

林野庁補助事業

令和4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

特定非営利活動法人ひむか維森の会

宮崎大学農学部

令和5年3月

令和4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
事業成果報告書

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—

特定非営利活動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）	4
II	令和4年度の実施結果	5
1	協議会活動	5
(1)	協議会の開催	5
(2)	その他の協議会活動	5
2	令和4年度の実行結果及び取り組みの評価と課題	11
(1)	森林資源調査	11
(2)	主伐作業	14
(3)	一般民有林立木公売シミュレーション	20
III	今後の事業の展開方向	24

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 m^3 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。

そのような大規模な素材生産・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、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自ずから増大し、林業経営の収支を圧迫する。ゆえに奥地化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。そのため、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ると考えられることから、宮崎県では現在、一度手放した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、架線集材が一部に残存している県北と、すでに廃れてしまっている県南とで1箇所ずつ、各5ha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。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目的とした。

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。

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、素材生産業者発の林業経営改革のモデルとすることをめざした。

なお、本事業では、特に県南の実証試験地において、架線集材を手放した素材生産業者が再び架線集材を取り扱う機会を提供する。その際、技術的に解決できない問題として想定されるのが「林業架線作業主任者」の不在である。これについては、ひむか維森の会の「責任ある素材生産事業体」のネットワークを駆使して、県北を中心に活躍する架線集材に熟練した事業体と県南の重機集材オンリーの事業体とが共同で事業を実施することで、エンドレスタイラー方式による架線集材に必要な有資格者と経験を確保することで対処する。

3 実証のテーマ

- 1) 油圧集材機と遠隔操作グラッ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

〈イワフジ工業開発・販売〉 YR-302E&BLG-16R

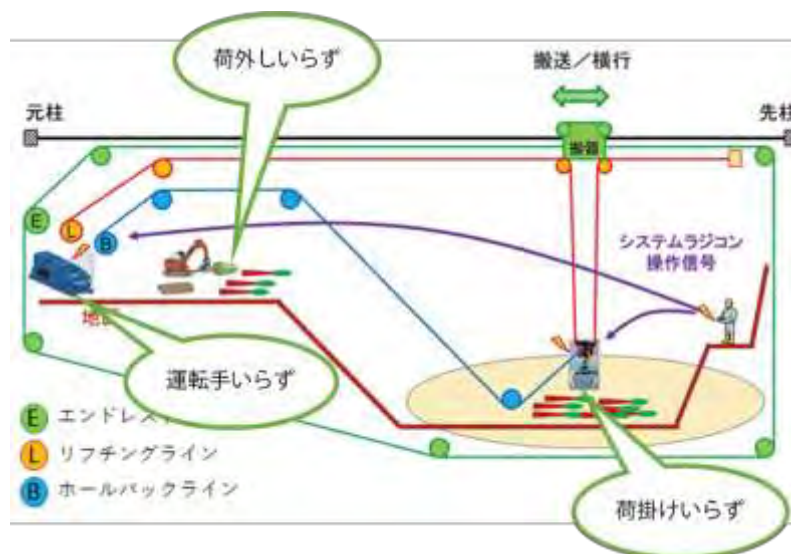


図-1 実証する新技術

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実施できないことを、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り、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、会員の協力のもとに実施しようとしたものである。

本事業は、当初、図-1のような体制で実施した。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、専門的なコンサルティング業者に外注した。また、ドローンレーザー計測についても、外注した。

