会活動として実証作業に必要な情報収集・検討を重ねつつ、令和4年度に1か所、令和5年度にもう1か所の実証試験地を会員事業体から確保しつつ、同一試験地において主伐作業、造林作業、立木公売をそれぞれ実証することとした。

しかしながら後述するように、令和4年度の事業の進捗管理のなかで同一の現場で3つの実証メニューを盛り込むことはスケジュール上の困難が多かったことから、令和5年度については各実証メニューに合わせてそれぞれ実証試験地を設けることとなった。

表 1-5-1 実証試験の実施内容・場所・担当事業体

	主伐作業	立木公売	造林作業
R4	美郷町南郷月井谷 3 ha ○ヤマサン TreeFarm ★ドローンレーザー計測	(現場は同左) ○山河 ○吉永林業 ○ヤマサン TreeFarm (同左のデータを共用)	
R5	日之影町樅木尾 4 ha ○抜屋林業 ★ドローンレーザー計測	小林市三ヶ野山 3 ha ○小村木材 ○木脇林業 ○松田林業 ★ドローンレーザー計測	アシストスーツ ○和田木材（小林市） ○吉永林業（諸塚村） ○抜屋林業（日之影町） ドローン資材運搬 ○抜屋林業（日之影町）

（２）事業区分ごとの計画内容

①森林資源把握

実際に立木を伐採する現場と、立木公売シミュレーションをする現場に対してドローンレーザー計測を実施することとした。

森林リモートセンシングは衛星、航空機、ドローン、地上レーザーなど多様化し、かつその技術が日進月歩で向上しているが、一定の誤差を含んでいるため、用途に合わせて適正な技術を選択することが重要である。

本事業では、特に立木取引、さらにはその後の主伐作業に資するデータの収集が目的となるため、特定の現場に最適化され、誤差の出にくい方法としてドローンからのレーザー計測に着目し、精密な森林資源情報と地形情報を得ることとした。

②主伐作業

新しい架線集材システムとして、イワフジ工業が開発した油圧集材機&架線グラップル（YR302E&BLG16R）に着目した。これは、従来であればエンジンを動力とする集材機を油圧化し、それによってラジコン操作が可能にしたものである。また、ローディングブロックの代わりにグラップルを吊り下げ、同じくラジコン操作によって荷掛け・荷外しを行うというものである。

同機械の特徴は、集材機の油圧化によりラジコン操作が可能となり、架線集材の２オペ化を実現した点である。これにより危険を伴う荷掛け・荷外しの作業が無人化される。また、熟練を要する集材機の運転も無人化され、３オペ体制からの省人化が図られる。この技術は、荷掛けを経験した者ならば一度は夢想した「空飛ぶグラップル」であり、重機集材に泥んだ事業体が架線集材を再導入する一つのきっかけになりうると期待される。

本事業では、このような技術を実際に宮崎県内の現場に導入し、一定期間使い込むなかでその生産性、安全性を把握しつつ、現場におけるトータルな実用性を検証することとした。



図 1-5-2 主伐作業に導入した架線集材の新技术

出典：フォレストジャーナル HP

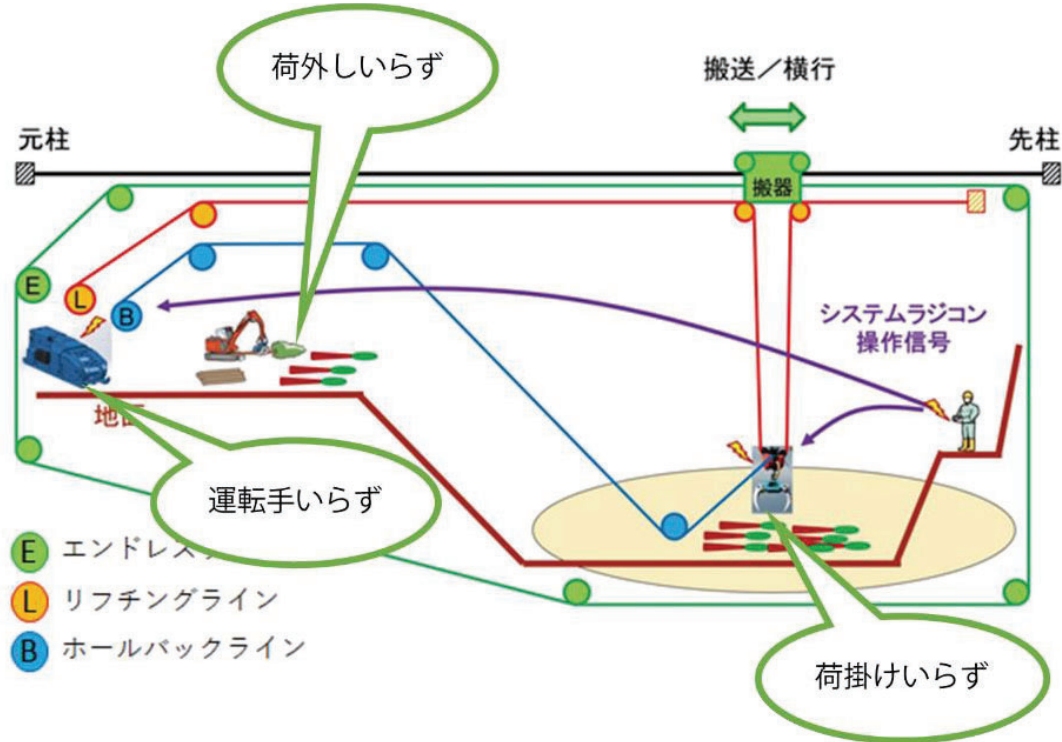


図 1-5-3 架線グラップルの基本的な作業システム図（エンドレスタイラー方式）

出典：前掲 HP

③造林作業

素材生産業者が急傾斜地での伐採・造林を連続的に実施することを想定しながら、それを支援する技術として資材運搬用の大型ドローンとアシストスーツを導入することとした。造林作業の新技术としては、近年ではマルチャーや乗車式の下刈機械などが注目されているが、基本的には緩傾斜地での運用が想定されていることから、本事業ではこれらの技術ではなく、人力による作業を支援する技術として大型ドローンとアシストスーツに着目した。

ドローンについては、宮崎県内においてもペイロード 10kg 程度の小型機が造林の現場に徐々に普及しつつあり、そのなかで明らかな軽労化効果が確認されている。しかしその一方で、小型機では苗木を小分けに運ぶことが中心になるため、運べるものも限られ、作業効率も上がらず、採算ラインを確保しにくいといわれている。

そこで本事業では、大型かつマルチタスクなドローンとして、農業用で普及している DJI Agras T30 を導入し、資材運搬作業のシーンで検証することとした。

一方、アシストスーツについては、林業専用のものの開発が後れている状況をふまえて、物流業界や介護業界ですでに市販・普及しつつあるものの造林作業での活用を実証するとともに、開発メーカーとのディスカッションの機会を得ることで、今後の林業専用スーツの開発を見据えた将来性についても検討することとした。実際に導入する機種については、申請段階では十分な情報がなかったため、事業期間中に情報を収集し、適切なものを選定することとした。

④協議会活動

ひむか維森の会を母体として、県内の各機関との情報共有・連携の場として協議

会を設置し、本事業の適正かつ効果的な実行を図った。

また、協議会の運営及び本事業の執行のため、事務局を別に設置し、各種実証試験にかかる調整全般を実施することとした。具体的には協議会の運営、現地研修会の企画実行、機種選定や実証試験の設計にかかる情報収集、実証事業体の支援、事業全体の進捗管理等である。

なお、事務局を設置するに際しては、実証試験地の設定・調整業務において特に専門的な知見が必要になり、また、ひむか維森の会が無報酬理事による共同運営であるため、それを担い得ないため、宮崎県の林業に精通したコンサルタント業者に委託することとした。

⑤課題整理検証

支援機関である宮崎大学農学部と、事務局も兼ねたコンサルタント業者が実施することとした。特に、架線グラップルとアシストスーツに関しては森林利用学が専門の櫻井倫准教授が、立木公売シミュレーションに関しては森林政策学及び経済学が専門の藤掛一郎教授が担当した。

なお、本事業のなかでの調整を経て、実績として設定された実証試験地とその担当事業体、スケジュールについて示すと図 1-5-1 及び表 1-5-1 のとおりである。

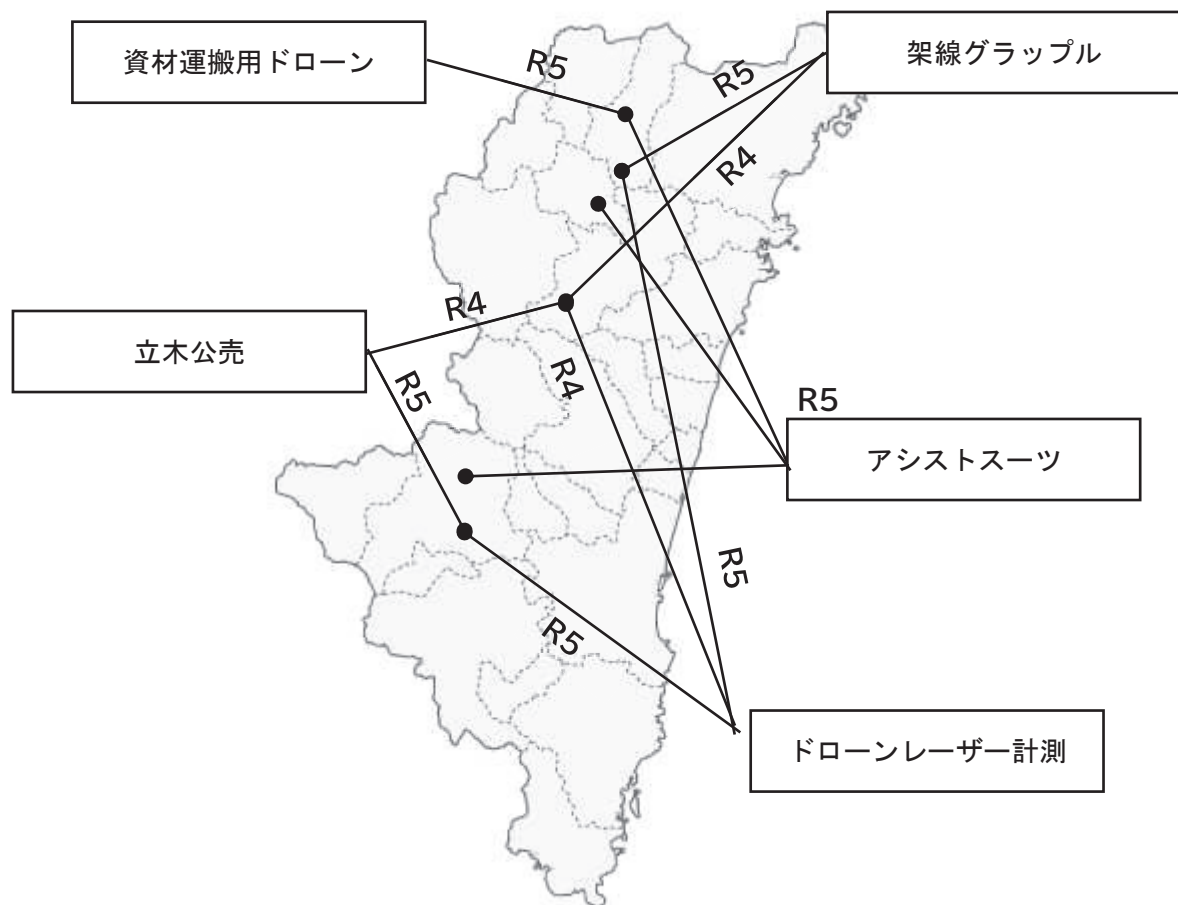
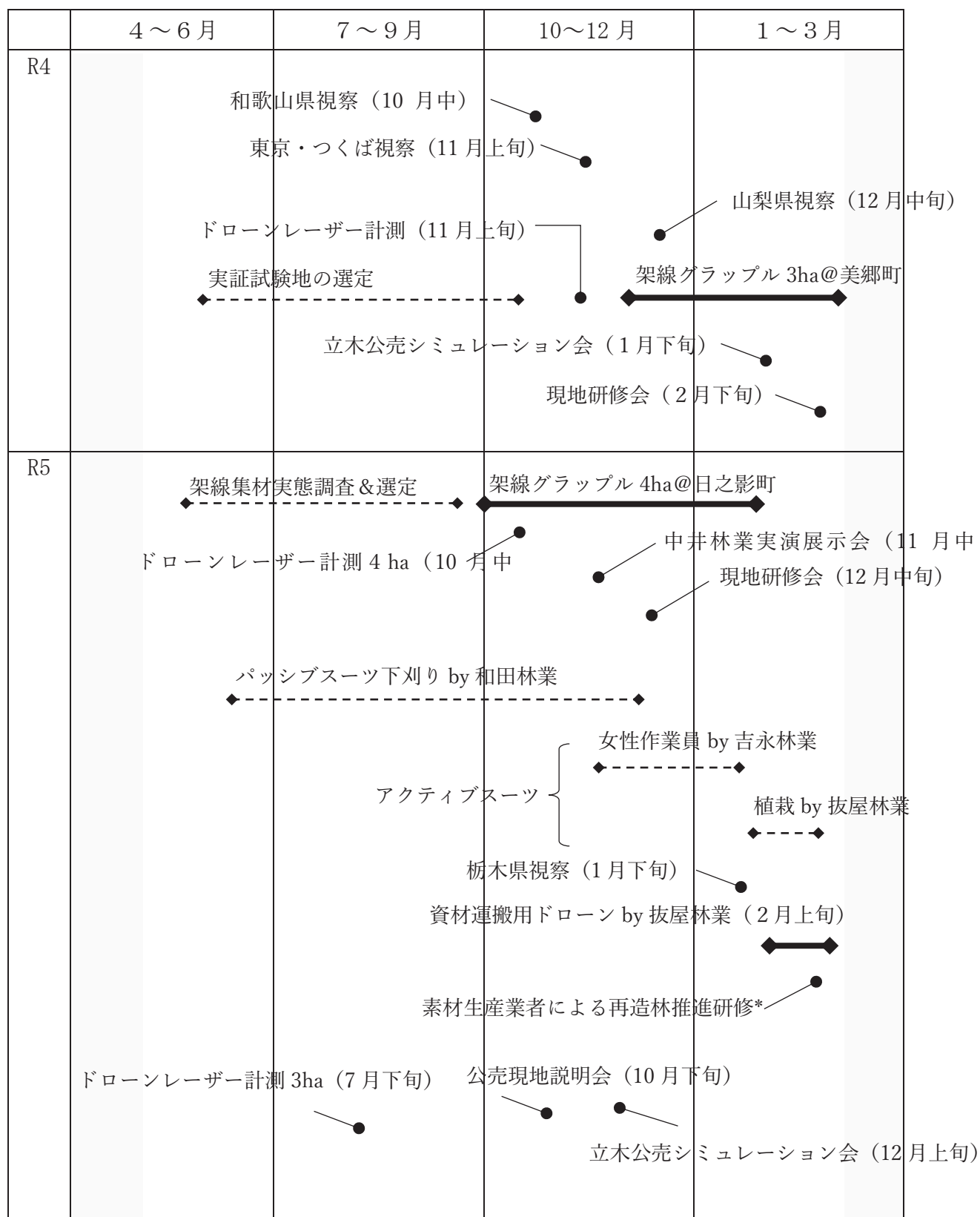


図 1-5-1 実証試験地の位置

表 1-5-1 本事業の実施スケジュール（実績ベース）



*については本事業とは別枠で実施されたもの

Ⅱ 実証事業の実行結果及び課題

1 令和4年度の実施結果

令和4年度においては、前章に示したように架線グラップルの実証試験と、立木公売シミュレーションを実施した。造林作業については、協議会活動の一環として和歌山県及び東京・つくば視察を実施し、アシストスーツの開発メーカーにコンタクトをとり、林業に適したスーツの機種選定を実施した。

(1) 主伐作業

架線グラップルの実証試験地を美郷町南郷月井谷3haに設定し、12月から2月末にかけて実証した。同試験地は、ほぼ国道沿いの好立地であるが、同年発生した台風19号の影響で林道が途絶し、車両系ではアプローチできなくなった現場であった。立木は樹高25m超、平均胸高直径40cmと大径化が進み、傾斜も一部緩慢であるため、「自重500kg」の架線グラップルにはかなり厳しい条件と考えられたが、重機集材の盛んな県南における「奥地化」現場の条件に近くもあるため、ここに試験地を設定し、谷跨ぎで架線を飛ばし、集材を試みた。なお、台風19号は、選定の進んでいた他の候補地への林道にも被害を与え、本事業の進捗にも影響を及ぼした。

実証結果を掻い摘むと、第一に、無人化により安全性の劇的な向上が確認された。架線グラップルでは作業員が掛け場に立つ必要がなくなるため、十分な安全距離を保って作業ができる。この点は作業員からの評価の声があり、明らかな変化を現場にもたらした。

第二に、架線グラップルでの集材効率についても、約1カ月間の実証期間中に徐々に習熟し、最終的には1日あたり70 m³程度を集材（搬出）・造材できる見通しを得られた。しかしその一方で、集材効率は場所によってばらつきが大きく、安定した生産性を発揮するためには、新技術に合わせた作業システムを構築する必要がある痛感された。

また、心配された架線グラップルの「自重500kg」については、パワー的には通常の集材機と遜色なく、ほぼ同等に大径材を吊り上げられることが確認された。しかしその一方で、その自重ゆえに主索が下がりやすく、通常ならば越せる尾根を越せないといったシーンが確認された。また、主索が下がった結果、線下高を十分に稼げず、地面との摩擦を受けて材を引けないというシーンが多くなった。

以上の結果をうけて、令和5年度においては、架線グラップルが有利な条件を整えたうえで実証にかけるべく、第一に十分な線下高、第二にやや小ぶりの立木という条件で試験地を選定し、架線グラップルの可能性を多角的に検証することとした。

(2) 立木公売シミュレーション

上記架線グラップルの実証試験地（月井谷3ha）を対象に、一般民有林を対象とした立木公売を模擬的に実施した。

立木公売は、国有林や公社・旧公団を含む公有林の方式を参照しつつ、開催者側から入札者に立木情報と条件を開示し、それに対する入札金額のみで落札者を決定する方式をとった。立木情報は、あえてデジタル形式でのみ提供し、現地説明会等は省略した。また、入札者は試験地周辺の「責任ある素材生産事業体」の中から3者選定した。

模擬入札とその後の討論の結果、競争による必然的な帰結として落札価格の上昇機会の増加が確認された。ただ、その一方で、一定の入札条件を示したものの、積算方法や考え方は業者によって異なり、単純に技術力や販売力だけで差が出ているとは言い難く、特に一般民有林においては価格だけの入札では適切な落札先を必ずしも導けないのではという問題意識が共有された。

また、入札者が金額を決める際には、独自のフォーマットとチェック項目をもとに立木を総合的に評価しており、デジタル情報だけでは十分に価格を決めきれず、やはり現地における現物熟覧の機会が必要ではないかという結果となった。

そこで、令和5年度においても令和4年度と同じように立木公売シミュレーションを実施しつつ、新たに現地説明会の機会を設けることで、さらに深く、一般民有林に立木公売を導入する際の課題を探ることとした。

(3) その他

アシストスーツに関しては、協議会活動における先進地視察で開発メーカー3者と森林総合研究所の専門家との間で意見交換を実施し、林業におけるアシストスーツの開発・普及状況について情報を収集した。その結果、アシストスーツには大きくゴムやバネの反発でアシストを利かせるパッシブタイプと、電動でアシストを利かせるアクティブタイプがあるということ、また、アシストしたい部位・動作においてスーツも異なることをよく理解し、実証に反映させることが重要であることがわかった。

そこで令和5年度においては造林作業のどんなシーンでどのスーツが効果的かを探るため、パッシブタイプ4種、アクティブタイプ1種を選定し、下刈り、植栽のシーンで実証することとした。

大型ドローンに関しては、農業用汎用機である DJI Agras T30 に着目し、同機を最も高度に運用している先行事例として栃木県の株式会社ジャパンアグリサービスとコンタクトをとり、令和5年度のレンタル機の導入に向けた協議に着手した。

2 令和5年度の実施結果

前年度の成果をふまえつつ、具体的な実証課題を見据えながら令和5年度において2か所目となる架線グラップルによる主伐作業、大型ドローンとアシストスーツによる造林作業、2回目となる立木公売シミュレーションを実施した。

(1) 協議会の開催

本事業を適正かつ効果的に推進するため、協議会として表 2-2-1 のような活動を展開した。

協議会は、ひむか維森の会の月例会議に合わせて5回開催し、試験地の選定や実証試験の設計、進捗管理、実証結果に対する評価について協議した。なお、第1回の際には日本林業協会の肥後氏の参加を得、「立木適正評価機構」について意見交換した。また、第4回の際は、協議会メンバー立ち合いのもとで立木公売シミュレーションを実施した。

架線グラップルについては、協議会として現場を後方支援する目的で、和歌山県の先進事業体（株式会社中井林業）を講師として招き、現場に熟練の技術に触れる機会を提供するとともに、新技術の伸び代を見極めるための実演展示会を開催した。

実演展示会には、主に県北で架線集材を手掛ける事業体の他、森林管理署（国有林）など 24 名が参加した。

また、架線グラップルの習熟が進んだ 12 月中旬に、県内むけの現地研修会を開催した。研修会のテーマは、架線グラップルによる集材作業と、後述するローチンへの切り替え作業とした。参加者は、開発メーカーであるイワフジ工業が招待した熊本県の素材生産業者を含めて約 30 人程度であった。

また、ドローンによる造林作業の実証にむけて、1 月末から 2 月上旬にかけて栃木県へ先進地視察を実施した。近年、栃木県においても主伐が拡大し、その後の再造林に忙殺されるなかで、ドローンによる資材運搬、さらには薬剤散布の試験が始まり、注目されている。そこで協議会では、今回導入するドローンへの理解と、その普及に向けた取り組みについて学ぶため、栃木県の高原森林組合、大田原市森林組合、そして株式会社ジャパンアグリサービスに対して先進地視察を実施した。そして、農業用ドローンの林業用途への転用は可能であり、十分に普及可能であること、ドローンによる成長抑制剤の散布によって下草が抑制され、下刈りの省力化にむけて良好な試験結果が出つつあることを現場で確認した。

架線グラップルの普及可能性を検討するため、同様の機械との比較検討や、状況におうじた選択・組み合わせが重要になるとの観点で、オーストリアで開催された機械展「Austroforma2023」に参加し、主に架線グラップルに関する情報を収集した。

そして、これらの協議会活動については、本事業の別にひむか維森の会が開催している「未来の林業セミナー」において逐次進捗を報告した。また、10 月開催のセミナーには、本事業で導入したアシストスーツ「HAL 作業支援タイプ」の開発メーカーである Cyberdyne の営業担当者を招き、アシストスーツ技術の最前線について触れるとともに、林業への普及可能性について議論した。



写真 2-2-1 第 1 回協議会の様子



写真 2-2-2 中井林業による架線グラップル集材の実演展示会



写真 2-2-3 掛け場での実演展示



写真 2-2-4 未来の林業セミナーでの Cyberdyne 社の講演



写真 2-2-5 日之影町での架線グラップル現地研修会



写真 2-2-6 栃木県視察（高原森林組合の抑制剤散布現場）



写真 2-2-7 栃木県視察（大田原市森林組合の現場でのドローン操縦）

表 2-2-1 協議会の活動

活動の種類	内容
■協議会の開催 5/31、6/27、8/18、9/20、 12/12、2/27	ひむか維森の会の月例会議に合わせて開催。実証の設計、進捗管理、評価について協議。12/12 については立木公売シミュレーションを実施。
■架線グラップル実演展示会 11/12～16	中井林業（和歌山県）を講師として招聘し、現場交流及び会員むけに実演展示会を開催。24 名参加。
■架線グラップル現地研修会 12/13	抜屋林業による架線グラップル集材及びローチン切り替え作業の実演展示。30 名参加。
■先進地視察① 1/31～2/4	ドローンによる再造林支援で先進的な栃木県（高原森林組合、大田原市森林組合、ジャパンアグリサービス）を視察。農業用ドローン（T30）の実践的な運用についても研修。
■先進地視察②* 10/16	オーストリアの機械展「Austroforma2023」に参加し、海外の最新の架線集材システム（特に架線グラップル）について情報収集。
■未来の林業セミナー** 10/21、1/27	アシストスーツ開発メーカー（Cyberdyne 社）によるサイバネティクス 4.0 に関する講演会。また、事務局から本事業の進捗報告・共有。
■成果報告会 12/5、2/26	補助元となる林業機械化協会に報告。全国 12 モデル地域との成果共有。

*本事業からは架線集材関連ブースを訪問した日の入場料等のみ支出計上。

**講演に関しては本事業とは別予算で実行。

(2) 主伐作業

前年度に引き続きイワフジ工業の製造・販売する油圧集材機（YR302E）と架線グラップル（BLG16R）を導入し、その有効性等を実証した。

① 試験地の再選定

令和 5 年度の申請時、県南に実証試験の予定地を設定していたが、採択後、実証試験地の提供元である事業体から「材の大径化が進んでおり、架線グラップルでの集材は困難か」という懸念が示されたため、試験地を再選定することになった。

再選定にあたっては、事業計画に従って県南を中心に検討したが、エンドレスタイラー方式で出すような奥地は、そのほとんどが国有林であったため選外となった。

また、一般民有林では適当な試験地を見つけ切れなかった。

そこで、県南・県北のエリア設定にこだわらず、架線集材技術を有する事業体を第一の対象と定め、対象エリアを県北にまで広げ、エンドレスタイラー方式の適地を選定した。その結果、下記③の実証事業体と試験地を得た。

② 架線集材の実態調査

実証試験地は、上記のとおり県北で決まったが、選定作業は県北においても難航した。事業体が新技術、特に生産性に対して慎重な姿勢を示したからである。

そのような慎重姿勢はどこから出てくるのか。新技術に対する前評価やその基準を把握するため、試験地の再選定作業と並行して架線集材に関する実態調査を実施した。具体的には、宮崎県内で架線集材を実施している事業体のうち6社に対してヒアリングを実施した。

その結果、架線集材は完成された技術であり、急傾斜地において高い生産性と収益性を誇っていることが改めて確認された。

主索の長さは、300～400m ほどが標準的で、500m を超える現場は少ないということであった。また、中間支柱を工作する機会も減っており、基本的にはそのような張り方は避けるということであった。かつての架線集材は大規模に索を張り、広葉樹を収穫するという「広く薄く」のスタイルであり、中間支柱や盤台などの構造物の工作は多く、グラップル等の重機は少なく、大人数でゆっくり作業を進めていたため、生産性は必ずしも高くなかった。しかし、現在は人工林の主伐が中心となり、逆に「狭く濃く」のスタイルに変わるなかで、その強みを発揮している。伐出生産性は悪くても 10 m³/人日、良ければ 15 m³/人日ちかくに上るということであった。これは、緩傾斜地における重機集材に匹敵する数字である。

一方、コストにおいては 5,000 円から 6,000 円/m³の間という回答が多く、その大きな部分を占めるのはワイヤ代であった。特に消耗が激しいのは荷上索で 3,000 m³に 1 回くらいのペースで張り替えるという回答が多く、ここで m³あたり 2,000 円ちかくのコストが生じていたが、主索等については消耗が少なく長期間使用できるため、ワイヤ代が重くのしかかるという感じではなく、十分許容できるコストと認識されていた。

そして、急傾斜地に無理やり作業道を入れて長距離をフォワーダで出すよりは、償却済みのうえ低燃費の架線集材で全木集材することの有利が強く認識されており、ある事業体は最小限の路網を入れたうえで架線も張り、グラップルで線下に木寄せ、集材機で搬出という作業システムをとっていた。

荷掛け・荷外しの労働安全性については「ホール線に弾かれかけた」などのヒヤリハット体験を誰もが一度は経験したことがある様子で、危険で過酷な作業であることは十分に認識されていたが、熟練すれば技術的、体力的に特に問題なくこなせる作業であり、むしろ荷掛けの段取りが生産性を決めると考える事業体が多く、単純な無人化への懸念・抵抗が感じられた。その一方で、「若手が掛け場に入ってくれなくなった」という悩みの声も聞かれ、現状のまま架線集材を続けるのは難しくなるとの見込みのなか、無人化に対する期待の声も聞かれた。

このように、現在も架線集材を手掛けている事業体は、これを重機集材のみの事業体にはできない強みとして急傾斜地において独自のニッチを築いている。そのような事業体が、架線グラップルを導入するとすれば、さらに生産性や安全性が上がり、急傾斜地における競争優位をさらに強化できる場合であろう。しかし、架線グラップルに対しては、従来の架線集材よりも生産性が上がらず、逆に下がること

懸念されていた。伐倒された状態の立木を全木集材する場合、令和4年度の結果をうけて架線グラップルでは良くて70 m³程度となったが、通常の架線集材ならば1日100 m³程度かそれ以上出すこともあり、これを超えてこなれば合格点を出せないという意見が優勢であった。

③ 実証試験地

主伐作業の実証試験地は、最終的に宮崎県日之影町に所在する抜屋林業有限会社の主伐現場7haのうちの4haを対象に設定された。実証のための主伐作業は同社に委託して実施した。

同現場は、同社が3年がかりで伐採を進めている現場で、2年前に実施した重機集材による伐採跡地と隣接している。重機集材で進めてきたが、いよいよ架線集材でなければ（効率的に）出せないという典型的な奥地化の現場である。

ドローンレーザー計測は、10月中旬に実施した。図2-2-1はその成果物の一つである。これを見るように、現地は尾根筋の林道から下るほど谷が狭く、鋭くなっていく袋状の地形で、エンドレスタイラー方式にも適した地形を呈する。

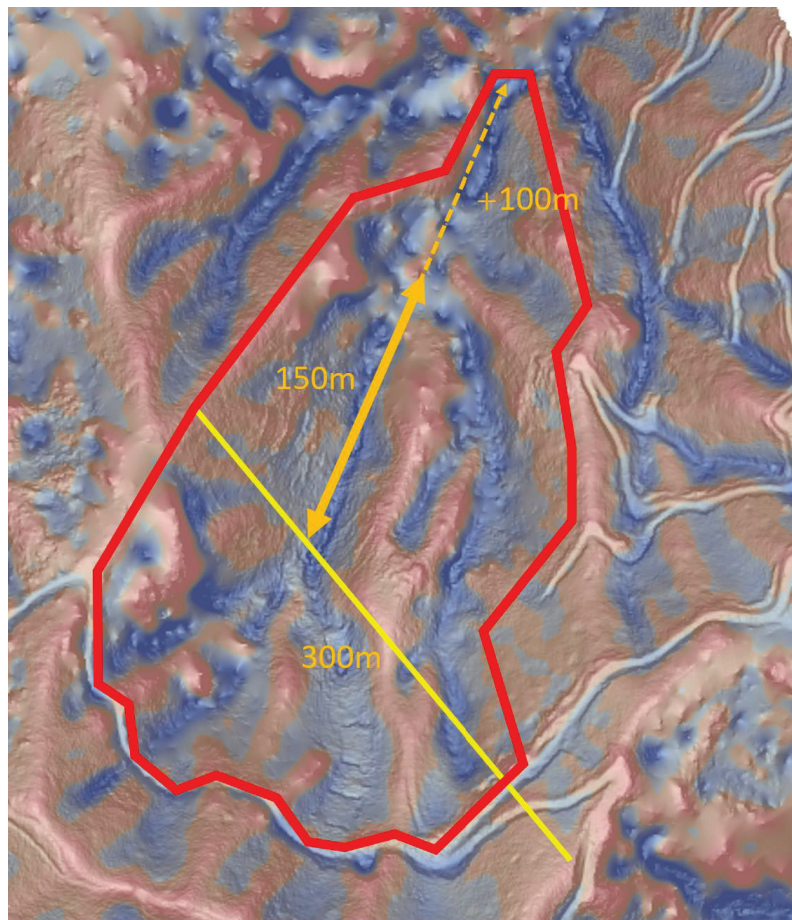


図 2-2-1 架線グラップルの実証試験地（CS 立体図）

主索は、袋状の谷を横断するように張られ、その延長は300mとなった。その結果、主索の線下高は深い所で50m程度、浅い所で30m程度となった。また、主索から谷の出

口までの最大距離は 250m 程度であったが、十分な線下高がとれたので、通常の架線集材ならば十分に横引きできる距離であり、実際にほぼ引き切った。



図 2-2-2 LAS データの立体表示による架線設計

④ 実証課題・目標の設定

実証試験を実施するにあたっては、事前評価における「通常の架線集材よりも 1 日あたり生産性が上がらない」という不満が強かったので、架線グラップルと通常のローチン（ローディング・ブロック）とを柔軟に併用することで、1 日あたりの生産性を下げずに架線グラップルと油圧集材機の利点を引き出せないか、ということ考えた。

県南で適地を見つけきらなかった理由と重なるが、架線グラップルは自重が 500kg と重いため、その分一度に吊り下げられる量が減り、また、空荷時のワイヤをたるませ、横引きが浅くなる。しかし、通常のローチン（玉掛け）と併用できれば、架線グラップルでは生産性が下がってしまうシーンも通常の架線集材と同等の生産性を発揮しながら 2 オペ化の恩恵を得ることができる。

このような考え方で生産性を下げずに新技術の強みである 2 オペ化と無人荷掛け・荷外しによる安全性向上を確保しつつ、さらに架線グラップルによる集材効率の向上をめざすことにした。

達成目標は、最低限のラインとして1日あたりの生産性（ $\text{m}^3/\text{日}$ ）を維持しながら2オペ化によって労働生産性（ $\text{m}^3/\text{人日}$ ）を上げることとし、今回の現場は経験的に1日あたり60～80 m^3 出せる現場と見込まれたため、目標労働生産性を30～40 $\text{m}^3/\text{人日}$ に設定した。



写真 2-2-8 実証試験地の全景

④ 結果

ア 現場作業の経過

10月中旬に油圧集材機を据え付け、しばらく架線グラップルの試運転を実施した後、ローチンに切り替えて通常の集材作業を実施した。その結果、ローチンへの切り替えは簡単な工具できわめてスムーズに行えることがわかった。所要時間は30分程度で、慣れれば20分程度で完了でき、作業工程のなかに十分加えることができるという感触を得た。これは、本事業の一つの成果である。

ローチンでの集材作業に際しては、荷掛けの作業員が掛け場までラジコンをもちこみ、荷掛け→退避→ラジコン操作という手順で実施した。一方、荷外しの作業員はプロセッサの作業員が兼務し、ラジコンで荷下ろし、手作業で荷外しを実施した。

これによって集材機の運転は無人化された。

2 オペ化で大きく変化するのは、集材機運転員の無人化に次いで、荷掛け前後の手順の変化が上げられる。通常ならば、集材機の運転員と荷掛けの作業員が無線で連携を取り、ローチンを掛け場まで誘導したり、吊り上げを誘導したりするが、それを新しいシステムでは荷掛けの作業員が自ら実施することができ、作業の精度が上がる。実際、掛け場の作業員からは「思い通りに動かせる」という声が聞かれた。ただ、その一方でしっかりと連携のとれた運転員と荷掛けであれば、最小限の言葉で的確にローチンを誘導することができるので、特別に良くなったとは思わないという声も聞かれた。

なお、ローチン玉掛けをしている際のトラブルとして、ラジコンの無線が切れるという現象がたびたび起き、やむなく掛け場にラジコンを持ち込まず、通常通り無線で荷上げを実施するという期間があった。この場合、集材機のラジコン担当を一人置き、荷掛けの無線指示に従ってローチンを操作し、引き上げるという作業を実施した。この場合、3 オペ体制となるので、新技術の省人化効果はなくなった。

その後、無線トラブルを解決した後、あらためて架線グラップルに切り替えて、線下とその周辺、さらには荷掛け作業に特に危険を伴う細い谷筋の集材作業を実施した。架線グラップルでの作業では、何よりも劇的な安全性の向上が確認された。特に細い谷筋での作業は、木から足を滑らせた数m下の谷底に落ちこちるような作業環境であったが、グラップルによって安全な位置から素早く作業を実施できていた。

また、習熟に関しては、当初はたどどしく、もどかしさを強く感じたが、徐々に慣れてくると、さまざまな工夫ができるようになり、作業時間が短縮されていった。例えば、2本の倒木を並べて

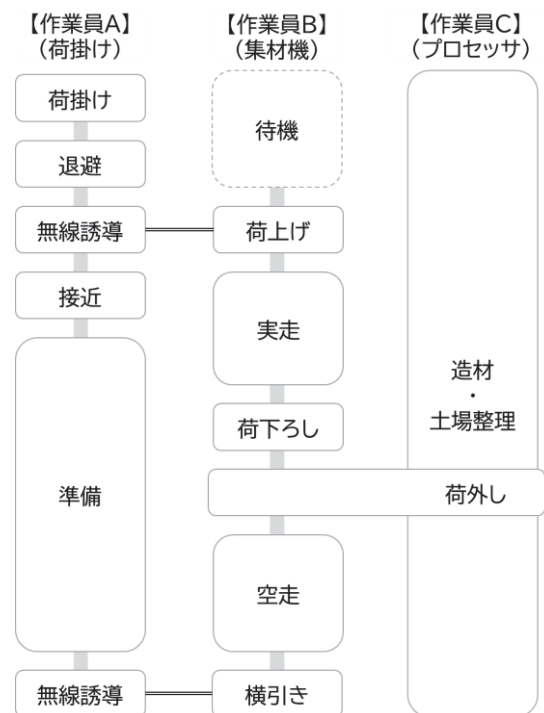


図 2-2-3 機械式集材機とローチン人力荷掛けによる作業工程（3オペ）



図 2-2-4 油圧集材機とローチン人力荷掛けによる作業工程（2オペ）

吊り上げたり、一度つかんだ倒木を離さず、甘噛みの状態でグラップルをスライドさせて狙った場所をつかみ直したり、生産効率を上げるための工夫が編み出された。

さらにその後、架線グラップルでは横引きが窮屈になり始めたあたりでふたたびローチンに戻し、2 オペによる玉掛け作業を実施した。ただ、後述するが横引きが深くなればなるほど、通常の機械式集材機と比較してローチンの走る速度が遅く感じられ、横引き距離 100m のあたりで、これ以上油圧集材機で集材し続けても生産性が上がらず、むしろ通常型と比べて明らかに下がると懸念されたため、横引きが 120m から先（最奥まであと 130m）はやむなく通常の機械式の集材機に戻して集材を続け、完了させた。

一方、現場ではその過程でいくつかのトラブルが起きた。先述の無線トラブルはその一つであるが、その他にもワイヤトラブル関係（ホールバックの乱巻き、ホールバックの控え柱の引き倒し）や故障（グラップルの旋回不良や油圧ホースからの作動油漏れ、ラジコンのアンテナの破損）が起きた。

ワイヤトラブルは、インターロックを入れたり切ったりした後、電源の On/Off がわからなくなり、その状態で搬器を走らせたため、ホールバック索が乱巻きを起こした。インターロックの状態が分からなくなる大きな原因は、2 人のオペの間でラジコンの操縦権のやりとりの際、前のオペがラジコンを Off にした際の状態と、次のオペがラジコンを On にした際の状態がずれてしまうことであった。また、トラブルが起きた際は、遠くの集材機の異常をすぐに察知できないため、トラブルへの対応が後れ、問題が大きくなり、復旧にかかる時間も長引く傾向があった。

また、油圧ホースのトラブルは、今回は直接的に架線グラップルが地面にあたって生じたものではなかったが、何度も当たっているうちに漏れやすくなったことは十分に考えられ、いずれにしてもトラブルを起こしやすい部位であると思われた。

ラジコンのアンテナ破損は、通常ローチンで人力荷掛けをしている際に発生した。荷掛けの作業員がラジコンを掛け場に持ち込んだり退避したりを繰り返すうちに、何かの拍子でアンテナに負荷がかかり、外れてしまった。

これらのトラブルや悩みは、いずれも新技術を導入したことに伴うトラブルであり、今後、本格的な現場普及をめざすうえの課題となる。

また、これは作業システム上のトラブルではないが、冬場は荷掛けの作業員が厳しい寒さにさらされるということを特記しておきたい。人力荷掛けの場合、荷掛けの作業員は常に動き続けるため、常にウォームアップされた状態を保つことができるが、ラジコン操作になると運動量が極端に減るため、耐え難い寒さに悩まされた。これは、ある意味で労働環境上の新たな問題であり、冬季においてはしっかりとした防寒対策を考えておく必要があった。

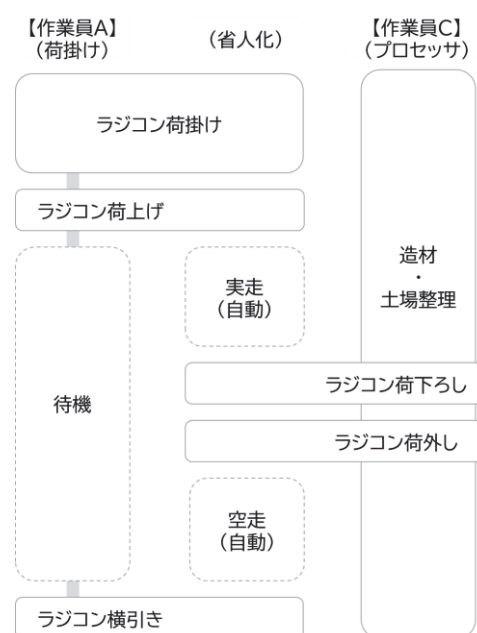


図 2-2-5 油圧集材機と架線グラップル荷掛けによる作業工程（2 オペ）



写真 2-2-9 ローチンへの切り替え作業



写真 2-2-10 ローチン人力荷掛けによる集材作業



写真 2-2-11 架線グラップルによる集材作業



写真 2-2-12 グラップルの旋回部分の緊急修理

イ 油圧集材機 2 オペ作業の工程分析

1) 生産性分析の目的

実証機の生産性についてより詳細に分析するため、油圧集材機と通常のローチン（ローディング・ブロック）での荷掛けを組み合わせた集材作業と、同じく油圧集材機と架線グラップルを組み合わせた集材作業の双方について時間観測を行い、分析および比較を行った。時間観測はビデオカメラを用いて搬器の映像を記録し、記録した映像を当日のメモと突合しつつ後日に解析して、一連の作業を要素作業に区分した。また、GNSS 受信機を搬器にとりつけ、搬器、ブロックの移動を記録した。

2) 調査と分析の概要

ローチンを使用した作業（以降、従来式と称する）の観測は 2023 年 11 月 7 日に、架線グラップルを使用した作業（以降、グラップル式と称する）の観測は 2023 年 11 月 30 日にそれぞれ行った。

観測した作業は巻き上げ、空走行、引き出し、荷掛け、荷上げ、実走行、荷下ろしの各要素作業に区分した。それぞれの作業時間の区分は以下のとおりとした。

巻き上げ…	材を解放したフックを巻き上げる時間
空走行…	土場から先山まで搬器を移動させる時間
引き出し…	搬器が先山に到着して最初に停止してから荷掛け位置までフックを移動させる時間
荷掛け…	荷掛け手がローディングフックをつかんでワイヤーを材にかけ、ローディングフックが動きはじめるまでの時間
荷上げ…	材を搬器位置まで引き上げる時間
実走行…	搬器が先山から土場まで移動する時間
荷下ろし…	荷上索を緩めて材を搬器から下ろし、ローディングフックとチョーカーを切り離して、フックが再度動きはじめるまでの時間

このほか、実搬器が土場に到着したときにプロセッサが造材中であり、安全に荷下ろしが可能になるまで待機していた時間、休憩、昼休みなどの余裕時間、待機時間があつたが、これらの時間は生産性の計算からは除外し、今回は PMH(Productive Machine Hours)を利用して生産性を求めた。

なお、グラップル式においては荷掛け作業ではなくグラップルで木材をつかむ作業となるが、表記の簡便のために「荷掛け」の表現で統一する。また、GNSS により記録した移動距離と各要素作業の作業時間を照合して、搬器の移動速度や横取りのための索引き出し、巻き上げ速度を計算した。

集材量については集材機により集材された材は翌日に持ち越されることなく造材されていたことから、プロセッサの造材記録を用いて観測日当日の集材量を求めた。

3) 観測結果

（全体の生産性）

1 日の作業時間は従来式の日が 6 時間 11 分 43 秒 (22, 303 秒)、グラップル式が 5 時間 23 分 22 秒 (19, 402 秒) であった。従来式作業の日の集材サイクル数は 53 サイクル、平均 420.8 秒であり、グラップル式作業のサイクル数は 57 サイクル、平均サイクルタイムは 340.4 秒であった。

一方、集材された材の本数、材積は従来式作業で 112 本 51.7m³、グラップル式で 83 本 44.2m³ であった。作業に関与した人数は従来式で 2 名とプロセッサ兼務で 1 名

の合計 2.5 名、グラップル式は 2 名であった。したがって、班としての生産性は従来式が 50.1 m³/日、グラップル式が 49.2 m³/日であり、1 人日あたりの労働生産性では従来式が 20.0 m³/人・日、24.6 m³/人・日であった。

(要素作業ごとの分析)

要素作業ごとの 1 サイクルあたり平均作業時間は図 2-2-6 に示すとおりとなった。それぞれの要素作業ごとに見ると、従来式からグラップル式への移行により作業時間が短縮された要素作業が巻き上げ、荷掛け、荷上げ、荷下ろしであり、逆に搬器の空走行と実走行の作業時間は増大していた。引き出しの作業時間には両者で有意差は見られなかった。

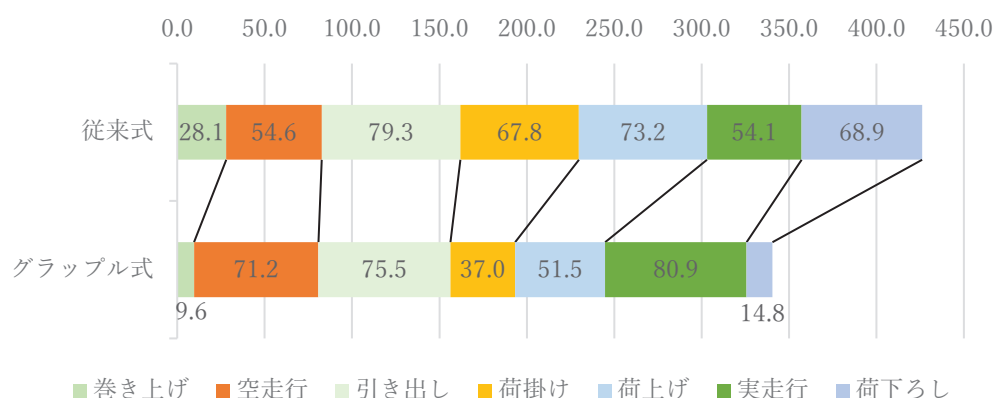


図 2-2-6 要素作業ごとの平均作業時間

空走行、実走行は搬器の移動、引き出しと荷上げはローディングブロックまたはグラップルの移動をとるため、作業時間はその移動距離に影響を受けることになる。そこで、空走行および実走行の作業時間と搬器移動距離との関係、引き出し時間および荷上げ時間と横取り距離の関係について分析した。

空走行の距離と時間の関係、および実走行の距離と時間との関係は図 2-2-7、図 2-2-8 に示すとおりであった。相関係数は低いものの、走行速度を算出してその分布をみると、ヒストグラムは空走行が図 2-2-9、実走行が図 2-2-10 のようになり、正規分布に近い形になっていた。空走行では従来式とグラップル式の速度に有意差はなく、実走行では両者に有意差がみられた ($p < 0.001$)。平均速度は従来式が空走行 2.4m/s、実走行 2.5m/s であり、グラップル式は空走行 2.5m/s、実走行 1.9m/s であった。

次に横取り距離と引き出し時間、荷上げ時間との関係をみると、図 2-2-11、図 2-2-12 に示すような関係が得られた。いずれも相関は見られなかった。搬器の走行と同様に速度を基準にして分析してみると、索の引き出し速度、荷上げ速度ともに従来式のほうが有意に速く、引き出し速度は従来式が 0.90m/s、巻き上げ速度が 0.97m/s であるのに対し、グラップル式の引き出し速度は 0.36m/s、巻き上げ速度が 0.30m/s であった。(図 2-2-13、図 2-2-14)

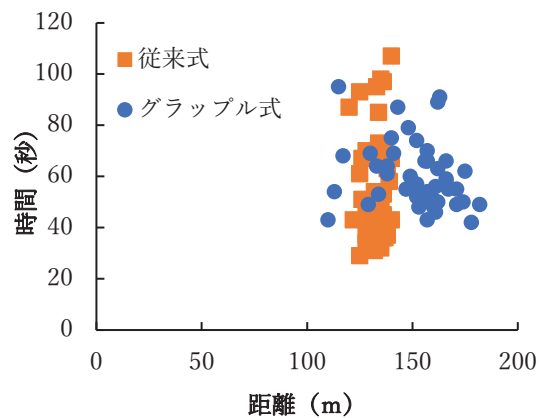


図 2-2-7
空走行距離と時間の関係

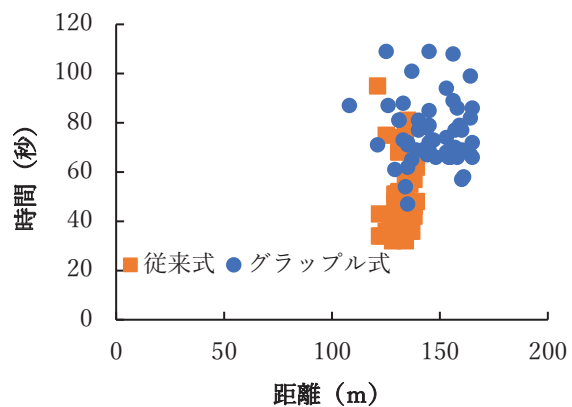


図 2-2-8
実走行距離と時間の関係

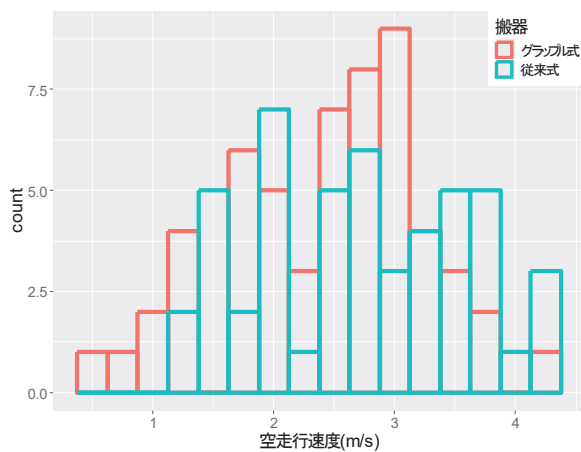


図 2-2-9
空走行速度の分布

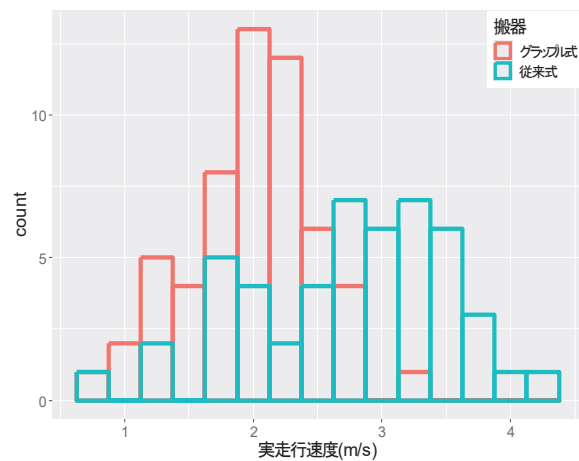


図 2-2-10
実走行速度の分布

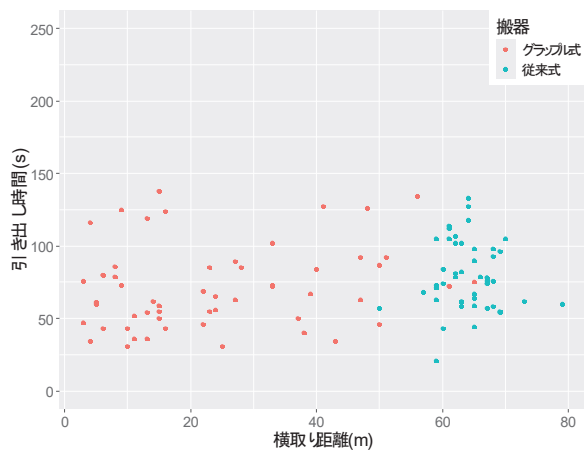


図 2-2-11
横引き距離と引き出し時間の関係

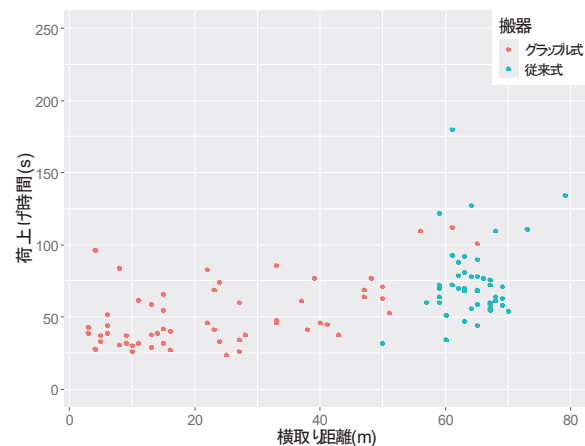


図 2-2-12
横引き距離と荷上げ時間の関係

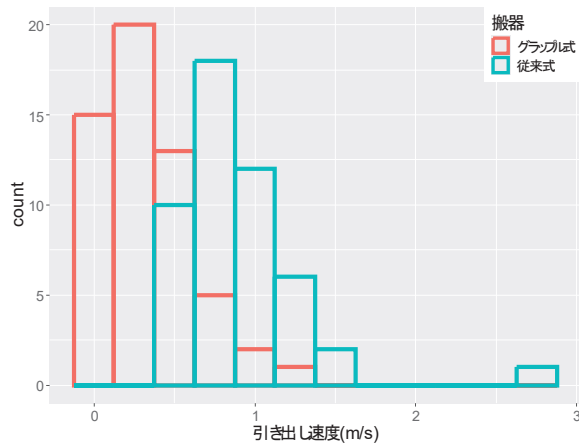


図 2-2-13
引き出し速度の関係

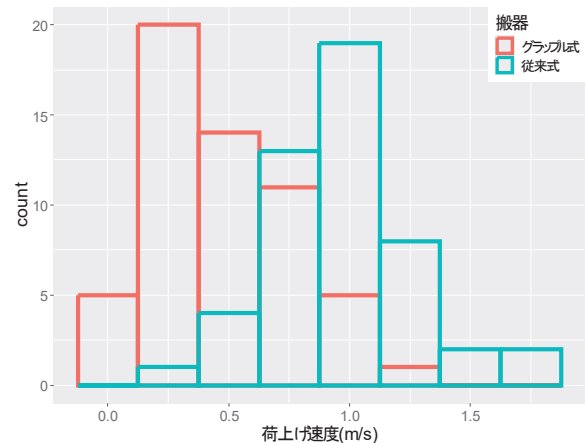


図 2-2-14
荷上げ速度の関係

4) 油圧集材機による集材作業の考察 (移動をとまなう作業に関して)

以上のように要素時間分析の結果は、班としての生産性は従来式とグラップル式でほとんど変わらないものの、人あたりの労働生産性では約 20%向上するというものになった。ただし、作業の進行にともない、従来式と比較するとグラップル式の観測時には(1)搬器の走行距離が長くなり、(2)横取り距離は短くなった、という差があった。

速度で分析すると、空走行および実走行の速度から、グラップル機構の重量自体は移動速度への影響はないと言える。グラップル式の実走行で速度が低下したのは、スリングによる吊り下げと比較してグラップルによる固定が不安定であり、特に土場周辺で材が地表に激突して脱落することを防ぐために速度を落としての走行が多かったことによるものと思われる。

横取りに関する 2 つの要素作業については、どちらもローチン／グラップルの速度が大幅に低下した。索の引き出し時に、従来式ではローチンを集材したい材の近くまで降ろせば、あとは荷掛け主が手作業で誘導できる。しかしグラップル式ではグラップルを集材したい材の位置に正確に降下させる必要があり、その位置調整に大きく手間取っていたのが速度低下の原因と思われる。

荷上げにおいては実走行と同様、吊り下げた材が地表に激突することを防ぐためや、重なっている伐倒木から 1～2 本だけを抜き出して横取りするときに時間を要していたものと推測される。

ただし、引き出し速度および荷上げ速度と横取り距離との関係をみると図 2-2-15、図 2-2-16 に示すとおり、引き出し、荷上げとも従来式、グラップル式をあわせて相関があるように見える。Spearman の順位相関係数はグラップル式の引き出し・荷上げ両作業、および両方式をまとめて分析したときの両作業において、順位相関係数は 0.75 以上の値を示し、0.5%有意水準で有意な相関があった。すなわち、「遠い距離ほどブロックやグラップルが速く移動する」という結果が得られている。このことは、材を吊り下げる、あるいはつかむための、フックやグラップルの正確な誘導に固定的な時間を要していること、グラップル式の観測時には線下高が約 50m あっ

て横取り距離が短いほど上下動の影響が大きかったことなどが原因であると考えられる。

グラップル式における横取り距離と速度の関係式は引き出し速度 v_p [m/s]、荷上げ速度 v_l [m/s]、横取り距離 L_b [m]に対して下記のとおりであった。

$$v_p = 0.01291L_b + 0.05270$$

$$v_l = 0.01242L_b + 0.1748$$

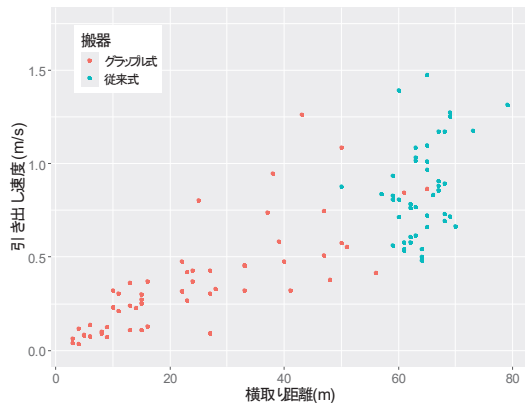


図 2-2-15

横取り距離と引き出し速度の関係

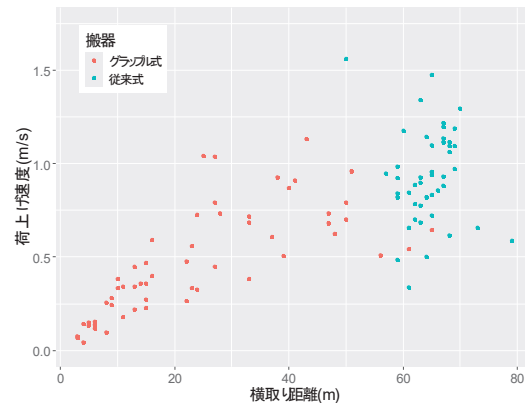


図 2-2-16

横取り距離と引き出し速度の関係

(移動しない要素作業に関して)

一方、集材距離、横取り距離の影響を受けない巻き上げと荷下ろしの作業時間は大幅に短縮された。従来式では荷外し手が降下した材に接近してローディングフックを解放し、さらにスリングも外す、という作業であり、しかも材の下敷きとなっているスリングを外す作業には時間を要することが多かったが、グラップル式ではリモコン操作によりグラップルの爪が材は解放するだけの作業となり、作業の能率と安全度の双方が大幅に向上した。また、従来式ではスリングを材の下から抜くのに難渋してしばしばプロセッサ運転手の支援を受けていたが、これが解消されたことが労働生産性の観点からは大きいと思われる。

もう一つの距離の影響がない要素作業である荷掛け作業についても、作業時間は大幅に短縮された。本作業は荷掛け手が材に接近し、材の下部にスリングを通してローディングフックに吊り下げ、さらにその後安全な箇所まで待避してから荷上げにかかっていたものが、グラップルが材に接近し、つかんだら直ぐに荷上げ作業に移行する、という作業に変わったことで大幅に時間が短縮したものと考えられる。なお、つかむ木材の狙いをつけるためにグラップルを精密に移動させる必要があるが、この作業については本分析では荷掛けではなく引き出し作業の範疇に含まれているため、「つかむ」難しさは荷掛け作業には影響していない。

(まとめ)

本成果より、サイクルタイムの予測式は、従来式が

$$CT = \frac{L_c}{2.4} + \frac{L_c}{2.5} + \frac{L_b}{0.90} + \frac{L_b}{0.97} + 164.8 = 0.82L_c + 2.14L_b + 164.8$$

であり、グラップル式は

$$\begin{aligned} CT &= \frac{L_c}{2.5} + \frac{L_c}{1.9} + \frac{L_b}{0.01291L_b + 0.05270} + \frac{L_b}{0.01242L_b + 0.1748} + 61.4 \\ &= 0.93L_c + \frac{L_b}{0.01291L_b + 0.05270} + \frac{L_b}{0.01242L_b + 0.1748} + 61.4 \end{aligned}$$

なる式が得られた。ただし、 CT ： サイクルタイム(秒)、 L_c ： 搬器走行距離、 L_b ： 横取り距離、である。これに運搬能力として 1 サイクルあたりの集材材積、すなわち従来式 $0.98\text{m}^3/\text{サイクル}$ 、グラップル式 $0.78\text{m}^3/\text{サイクル}$ を加味して、従来式の生産性予測式は

$$\frac{0.98}{0.82L_c + 2.14L_b + 164.8} \times \frac{3600 \times 6}{2.5} = \frac{8467.2}{0.82L_c + 2.14L_b + 164.8} [\text{m}^3/\text{人日}]$$

であり、グラップル式の生産性予測式は

$$\begin{aligned} &\frac{0.78}{0.93L_c + \frac{L_b}{0.01291L_b + 0.05270} + \frac{L_b}{0.01242L_b + 0.1748} + 61.4} \times \frac{3600 \times 6}{2} \\ &= \frac{8424.0}{0.93L_c + \frac{L_b}{0.01291L_b + 0.05270} + \frac{L_b}{0.01242L_b + 0.1748} + 61.4} \\ &[\text{m}^3/\text{人日}] \end{aligned}$$

と示された。

これを図にあらわすと図 2-2-17 に示すとおり、横取り距離が短いときにはグラップル式が有利となるが、横取り距離が長く、あるいは走行距離が長くなると従来式のほうが有利となることが明らかとなった。

ただし、集材作業の生産性のみを求めているため、造材作業との兼務であったプロセッサオペレータの労働力 0.5 人分は余剰となり、班としての生産性は結局向上しないことになる。また、現場作業員の聞き取りによると 2 名作業では引戻索の張

替えが困難であり、3名での作業はどうしても必要になるという。したがって、実証機の導入によりコストダウンを目指すためには、生産システムを根本から考えなおし、本機に適合した集材作業システムを構築する必要があると考えられる。

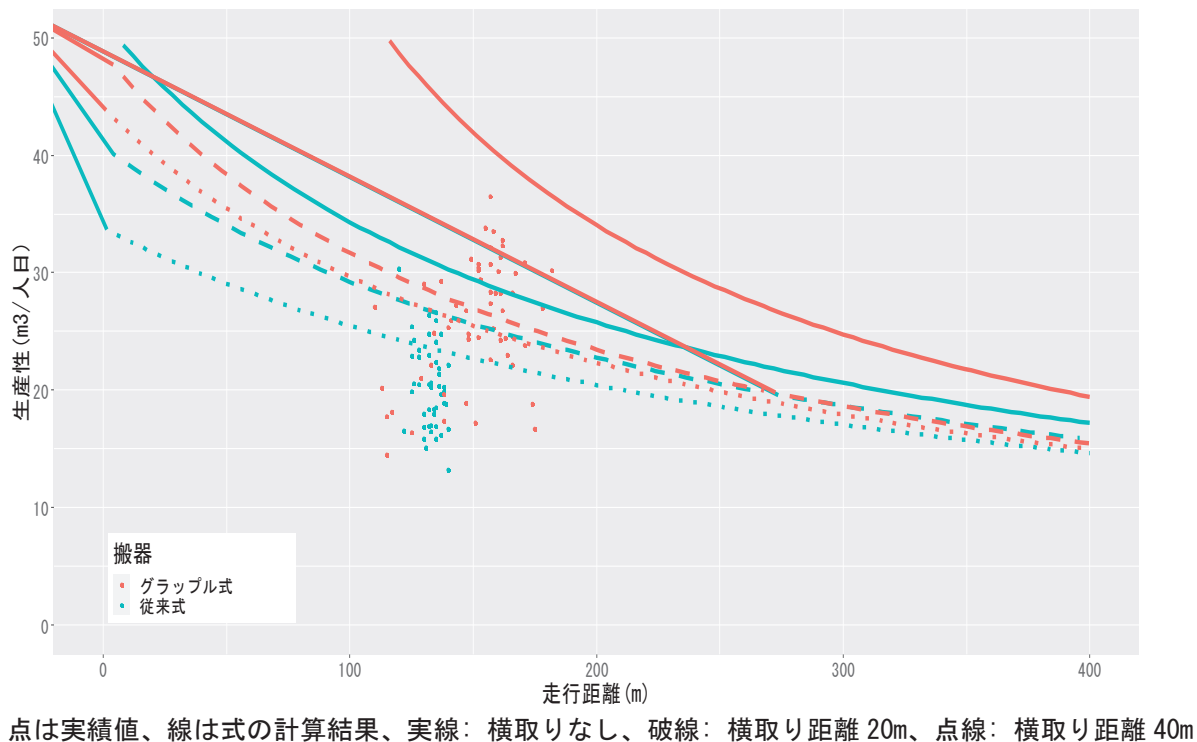


図 2-2-17 搬器の走行距離および横取り距離と生産性との関係

ウ 機械式の集材機との比較

今回の実証試験では油圧集材機による架線グラップル荷掛け（グラップル式）と、ローチン人力荷掛け（従来式）とについて要素作業分析を実施し、精密な比較分析を実施した。その結果、横引きが近ければ近いほど両者の差はなくなり、ほぼ同等の生産性を発揮するという知見が得られた。また、両者は、架線グラップルは荷掛け・荷外しは早いが、一度に複数本の木材を運べない。逆にローチン荷掛けでは荷掛け・荷外しには時間がかかるが、一度に複数本の木材を運べる。それぞれの弱みを、それぞれの強みで補い、結果としてほぼ同等という結果である。

その一方で、今回の現場では通常の機械式集材機とローチン荷掛けを組み合わせた作業も（やむなく）実施した。その際、得られたデータも含めて3者を比較したのが表 2-2-2 である。

このように、機械式集材機での作業は、集材機の運転員も含めた3オペで実施され、1日あたりの生産性は75 m³程度で、当初の想定通り最奥の250m先まで横引きに入ることができた。

表 2-2-2 機械式集材機も含めた生産性等の比較

項目	従来 (機械式・ローチン)	新技術（油圧式集材機）	
		ローチン	架線グラップル
作業員の人数	3 人	2 人	2 人
1 日あたりの生産量	75 m ³	60 m ³	35～60 m ³
労働生産性	25 m ³ /人日	30 m ³ /人日	17～30 m ³ /人日
横引き可能な距離	250m	250m	100m 程度
空荷走行（下り）	速い	やや遅い	遅い

機械式集材機と油圧式集材機とでローチン荷掛けを比較すると、2 オペ化によって油圧式の労働生産性が 30 m³/人日となり、従来の機械式の 25 m³/人日に対して約 20% 上昇する。労働力不足に悩む林業の現場では、労働生産性は重要な指標であり、20% という改善効果は非常に大きい。油圧集材機の狙い・コンセプトがきちんと結果を出したということができよう。

しかし、1 日あたり生産量は逆に 75 m³ から 60 m³ へと 20% 減少しており、現場からはこの点を「物足りない」という評価の声が大きかった。減少の理由は明らかで、空荷走行の遅さである。機械式の集材機であればドラムをフリーにでき、上げ荷であれば帰りは搬器やローチンが重力の助けを借りて滑走することができる。それに対して油圧集材機では、ドラムがフリーにならない構造であるため、帰りも油圧をかけて引っ張るかたちでしか搬器やローチンを動かせない。両者の差は、搬器 1 往復分はわずかだが、1 現場でみると搬器を数百、数千も往復させるため、徐々に累積され、最後は大きな違いとして現れていると考えられる。

1 日あたりの生産性が上がらないと、単純に考えれば、新技術を導入しても直接的には売上が増えないということを意味する。

架線グラップル導入は、2 オペ化によって 1 人分の人件費を節約する一方で、新たな機械代をかけることになる。そのコストは、削減された人件費を約 2 万円とすると、新たに追加される機械代は少なく見積もっても 3 万円はかかるため、基本的にはコスト増となる。

したがって、新たにコストを追加する分、売上が増やさなければペイさせられないが、1 日あたりの売上が減少してしまうとそれも厳しい、ということになる。実証試験の前に実施した架線集材に関する実態調査では、事業体が 1 日あたりの集材量の減少を危惧する声が上がっていたが、それはまさに今回のような結果を予見し、鋭く指摘したものといえよう。

また、図 2-2-18 は、従来からの機械式集材機での架線集材と、油圧式架線集材機での架線集材、そして重機（路網）集材との生産性を模式的に比較したものである。重要なのは曲線のかたちで、生産性の値ではない。奥地度合（傾斜や狭隘さ、アク

セスの悪さ) などが高まると、それぞれの集材方法の生産性がどのように変化する
か、そのパターンを示したものである。

まず、奥地度合が低い場合、つまり傾斜が緩慢な場合、架線集材では線下高が稼
げないため作業効率が上がり、重機集材の独壇場となる。しかし、徐々に奥地度
合が増していくと重機集材の効率が落ち始め、変わって架線集材の生産性が高まる。
ただ、油圧式集材機のほうは、架線グラップルの自重のハンデがあり、令和4年度
の現場がそうであったように、傾斜が緩慢なうちは生産性が上がりにくい。そのた
め、通常の架線集材よりも油圧式のほうが生産性が低くへばりついている。

しかし、奥地度合が増していくと、油圧集材機が生産性が一気に上がる。これは、
本年度の実証結果がそうであったように、2オペ化によって油圧集材機が生産性が
上がることを根拠としている。ただ、それは長くは続かず、さらに奥地度合が進む
と（この場合は横引きの距離が延びるようなケースを想定）通常の架線集材との再
逆転現象が起きる。

このように油圧集材機のシステムはピーキーな曲線として描かれる。有利なゾー
ンが狭く、汎用性があるというよりは限定的であり、つまり、場所を選ぶシステム
としての特徴を表している。

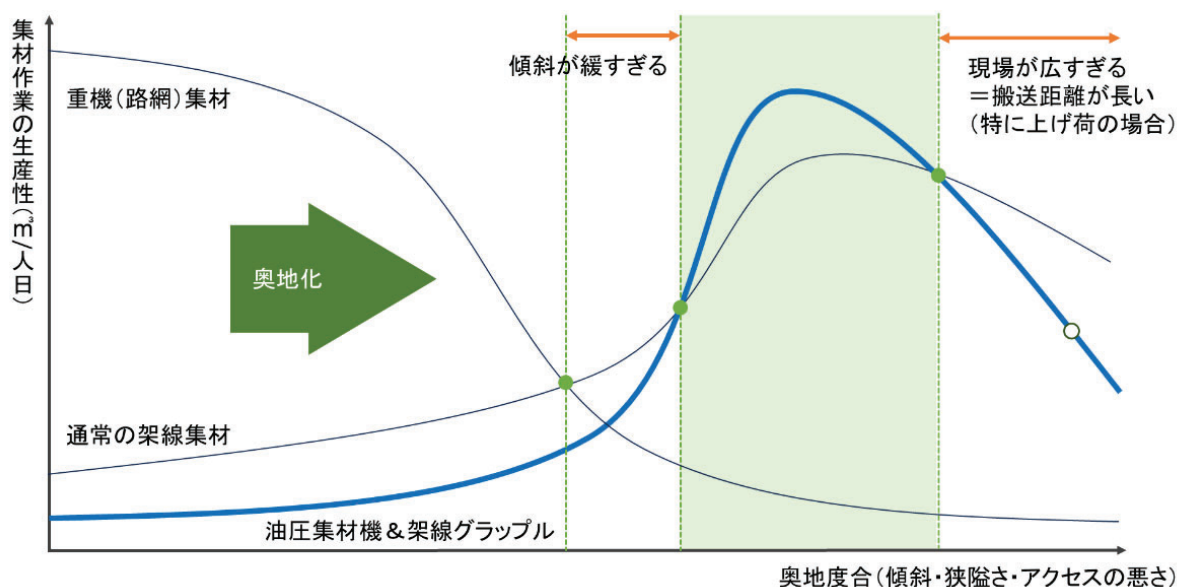


図 2-2-18 奥地化に対応するための集材作業システムの転換仮説

⑤ 評価

以上のような実証試験の結果と検証をふまえて、油圧集材機と架線グラップルに
ついて総合的に評価する。

（安全性向上は疑いない）

第一に、架線グラップルによる労働安全性の向上・軽労化については疑うべきと
ころはなく、素晴らしい技術であるといえる。今回は、架線集材に慣れた作業班に

よる実証であり、荷掛けを特に苦としない作業員に新技術を体験してもらったが、そのような辛口モニターからも「画期的」という評価が聞かれ、「架線集材の未来形になっていくのだろう」という声が聞かれた。このような安全・軽労化への評価は、作業員の経験が浅ければ浅いほど大きくと予想でき、本事業の目的である「架線集材の再導入」というシーンにおける有力な選択肢になりうると評価したい。

（線下周辺は架線グラップルで集材すべき）

また、課題であった架線グラップルの操縦についても、数週間か遅くとも1カ月も連続的に扱えば十分に習熟できる見通しが得られ、特に線下やその周辺の横引きの浅い場所であればローチン荷掛けに遜色ない生産性を発揮できることがわかった。

仮に、どんなに条件を変えても架線グラップルはローチン荷掛けに敵わないという結果になっていたら、架線グラップルは架線集材の安全対策と割り切って導入するしかなかったが、今回の実証を通じて特に線下やその周辺についてはローチン荷掛けよりも架線グラップルのほうを有利な生産システムとして積極的に使用すべきということが確認された。

（ローチンとの併用で稼働領域を拡大）

その一方で、横引きが深くなればなるほど、逆にローチン荷掛けに対して不利であることも決定的となったが、それと同時に、架線グラップルとローチンとは二者択一ではなく、併用可能であることを実証できた。架線グラップルはその自重が重荷となり、横引きが苦手というハンデを負っているが、ローチンと柔軟に組み合わせることで、ハンデを軽くし、稼働可能領域を拡大できるという見込みが得られた。

（普及への課題は1日あたりの生産性）

しかしながら、通常の機械式集材機と比較した際、労働生産性においては確かな改善がみられたものの、1日あたりの生産量（売上）という指標でみると逆に悪化し、架線集材に慣れた事業体にとっては物足りない結果となった。

架線集材は、ある種の完成された技術体系であり、償却切れの機械が現役で活躍していることも含めて無駄がない。そこに、架線グラップルのような新技術を導入する際は、基本的には新たなコストが追加される状況になるため、1日あたりの生産量が伸びないとコストを取り返す見通しが立たない。今回、試験地の選定が難航したのはまさにこの点を事業体が危惧していたからであり、実際、残念ながらその通りの結果となってしまった。

したがって、架線グラップルの普及を図るうえでは、いかに1日あたりの生産量を増やすかが不可避の課題となる。では、どのような対策が考えられるか。

（2オペ化で浮いた1人の有効活用）

まず考えなければならないのは、省人化した1人分の労働力をいかに活用し、売上増につなげるかである。すぐに思いつくのが、集材作業と並行して浮いた1人が土場整理や伐倒などの伐出作業の補助か、線下へのグラップル（重機）木寄せ、あるいは造林作業などを実施するというアイデアである。

2オペ化によって1人分浮くと、それを別の現場に投入するという考えもあるが、架線集材の現場にはホールバック索の張り替えなど2人ではさばき切れない作業がある。そのことを考えると、常時3人体制を維持することも必要である。そのとき、浮きがちな1人に何をさせるか。そしてそれをどのように架線グラップルの生産性向上につなげるか。つまり、浮いた1人をうまく活用し、架線グラップルによる集材作業を加速させるための方法論をいち早く確立することが求められる。

（新技術へのシステム適応）

また、その際は架線グラップルを従来からの機械式集材機を単純に代替する機械としてではなく、まったく異なる新技術として捉え、応用する発想が重要になる。作業現場を観察していると、今回の新技術でなければならない作業がいくつも見いだされた。例えば通常の架線集材の場合、荷外しの安全性を確保するため、荷掛けから荷外しまでを連続的に実施することを基本し、土場に木材を貯めこまないが、架線グラップルの場合は荷外しの自由度が高いため、造材とは別に集材作業を独立させ、「先行集材」ともいうべき作業が可能である。そして、雨天時や早朝・夜間の作業も可能であるため、そのような時間帯を活用して土場や線下などにあらかじめ「先行集材」しておけば、架線グラップルの工程でボトルネックを作らず、全体の作業効率を上げられるかもしれない。新技術の導入現場では、このような新しい技術に作業システムのほうを合わせ、最適化を試みるような努力も求められる。

（架線グラップルは誰のため？）

以上、架線集材を得意とする事業体に架線グラップルを導入するケースについて中心に実証し、検討してきたが、「1日あたりの生産量」が大きな壁となり、簡単には普及しないと予想される。

ただ、それは架線集材の熟練した事業体にとってである。本事業で想定している、いったん架線集材を手放したが、奥地化対策として再導入を検討しているような事業体にとってはどうだろうか。

図 2-2-18 で模式的に示したように、奥地化が進むと重機集材が不利になり、それに代わって架線集材が有利になる。また、重機集材の事業体にとって架線集材の再導入は、フォワードとグラップルを集材機と架線グラップルで代替する格好になるので、機械式の集材機を代替するのと比べるとコストの差も生まれにくい。また、高度な熟練の求められる集材機の運転が不要であり、また、荷掛けの作業員を過酷な作業に従事させずに済むので、人的なハードルも低い。したがって、重機集材からの転換という意味では、今回の新技術は本事業の狙いどおり奥地化対策の一つになりうると考えられる。

しかし、重機集材から架線グラップルに切り替える場合、考えておかなければならない課題が2点出てくる。一つは、架線集材を再導入するにしても架線グラップルがベストか、ということである。令和4年度の現場で実感したように、架線グラップルはエンドレスタイラー方式であるため、大規模な現場にフィットし、逆に中小規模の現場にはフィットしにくい。その点でいえば、特に奥地化が問題になっている県南では、所有規模も小さく、大きな峡谷もないので、エンドレスタイラーに適した現場は限られる。架線集材を導入するにしても、一足飛びにエンドレスタイラーではなく、その中間にスイングヤードやタワーヤード、あるいはウインチアシスト方式などについても検討しておく必要があるだろう。

そのうえで、架線グラップルを導入する際には、確かにラジコン操作によって集材機の運転や荷掛けについてはハードルが下がっているが、架線架設技術については変わらず熟練が求められ、場合によっては難易度が若干上がる。これについては、デジタル技術で架線の設計は支援できるかもしれないが、架設作業は体で覚えていくしかない部分もあり、架線架設技術者をいかに育成するかが次の課題になる。

(3) ドローンによる造林作業の実証

① 実証課題・目標の設定

架線集材後の奥地での再造林を想定して、大型ドローンによる資材運搬作業を実証した。ドローンは農業用大型ドローンを林業用途に転用した。それにより高いコストパフォーマンス（一式価格 360 万円）、高い操縦性（レーダーによる障害物回避、RTK 誘導）、そして余裕のあるペイロードによって、安定的で多用途の運用ができるかを実証した。

実証用ドローンとしては、DJI 社製の Agras T30 を導入した。同機は農業用で、農薬散布機であるが、講習済みの同機のオペレータには物件投下と夜間飛行が認められており、特に物件投下については林業用途においても役に立つシーンがあると考えられる。

AGRAS T30



写真 2-2-13 今回導入した大型ドローン（DJI Agras T30）

また、資材運搬用ドローンに関しては、設備投資でもあるため、きちんと償却をかけることが重要になるが、森林組合のような専門的な造林事業体であれば損益分岐点を超える事業量を扱うことも可能であるが、伐採をメインとする素材生産業者が主に自社伐採跡地への造林を行う場合は採算ラインに乗せるのは容易でない。

そこで、本事業では多用途な農業用ドローンに着目することで、単に苗木やシカ柵資材の運搬だけでなく、将来的には架線資材や山間地農業での農薬散布業務への展開も含めて総合的に採算ラインに乗せていくことを模索することとした。

② 実証作業の設計

実証作業は、架線グラップルの実証主体となった有限会社抜屋林業において実施した。実証試験地は、架線グラップルの現場とは異なる現場に設定した。現場は日之影町大字岩井川に所在する約 1 ha の伐採跡地で、路網を入れたスイングヤード集材の現場で、傾斜は厳しく、苗木及びシカ柵資材の搬入に骨の折れる現場をあえて

選んだ。

実証作業に着手するに先立ち、栃木県において T30 を使った造林作業を数多く手掛けている株式会社ジャパンアグリサービスから抜屋林業従業員と事務局が事前講習を受け、また、同社による現地指導を受けながら苗木 2,000 本とシカ柵 400m の搬入作業を実施した。

なお、今回導入した T30 は、当初は栃木県の株式会社ジャパンアグリサービスからレンタルする方向で調整していたが、抜屋林業が令和 5 年度末の宮崎県の補助金を活用して同機を購入することが決まり、実証に間に合うかたちで納品されたため、レンタル機材の中から T30 のみを外し、精密誘導のための RTK 機器や解析用パソコン及びソフトウェアを借りて実施した。

T30 は、低空飛行をしながら広い農地に均等に農薬を散布するため、高度な自動航行プログラムを有する。ドローンは RTK 基地局と交信しながらあらかじめ計画された正確に位置を飛ぶ。林業用の資材運搬においては、基本的には目視によるマニュアル操縦で飛ばすので、RTK 基地局との交信は必須ではないが、この機能を応用することで正確な位置に資材をデポすることができる。オペレータは目視でドローンを飛ばしながら同時にプロポの光点をみながらデポ予定地点にドローンを寄せられる。

今回の実証試験では、やみくもに苗木や資材を置いていくのではなく、どれくらいの量をどこに置くかを計画し、そのとおり実行することを心掛けた。

なお、デポ地点の計画は、今回の実証現場の 0.2ha ほどを対象に、苗木を正確に正三角形の格子状に植栽することを想定し、25 本入りの苗木袋がちょうど尽きる地点で、次の苗木袋が現れるように設定した。また、正三角形の格子状区域に関しては、苗木は作業員を RTK 誘導で植栽ポイントまで誘導することとした。



写真 2-2-14 実証試験地における Agras T30

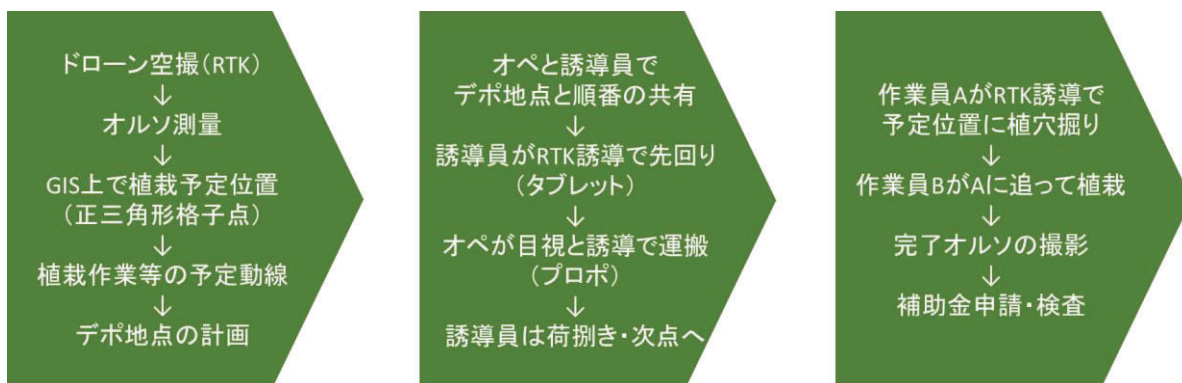


図 2-2-19 RTK 精密誘導による再造林作業のワークフロー

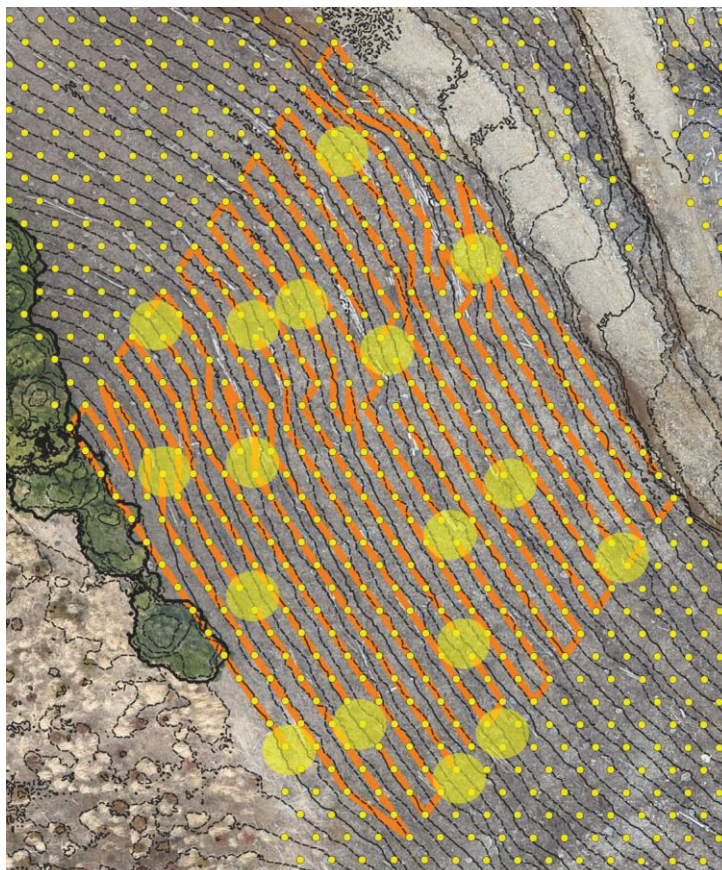


図 2-2-20 正三角形格子状の植栽ポイントと動線・デポ地点

③ 実証結果

ドローンによる資材運搬は3人一組で実施し、ドローンを操縦するオペレータと、荷掛けとバッテリー交換を担当する作業員、そして先山でドローンをデポ地点に誘導し、余った袋を別のデポ地点に配り直す作業員の3人で実施した。

第一に、ドローンを導入したことで圧倒的な生産性の向上がみられた。抜屋林業では通常であれば25本入りの苗木袋を1人2～3袋担いで5～6人で一斉にデポ作業を実施し、それに1haあたり2～3時間程度費やしている。

それに対して今回の実証では、苗木袋2本（合計15kg程度）をドローンが吊り下げ、約70m先の傾斜40度強の斜面にあるデポ地点周辺に飛び、タッチダウンして帰ってくるという作業を2～3回繰り返して、バッテリーを交換するところまでを1サイクルとしたところ、1サイクルおよそ5分強で実施できた。2,000本（80袋）の運搬を90分程度で完了した。

今回は、造林地が狭く、ドローンの航走距離が短かったこともあるが、それでも通常の人肩運搬と比べて3倍近く生産性が向上した。また、重量物を担ぎながら急傾斜地を這わなくて良いため、劇的な軽労化が達成された。

一方で、精密デポに関しては、ドローンがあまりに早すぎるため、先山の誘導員の位置取りが間に合わず、デポ予定地点にドローンを精密に誘導するよりも、付近につきつぎに降ろしていくかたちとなった。誘導員がデポ地点に正確にドローンを誘導するためには、RTKと接続したタブレット等で自分の現在地を確認しながら位置取りする。しかし、RTK測位とはいえ現在地のピンが安定するまでには一定の時間が必要で、位置取りが定まる前にドローンが到着してしまうという状況になった。

ドローンを上空で待たせてしまうとバッテリーの効率的な利用上問題が大きい。RTK精密誘導に拘り過ぎるとその分バッテリー消費を早め、ドローンによる運搬差作業自体の効率を下げてしまう。そのため、今回はピンポイントで苗木等を降ろすことについては妥協し、先山の誘導員が大体の場所に先回りし、ドローンが接近次第、次々と誘導していくこととした。

このように、ドローンによるピストン輸送があまりに早かったので、現場では先山に誘導員をもう一人増やし、2人の誘導員に交互に苗木を送り込むというワークフローが効率的ではないかというアイデアが出された。

なお、ドローンをRTK誘導することも可能であるが、今回は先山の誘導を優先させた。抜屋林業のランシーバーでは同時会話ができなかったため、誘導員とドローンの操縦者とのコミュニケーションが十分にとれず、誘導の権限者がわかりにくく、混乱が生じた。ドローンはRTK誘導だけでは安全に飛べない。そこで、先山の誘導に主導権をもたせ、航行の安全を図った。

また、シカ柵資材を20kg弱のパッケージにして運んだり植穴ドリルを運んだり、さまざまな資機材を問題なく運ぶことができた。そして、大型ドローンゆえのペイロードに余裕があれば、一つ20kg超の架線資材の運搬など今後の多用途利用への確信が得られた。

ドローン運搬後は、RTK誘導によって正三角形の格子状に植栽する作業を実施した。しかし、ドローンの誘導員の位置取りと同じく、RTK測位が安定するのに時間がかかるため、ここでも植栽作業のスピードが遅くなった。そこで、作業効率を重視する観点から格子点へのRTK誘導は断念し、これまでどおりの等高線植えで実施せざるを得なかった。



図 2-2-21 DJI Agras T30 による苗木（2 袋 50 本）の運搬作業



図 2-2-22 同じくシカ柵資材の尾根筋への運搬作業

(4) アシストスーツによる造林作業の実証

① 実証課題・目標設定

急傾斜地における再生造林作業の軽労化を図るため、市販のアシストスーツを2タイプ5種類導入し、その効果を実証するとともに林業作業の動きにフィットどこまでフィットするか、将来性も含めて評価することを目標とした。アシストスーツは、あくまでアシストであり、超人スーツではない。生産性の向上はあまり期待せず、慢性的な疲労・ストレスにどう効くかを検証することを重視した。

アシストスーツの基本は腰サポートである。中腰や上げ下ろしをゴム（パッシブタイプ）か、あるいは電動モーター（アクティブタイプ）で支える仕組みである。そこで本事業では、まず、腰サポートのパッシブ2種類、アクティブタイプ1種類を選定した。

また、アシストスーツのなかには、腕サポートや階段等の昇降サポートに特化したものもあり、前者は下刈りのシーンで、後者は林内での歩行のシーンで役に立つ可能性があったので、それぞれ1種類ずつ選定した。



サポートジャケット Bb-PRO
UPR 社



サポートジャケット Bb-FIT
UPR 社



HAL 作業支援タイプ
Cyberdyne 社



Darwin アルケルデ
ダイヤ工業社



Darwin ワーキングアシスト
ダイヤ工業社

図 2-2-23
アシストスーツの導入

② パッシブスーツの下刈り作業の実証

パッシブスーツに関しては、6月から7月にかけて導入し、7月下旬に4種類すべてを和田木材に無償貸与し、11月にかけて下刈り作業における効果を実証した。また、その際、パッシブスーツの効果を測定するため、作業班員に心拍モニターを着用させ、そのデータを解析することで疲れやストレスの軽減効果を検証した。



写真 2-2-23 パッシブスーツを着用した下刈り作業

1) 分析の手法

パッシブスーツ（以下、スーツ）による下刈り作業の負担軽減について、心拍計を用いてアシストスーツ着用の有無による心拍の違いを分析し、スーツの効果について検討した。検証の対象としたスーツは UPR 社 Bb+PRO II とダイヤ工業 DARWING Arukelude PRO 及び DARWING ワーキングアシスト AS である。

30 代及び 40 代の男性被験者 2 名にスーツを終日着用させ、心拍数および RR 間隔を計測した。試験期間は 2023 年 9 月 11 日から 10 月 25 日の約 2 ヶ月、期間中にその日の現場状況や天候、体調等におうじて作業者の判断で使用した。また、作業種ごとの影響を調べるため、9 月 14 日にスーツあり、10 月 23 日にスーツなしの状態で作業の観測を行った。

RR 間隔とは心拍における R 波の間隔である。R 波は心拍を構成する波のひとつで、最大の振幅をもつ波である。RR 間隔は精神的ストレスと関係があり、ストレスがかかると RR 間隔が均一となり、逆にストレスがない状態では RR 間隔のゆらぎが大きくなることが知られている。そこで、心拍データから RR 間隔を求め、アシストスーツの肉体的負荷に関する効果とともに精神的な効果についても分析した。ストレス指

標は RR 間隔の値そのものではなく、RR 間隔のゆらぎであることから、心拍データを 5 分毎に区切り、5 分ごとの RR 間隔の分散を求めることでストレスの指標とした。

2) 結果

(心拍数について)

試験期間中、実際に作業した日数は 36 日で、そのうちスーツ装着日は 11 日、非装着日が 25 日であった。測定結果の例として、被験者 A、B それぞれのスーツの装着有 (10 月 12 日) と無 (9 月 11 日) の両条件で測定した 1 日分の心拍数の分布を図 2-24 に示す。

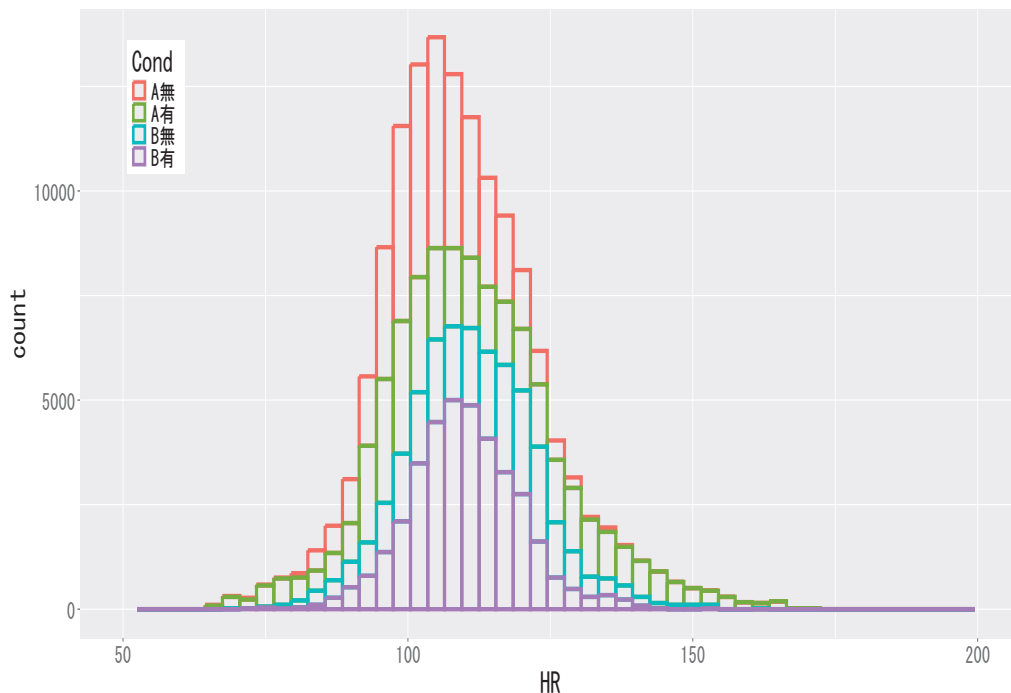


図 2-2-24 スーツ着用の有無別にみた被験者の 1 日の心拍数分布

このように、1 日単位でみると、スーツの有無による差はほとんど見られなかった。全期間の被験者 A、被験者 B の平均心拍数は図 2-2-25 に示すとおりとなった。被験者 A においてはほとんど差がなく、被験者 B ではむしろスーツを着用したほうが心拍数が高くなる結果となった。Wilcoxon の順位和検定によっても、被験者 A は有意差なし、被験者 B は $p=0.0509$ であるので「有意差はないが、差があるといわれても否定できない」という結果となった。

次に、現地にて作業観測を行い、下刈りとそれ以外の移動や休憩等の時間を区分し、下刈りを実際に行っている時間帯のみ抽出した心拍数によって比較した。その結果、作業員 A、B ともスーツ着用により有意に心拍数が高くなった (図-3, $p<0.001$)。

(ストレス指標について)

心拍数と同様、RR 間隔の 5 分間分散を日ごとに平均した値で分析した。なお、被験者 A は心拍計のデータに RR 間隔が保存されていなかったため、心拍数の逆数を RR 間隔とした。そのため、被験者 A と被験者 B で値が大きく異なっている。

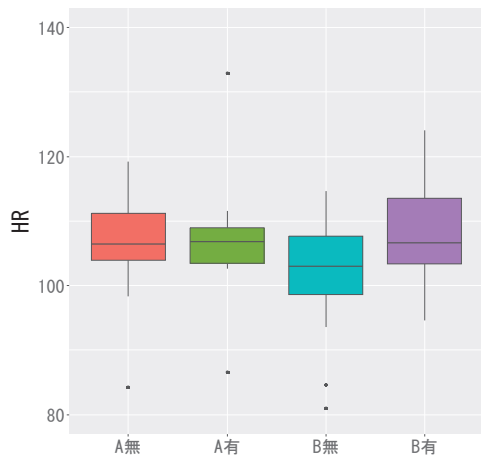


図 2-2-25
実証期間中の日平均心拍数

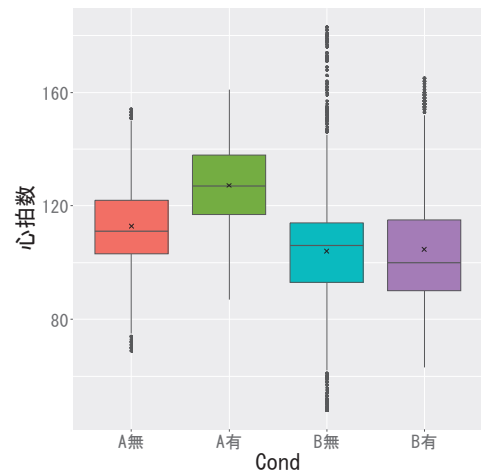


図 2-2-26
下刈り作業時のみの心拍数

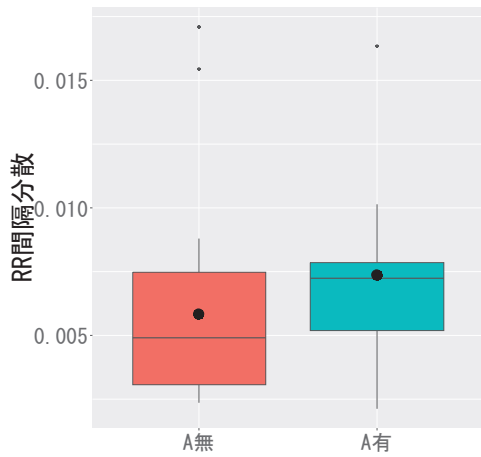


図 2-2-27
被験者 A の RR 間隔分散の日平均の分布

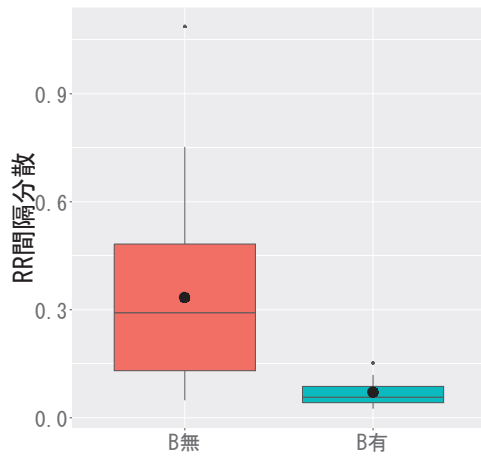


図 2-2-28
被験者 B の RR 間隔分散の日平均の分布

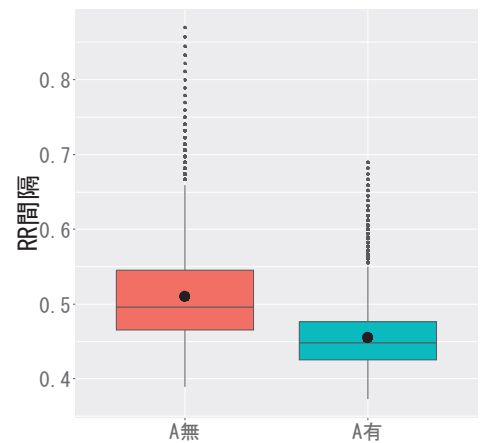


図 2-2-29
被験者 A 下刈り作業時 RR 間隔分散日平均

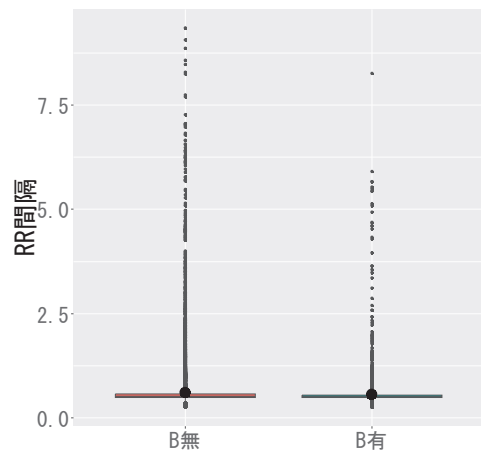


図 2-2-30
被験者 B 下刈り作業時 RR 間隔分散日平均

分散の日毎の平均値はそれぞれ被験者 A が図 2-2-27, 被験者 B が図 2-2-28 のとおりとなった。被験者 A はスーツの有無によって RR 間隔、ひいてはストレスに差がつくとは言えず、被験者 B はスーツの着用により RR 間隔の分散が有意 ($p < 0.001$) に小さくなる、すなわちストレスがかかっていたことが示された。

また、作業観測を行った日の、実際の下刈り作業実行中のみの RR 間隔を用いて同様に分散を求めた結果を図 2-2-29, 図 2-2-30 に示す。被験者 B については 5 分間分散がきわめて幅広く分布しているのを、中央値付近の拡大図を図 2-2-31 に示す。被験者 A, B 双方とも、スーツの着用によって 5 分間分散の平均値が有意に低下し、ストレスが増大していたことが示された ($p < 0.001$)。

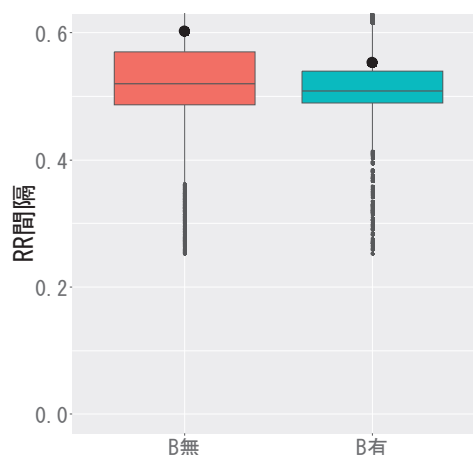


図 2-2-31

前掲図の中央値付近の拡大図

3) 考察

聞き取り調査により、スーツのアシスト機能がかえって希望する動作の妨げとなることもあるとの感想も出ている。本調査で使用したスーツはバネやゴムの反発力を利用したパッシブタイプのものであり、おそらく荷物の持ち上げや姿勢の維持、均質な足元での上下動など、足元が比較的安定した条件での作業を想定し、その条件下で最大限の機能が発揮できるようにバネ等の配置や強度が最適化されていると思われる。したがって、下刈りのように急傾斜で足元が安定しない環境下で、想定されてない動きに対しては補助が逆効果となったと推測される。条件によって多少の違いがあれども、基本的にスーツを着用することで心拍数は上がり、RR 間隔の分散は小さくなるという作業者にとってより悪い方向に効果が出たのも、逆効果となるアシストに打ち勝つために強い動作を必要とし、また思わぬアシストが滑落の危機感を増すなどストレスにつながったと考えられる。

したがって、本機は山林による作業よりも、苗畑作業のように本機の想定に近い条件や動作の作業において使用するのが望ましいと考える。これらの作業は高齢者が従事することが多いため、慢性腰痛の抑制などに効果がある可能性もあり、また費用としてもアクティブタイプに比べてきわめて安価であることから、ひきつづき検証し、条件が適合する場合のみに導入することは十分に検討に価すると言える。また山林の作業においても、たとえばプロセッサやハーベスタの操作、あるいは盤台での造材作業に終日従事する場合など、安定した足元での作業には効果がある可能性もある。

④ アクティブスーツの植栽作業の実証

また、アクティブタイプについては、主に植栽作業の現場で検証した。アクティブタイプは、電気的なメカニズムでサポートのオン/オフを切り替えられるため、パ

ッシブタイプで観察された逆負荷状況を減らせる可能性がある。

実証事業では、ドローンで苗木を搬入した現場において、シカ柵の搬入補助と、植栽作業を実証した。植栽作業の一部は、体力にあまり自信がないという女性が使用した。

その結果、わかったことは、斜面を登る際、特に脚を大きく踏み出して上る際、強いサポートを感じ、明らかに昇降運動が軽くなることである。これは、イラストにあるように、物を持ち上げる動作と、斜面を登るという動作が筋骨のメカニズム的に似ているためと考えられる。

このような効果は、原理的にはパッシブタイプでも得られるが、パッシブタイプでは脚を引き上げる際にその逆の力が働くため、その後のサポートの効果を感じにくい。一方、アクティブタイプでは、「足を引き上げる」という動作に対してはサポートを切り、その次の「体を持ち上げる」という動作に対してはサポートを入れることができるため、より効果を実感しやすくなっていると考えられる。また、その効果は、重量物を担いだ時に特にわかりやすく、明らかに軽く重量物を担ぎ上げることができた。



写真 2-2-24 アクティブスーツ HAL を使用したシカ柵資材の搬入作業

また、植栽作業のシーンでは、苗木袋を担ぎながら林内を歩き、腰を折る作業が多いため、スーツからしっかりとアシストが感じられた。ただ、急斜面の場合、腰を折る角度も少なく済むため、その効果は限定的でもあり、特別に作業が軽く

なったという声は聞かれなかった。

そのなかで、植栽作業において特に効果が感じられるシーンがあった。それは、植穴掘りドリルを使用した際である。植穴ドリルは、自重でドリルが食い込むよう、やや重たく作られている。そのため、ドリルが進んだ後、それを引き抜く作業が腰に負担をかける動作になる。それがアシストスーツによって劇的に軽くなった。腰のわずかな動きに対して電動モーターから強いサポートが返ってくるため、ゴムの反発以上の力を得られないパッシブタイプよりも強力であった。



写真 2-2-25 アクティブスーツ HAL を使用した植穴ドリル作業

⑤ ドローン&アシストスーツに対する評価 (成果の概要)

以上のように、急傾斜地を想定しながらドローンとアシストスーツを導入した再造林作業を実証した。

ドローンの導入効果はきわめて良好であった。「農業用」と「大型」に着目して機体を選定し、実際に資材運搬作業を実施したが、十分に余裕をもった作業ができ、作業効率の向上と、労働負担の劇的な軽減を達成できた。また、アシストスーツに関しては、下刈りのような激しく、複雑な動作に対しては十分な効果を感じにくいという結果になったが、植栽作業のような、比較的シンプルで、ある程度パターン化された動作に対しては、特にアクティブスーツ（電動）の効果がはっきりと確認された。一方で、RTK 精密誘導に関しては、精密測位の結果が定まるのに時間がかかり、ドローンの誘導や植栽作業を待たせてしまうため、作業効率の向上を達成でき

ず、測位スピードを改善しなければ実用性を得られないという課題を残した。

（軽労化による人材確保）

今回の実証成果がもたらすものを検討するに、大きく2点が考えられる。一つは造林労働力が確保しやすくなる、という効果である。造林労働は機械化が難しく、体力がなければ務まらない。それが就労へのハードルとなり、また、離職へのトリガーとなっている。今回の技術によって軽労化が図られれば、ハードルは低くなり、また、トリガーは固くなる。

具体的には、まず、高齢労働者の就労寿命が延びる効果が期待できる。造林労働では高齢化が顕著で、高齢者によって支えられているといっても過言でないが、ドローンで特に重労働である資材運搬をなくし、また、アシストスーツで体力の衰えを補えば、さらに数年、就労を継続できる可能性がある。高齢者を山で働かせることについては、若干躊躇を覚えるが、近年では、定年退職の年限がさまざまな産業で延長されており、林業においても定年延長の議論は必要だろう。今回の技術はそのような議論に技術的な根拠を与えるものになりうる。

また、女性の就労を促進する効果も期待される。造林労働の一つの特色は、歴史的に女性の就労が多いという点であるが、一方で女性にとっては体力的にきつい仕事であることも事実であり、就労へのハードルとなっている。新技術はそのハードルを大幅に下げるものと期待される。

（超大苗造林への道）

もう一つは、造林そのもののパラダイム・シフトである。ドローンやアシストスーツ（特にアクティブタイプ）の普及が進めば、直接的には運搬作業が効率化や軽労化すると期待できるが、今後、それ以上の変化を造林現場にもたらすと考えられる。

例えば、今回は搬入後の小分けを考慮して大量の苗木を一度に運ばず、あえて25本入りの苗木袋を2袋に抑えてデポしていったが、その総重量は12kg程度であり、ドローンのペイロードにはまだ余裕がある。その余裕分を苗木の大型化に使えば、つまり、1回あたりの重量を倍の24kgに設定すれば、本数は替えずに苗木1本の重量を増やせば、苗木を大型化でき、下刈り期間を短縮できる可能性が高まる。

大苗化については、現場にかかる負担が大きいため、作業員に敬遠され、実用化されてこなかった経緯がある。つまり、人間の体力的な限界が普及を阻んできたといえる。逆に、長らく裸苗が使われてきたのは、人間に合わせて軽量化を重ねてきた結果であるといえる。

しかし、今後はドローンやアシストスーツによって大型の苗木を作業員に大きな負担をかけずに扱えるようになれば、これまでとは真逆の発想に立ち、苗木の大型化・重量化に積極的に取り組んでいけるはずである。

（下刈りは依然として課題）

一方で、今回の実証では下刈りについて大苗化による期間短縮以上の技術を見出すことができなかった。仮に、植栽の効率化・省力化が新技術の効果で進んだとしても、その後の下刈りが旧態依然であれば着実な再造林は実現しない。この点については課題を残した。

（5）一般民有林立木公売シミュレーション

① 実証課題・目標の設定

令和5年度は、一般民有林の立木売買における価格の決まり方をさらに深く分析

するため、ドローンレーザー計測にもとづく森林情報の提供と合わせて、入札参加者に対する現地説明会を開催し、各参加者がどのような視点で立木を評価し、価格を決定するかを明らかにし、また、入札によって導かれた価格の意味について検討を加えることを目的とした。

② シミュレーションの方法

模擬入札にかける林分は、小林市三箇山の民有林 3 ha に設定した。そして、ドローンレーザー計測を 7 月下旬に実施し、樹種、胸高直径階別本数・実材積などの森林情報をデジタル形式で整備した。胸高直径の推定は、現地サンプリングも実施し、実際の林分状況を反映させるかたちで実施した。

入札参加者は、責任ある素材生産事業者から小林市周辺で活動している事業者を 3 者選出した。具体的には、株式会社木脇林業、株式会社小村木材、そして株式会社松田林業の 3 社である。

レーザー計測にもとづく森林情報を冊子体のレポートにまとめ、入札参加者と共有したうえで、10 月中旬に現地説明会を開催した。現地説明会では、ドローンレーザー計測がどんなもので、どのような手続きで本数・材積を算出したのかを説明し、また、その結果と現地状況とを照らし合わせ、精度基準がわかるように提示した。

そして、それから 1 カ月程度の期間を置き、各参加者が入札金額を検討したうえで、模擬入札会を開催した。模擬入札会では、各参加者の見積もり方法を秘匿できるよう、また、その結果について検討しやすいよう、一定のルール・条件などを付与して実施した。



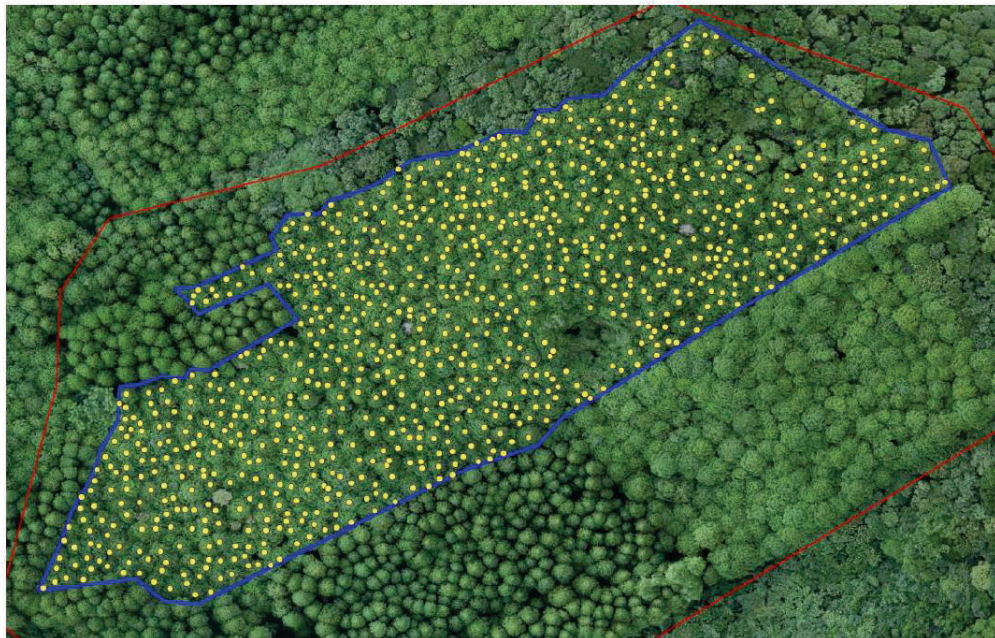
写真 2-2-26 シミュレーション対象林分の全景



ブロック1 スギ



ブロック2 ヒノキ



ブロック3 ヒノキ

図 2-2-32 レーザー計測の成果の一部（樹種別樹頂点＝本数の抽出）

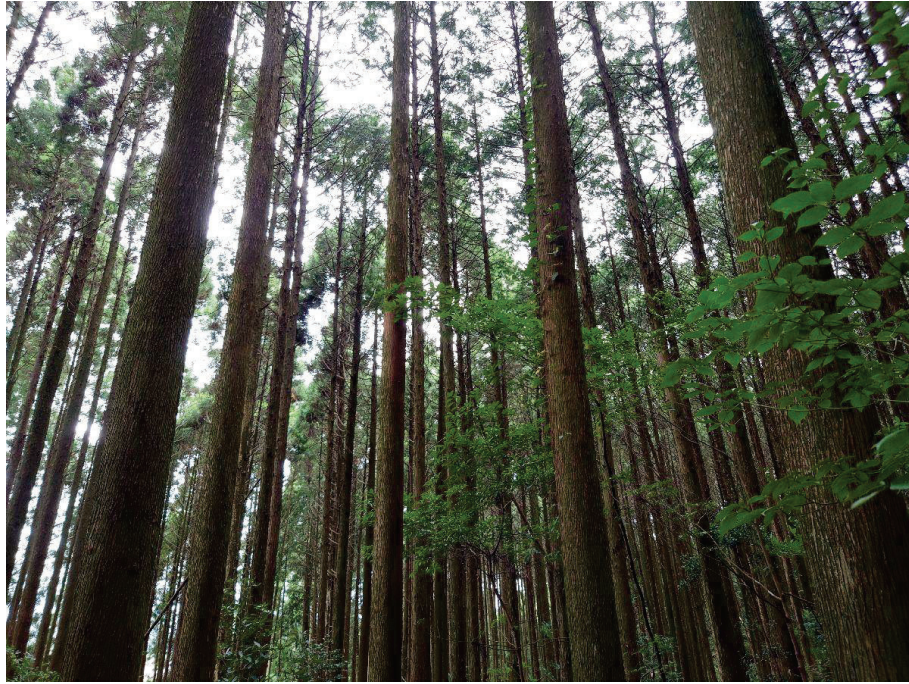


写真 2-2-27 林内の状況



写真 2-2-28 現地説明会の開催状況

③ 結果

以上の準備をしたうえで、12 月中旬に模擬入札会を開催した。入札に参加する 3 者が共通のルール・手順・想定状況をふまえながら独自のアレンジをくわえて入札

金額を提示した。そして、開札の結果、最も高い金額を入れた者が落札者に決定した。また、開札後、一般民有林に入札方式を導入する意義や予想される影響について議論した。

（価格上昇を促す競合効果）

これによって、入札には価格上乘せを促す競合効果があることがあらためて確認された。「一対一」の相対取引においても、誰に売るかを慎重に選択することで、一定の競合効果を得ることはできるが、そのために必要な情報を十分に保有している森林所有者は少なく、そのような機会は容易につくられない。それに対して入札形式であれば、はっきりした競合を生み出すことができるため、入札参加者は互いを意識しあった価格を提示し、かつ最も高い価格を選択することができるので、結果的に価格上昇の機会を拡大できることが確認された。

（デジタル情報だけでは価格を決められない）

今回、現地説明会を実施したことで、素材生産業者は、調査にもとづく森林情報を参照しながらも、そこには現れないさまざまな項目について総合的に評価し、最終的な価格を出していることがわかった。

例えば、歩留まりを下げる要因はないか、搬出土場を置ける場所はあるか、近隣に魅力的な資源はあるか、権利関係のトラブルに巻き込まれそうなりリスクはないか、競合他社の動きはどうか、などである。それらを確認するために、実際に対象林分を現物熟覧する機会を重視しており、デジタル情報については十分参考にはなるが、あくまで参考という位置付けであった。

（コストの積み上げだけでも価格を決められない）

また、価格を決める際には、立木資源の内容に合わせたコスト積算や売上予想も行われるが、入札になると、競合との腹の読み合いのほうが重要になるという意見も出た。せっかく精密にコストを積み上げて入札金額を弾いても、腹の読み合いによって変動する価格幅のほうが大きく、そのような努力が無駄になってしまう、ということであった。

ただ、そのようにして決まった価格で、赤字を出してしまうことも少なくない、という実態も提示され、コストの積み上げを精密にしておけばそのようなリスクを回避しやすくなることも確認された。

（落札価格＝適正価格か）

また、入札によって導かれた落札価格を即、適正価格といえるだろうか、という点についても議論された。

一般的に適正価格とは、林業経営の持続可能性を維持できる価格、つまり再造林費用を捻出したうえで一定の利益水準を達成できる金額と定義でき、保証されるべき最低価格という意味合いで使われる。

入札にすれば、今回の模擬入札でも確かめられたように、業者間の競争が刺激され、価格が競り上がり、最低価格を達成したうえでさらなる上乘せも期待できる。それは、所有者にとってもハッピーであることにまちがいない。

しかし、事業者の裁量が存在し、伐採後、どんな状態で山を返すのかの基準は必ずしも統一されていない。きちんと後始末する事業者もいれば、ほどほどの後始末しかない事業者もいるはずで、そのようなコストのかけ方の違いが、入札価格に反映されていたりすると考えられる。

そのような場合、いちばん高い入札価格が最も適正な価格とはいい難くなる。逆に、入札を導入したことで再造林が進まなくなり、「適正なコストをかけながら立木

を購入している事業者」を窒息させてしまう恐れも生じかねない、との危惧の声が出た。

入札を通じて適正価格を実現するためには、着実な再造林を確保するような入札のルールや条件を整備し、それ公平性の基準として落札事業者に遵守させることが重要になる。しかし、それは国有林なら可能であっても、一般民有林ではかなりの困難を伴うのでは、という議論があった。

そのような議論になった背景には2つの論点があり、一つは、立木売買はあくまで立木所有権の売買であり、委託伐採ではないということが確認された。後始末や林地管理に関するルールや条件を厳しく定めれば定めるほど、実態として立木売買から離れ、委託伐採に近づく。立木売買を委託伐採に近い運用をすることも不可能ではないが、その場合、所有者側にルール・条件を守らせるコストが発生するため、トータルで見たらかえってコスト増になる恐れが出てくるのでは、という議論になった。

もう一つは、ルールや条件を誰が決め、守らせるのかという点である。それは、基本的には所有者になるが、中小規模の所有者にはそれを担いきるだけの管理能力がなく、代行機関を置かないかぎりには実行不可能であろうし、仮に代行機関を置いたとしても、ルールや条件を守らせるためのコストがかかるはずで、そのような管理コストを抑制する仕組みを考えることが重要、という結論になった。

④ 評価

現地説明会での議論や、模擬入札会後の議論の際の素材生産業者の立場からの評価基準を聞いていると、次のような数式で表すことができると考えられた。

$$\text{売上} - (\text{伐出コスト} + \text{利益} + \text{リスクマージン}) = \text{立木価格} + \alpha \text{ 評価} = \text{入札価格}$$

通常、立木価格は市場価格逆算方式で導かれ、売上から伐出コストと利益を引いた金額で表現される。しかし実際の評価を聞いてみると、その他にリスクマージンと $+\alpha$ 評価ともいうべき項目があることがあらためて浮き彫りになった。

リスクマージンとは、思惑どおりに伐採や販売が進まなかった場合の保険のようなもので、リスクを大きくみればみるほど立木価格が低くなる。これは、立木売買が購入後、伐採猶予の間に起こる経済の変化や、台風被害、あるいは作業道を阻む岩盤の出現など、さまざまな要素がありうるが、入札者はそれぞれ、これをどれくらいでみるか経験的に設定しており、それが立木価格にも影響している。現地の現物熟覧が重視されていたのは、そのようなリスクを見極める機会が不可欠と認識されているからと考えられる。

また、 $+\alpha$ 評価とは、例えばこの山を買えれば、奥の山も一緒に買えるチャンスが増えるであったり、すぐ近くに搬出土場を据えられるであったり、さらには他社との競合や在庫状況であったり、さまざまな要因で決められる。

そして、 $+\alpha$ 評価をするためには、販売を工夫して売上を上げるか、技術を駆使して伐出コストを圧縮するか、利益を抑えるか、あるいは事前調査を徹底して不確実性リスクを抑えるか、何かを工夫することが必要である。そのような工夫が、素材生産業者の競争力の源泉である。

そして、そのためには素材生産業者に技術力やリスク対応力を発揮するための裁量が必要で、そこに委託伐採ではなく、立木売買であることの意義が見いだされる。

適正価格を導くためには、入札に共通のルールや条件を設定し、それを守らせる

ことが重要になるが、それを厳しくすればするほど立木売買から離れ、委託伐採に近づく。それに伴って素材生産業者が技術力を発揮する機会が縮小する。

所有者やその代行機関が素材生産業者を上回る能力を有し、適正な入札とその後の管理を運用し切れるのであれば、委託伐採にすることで着実な再生林につないでいく解決策もありうる。しかし、今回のシミュレーションを通じて確認されたように、素材生産業においてはコストやリスクを見極める現場力が重要であり、特に一般民有林でそのような体制を整備するのは技術的に容易でなく、また、コストがかかると予想される。

一般民有林の入札において管理コストをかけ過ぎずに適正価格を導出するためには、素材生産業者の技術力を引き出しながら林地を適切に管理するための仕組みを構築することが重要で、素材生産業者をルールや条件で縛るだけでなく、素材生産業者の自主性をうまく仕組みに組み込むことが重要であると考えられる。

Ⅲ 今後の展開

林野庁がめざす「新しい林業」を要約すると、新しい技術を積極的に導入しながら伐採から再生林・保育に至る収支をプラス転換し、林業経営を持続可能なものへと発展させることをいう。

宮崎県では、2000 年代に入って主伐が活性化し、それに合わせて 70%超の高い再生林率を維持しており、伐採から再生林・保育に至る収支がプラス状態で推移してきた。しかし、それから 20 年ちかく経過するなかで、伐境の「奥地化」が進み、トータル収支がマイナス状態に転落することが懸念されている。

そこで、本事業では奥地化対策として架線グラップルと、大型ドローン、アシストスーツとに着目し、それらを導入することで、トータル収支のプラス維持を図ることを目的とした。また、一般民有林において適正な立木価格を実現するための仕組みを検討するため、入札シミュレーションを実施した。

奥地の主伐再生林のためには、奥地化に伴うコスト増を林業経営にしわ寄せせず、一定の林業所得を確保し、再生林投資を促すことが重要である。

実証の結果、直接的な収支の改善効果を得るまでは至らなかったが、新技術の強みや可能性を実際に体験したことで、今後のめざすべき「新しい林業」の輪郭をイメージする機会を得た。最終章では、ひむか維森の会がイメージする「新しい林業」の姿を提示し、収支を試算したうえで、その実現にむけた課題を検討した。

1 宮崎ひむか「新しい林業」経営モデル

（ドローンとアシストスーツによる超大苗造林）

造林の低コスト化については、本事業ではドローンによる資材運搬の効率化が確かめられ、また、アシストスーツを組み合わせた超大苗造林の可能性が拓けた。

ドローンによる資材運搬は、作業員の体力温存と作業時間の延長によって、シカ柵設置や植栽作業を効率化すると期待できる。現場では、1 人日あたり通常 400 本の植栽本数を 600 本程度（50%増）まで十分に伸ばせると見込んでいる。一方、コストに関してはドローンの償却費が新たに加わるが、造林以外での稼働を増やし、1 日あたりの機械代を抑えられると見込む。

また、超大苗化が実現すると仮定し、下刈りを 2 年目、3 年目に、そして、除伐を 5 年目に実施すれば十分に成林に導けるとすると、超大苗化に伴うコストも発生するが、下刈りを 3 回分省ける。その場合、1 ha あたり 45 万円程度の低コスト化になるので、その一部を苗木代に振り向けると苗木代を倍増させても見合うため、例えば苗木単価を 300 円と設定したうえで、そのコストで生産できる最大の苗木を使うということが想定される。

なお、宮崎県では、素材生産業の再生林への参入が進んでいないと指摘されるが、その一つの原因として下刈りの過酷さがある。それが、ドローンとアシストスーツの導入に伴う超大苗化が実現すれば、下刈りの負担が減るため、素材生産業からの参入を促す効果も期待される。

（架線グラップルによる架線集材の安全化）

一方、架線グラップルに関しては、集材工程の労働生産性を向上させられるが、1 日あたりの生産量は落ちるため、工程全体で見ると生産性が下がると予想される。

しかし、運用次第では生産性の伸び代もあるので、いずれは最低限の目標として、通常の架線集材並みの生産性が確保できると仮定する。

また、架線グラップルの導入に伴って油圧集材機一式の償却費が新たに発生する。これについては、実勢価格で計算すると極めて収支が悪化するため、今後の普及に伴う価格抑制と、補助金の導入を期待しつつ、本体価格を 1,800 万円とし、半額補助での導入を想定する。また、燃料代、ワイヤ代も若干上昇すると予想されるので、それらを加味する。

そして、比較対象としては、急傾斜地における現状の重機集材（6,000 円/m³）と、現状の架線集材（5,000 円/m³）を置いた。

（収支目標）

以上を仮定したうえで、林業経営の収支を計算したのが表 3-1-1 である。収入は、奥地であるか否かを問わず、基本的には変わらない。一方、支出については、（そのように設定したからであるが）従来の重機集材、新技術を導入した架線集材、従来の架線集材の順に並ぶ。新技術が想定どおりの成果を生み出すようになれば、それでもなお通常の架線集材には生産性が劣るが、安全性の向上と軽労化の効果を得ながら、重機集材に匹敵する生産性を実現できる見込みである。

再造林経費については、ドローンとアシストスーツによって超大苗造林を実現すれば、下刈りの回数を減らすことで全体のコストを減らし、ドローンやアシストスーツの償却費を十分に捻出できる見込みが示される。

表 3-1-1 ひむか「新しい林業」経営モデルの収支予想

		急傾斜地1haあたり試算			備考
		現状の重機集材	現状の架線集材	新技術導入目標	
収入	販売収入	6,000,000	6,000,000	6,000,000	500m ³ @12千円
	補助金収入	1,200,000	1,200,000	1,000,000	再造林保育経費の3分の2
	その他		0	0	
	収入合計	7,200,000	7,200,000	7,000,000	
支出	(主伐経費)	3,000,000	2,250,000	2,750,000	
	人件費	1,000,000	650,000	650,000	労働生産性を現状維持
	燃料費	600,000	200,000	300,000	油圧化によって50%増
	機械償却費	1,000,000	200,000	400,000	機械代を補助金等で圧縮
	その他経費	400,000	1,200,000	1,400,000	主にワイヤ代
	(再造林経費)	640,000	640,000	818,000	
	人件費	300,000	300,000	260,000	労働生産性の向上
	苗木購入費	300,000	300,000	500,000	超大苗化
	燃料費	10,000	10,000	10,000	
	機械償却費	10,000	10,000	38,000	ドローンとスーツの償却費
	その他経費	20,000	20,000	10,000	
	(保育経費)	1,100,000	1,100,000	650,000	下刈り3回分を省略
	(流通販売経費)	1,500,000	1,500,000	1,500,000	500m ³ @3千円
	(調査経費)	100,000	100,000	100,000	毎木調査並みのレーザー計測
	支出合計	6,340,000	5,590,000	5,818,000	
総収支		860,000	1,610,000	1,182,000	

2 新技術に対する今後の取り組み

(1) 架線グラップル

架線グラップルに関しては、1日あたりの生産量が落ちるという点で普及にむけての課題が明確になった。それをクリアできれば、安全性や軽労化についての効果は確実であり、十分に普及の余地があると判断される。

その際、まず普及の対象となるのは、現在、重機集材を主とする事業体であり、今後のさらなる奥地化に対応するため、架線グラップルの導入を検討する価値がある。ただ、ラジコン化によって架線集材再導入へのハードルが下がったとはいえ、それを適切に運用するには技術と経験が必要である。

そこで、ひむか維森の会では、本事業で得られた経験・ノウハウを今後架線グラップルの導入を検討する事業体と積極的に共有し、導入を支援する活動を展開したい。

ただ、そのような取り組みを展開するうえで、奥地化対策は本事業で実証した新技術だけではない点は、あらためて確認しておきたい。特に県南においては、エンドレスタイラー方式の架線グラップルは適地が少ないため、これにこだわらず、タワーヤードやウインチアシストなど、多様な架線技術を検討していく方針である。

(2) ドローン&アシストスーツ

アシストスーツについては一長一短が報告されたが、重量物を扱いやすくなるという点では今後期待できる技術であり、ドローンと組み合わせることで、再造林にパラダイム・シフトをもたらさうる技術であると評価したい。

その具体策が上記1で検討した超大苗造林であるが、これを実践するには、補助制度（苗木規格）とも連動しながらの取り組みなるため、ひむか維森の会だけでなく、県の関係機関とも連携してさらなる実証を企画し、そのなかで、素材生産業者の再造林への参入余地についても検討を重ねていきたい。

一方で、下刈りについては、超大苗化によって回数を減らすというアイデアが出てきたものの、アシストスーツ等によっても軽労化は難しいという実証結果もあるので、下刈りの軽労化については今後も課題を残した。

(3) 一般民有林の立木公売

一般民有林の立木公売については、入札の導入効果は確認できたものの、それによって適正価格を導き出すためには、管理上のさまざまな仕組みが必要であることが確認され、かつそれを国有林ではなく民有林で実現していくためには、代行機関の設置も含めてまだまだ検討しなければならないことが多いことを確認した。

このような問題関心については、全国レベルで「立木適正評価機構」の動きが加速しているので、ひむか維森の会としてはそのような動きを捉え、適宜連携しながら本格的な導入の可否について継続的に検討していく。

3 最後に：技術革新の土壌づくり

本事業を通じて試され、イメージされたのは、重機集材の成功体験に囚われず、柔軟に架線集材も再導入し、二刀流で「奥地化」に適応していく素材生産業の姿である。また、それと同時に新技術を梃子に、伐採だけでなく再造林に参入していく素材生産業の姿である。

しかし、そのイメージを技術的に実現するのは容易でないことも2カ年度間の事業を通じて痛感された。魅力的な新技術が多く登場しているが、林業の現場は多様で、「適地適作業」を前提とすると、適地性の狭い技術は普及しにくく、汎用性の高い技術しか普及しない。しかし、それでは現在、奥地化で苦しんでいるように、主伐が進むとともに変化していく現場への適応が後れてしまう。また、経営的な判断で新技術の導入を見合わせると、個別企業の短期的な判断としては合理的でも、それが続くと、新技術の開発自体を鈍化させてしまい、業界全体の長期的な判断でみれば、大きな不利益となってしまう。

理想的には、林業が成長産業化を遂げる過程で、技術開発力を内蔵した産業に発展していかなければならない。もっと言えば、新技術の開発を応援しなければならない。

そのための一つの方策として考えられるのが、林業機械とその運用ノウハウをシェアするというアイデアである。適地性の狭い新技術は、一社で保有するのが難しく、台数が出ないため、せっかく開発されても普及せず、開発メーカーが撤退してしまうかもしれない。そのような事態を避け、機械をある程度普及させるためには、素材生産業者間で1台の機械をシェアするのが効率的である。

ただ、短時間シェアするだけでは、本事業においても痛感されたように、習熟が間に合わず、稼ぎを上げるに至らない。シェアリングされた機械であっても、速やかにその運用に習熟し、稼ぎに結びつける仕掛けが必要である。

今回、ひむか維森の会では、本事業をゼロから企画し、「責任ある素材生産事業体」とともに率直な議論を重ねながら、少しでも導入効果を得られるように、現場マネジメントも含めてさまざまなサポートを提供してきた。そのなかで、前年度の実証事業体が今年度の事業体を助けたり、あるいは県外から先進的な事業体を呼んだりしてきたが、まさにこれがノウハウのシェアリングに該当するのではないかと思われた。

ドローンレーザー計測で伐採造林計画をデジタル支援したように、今後は現場のノウハウについても、事業体や技術者個人によって属人的に為されるのではなく、デジタル上で蓄積・共有される可能性がある。

先行する事業体にとって他事業体とノウハウを共有することは利敵行為にあたるが、それによって新技術の普及を応援することは新鋭技術のさらなる改良・開発につながり、めぐりめぐって自社の利益になりうる。ひむか維森の会は、素材生産業者の非営利活動法人であるが、今後はこのような技術開発のシーンでも活躍が期待されているのかもしれない。

以上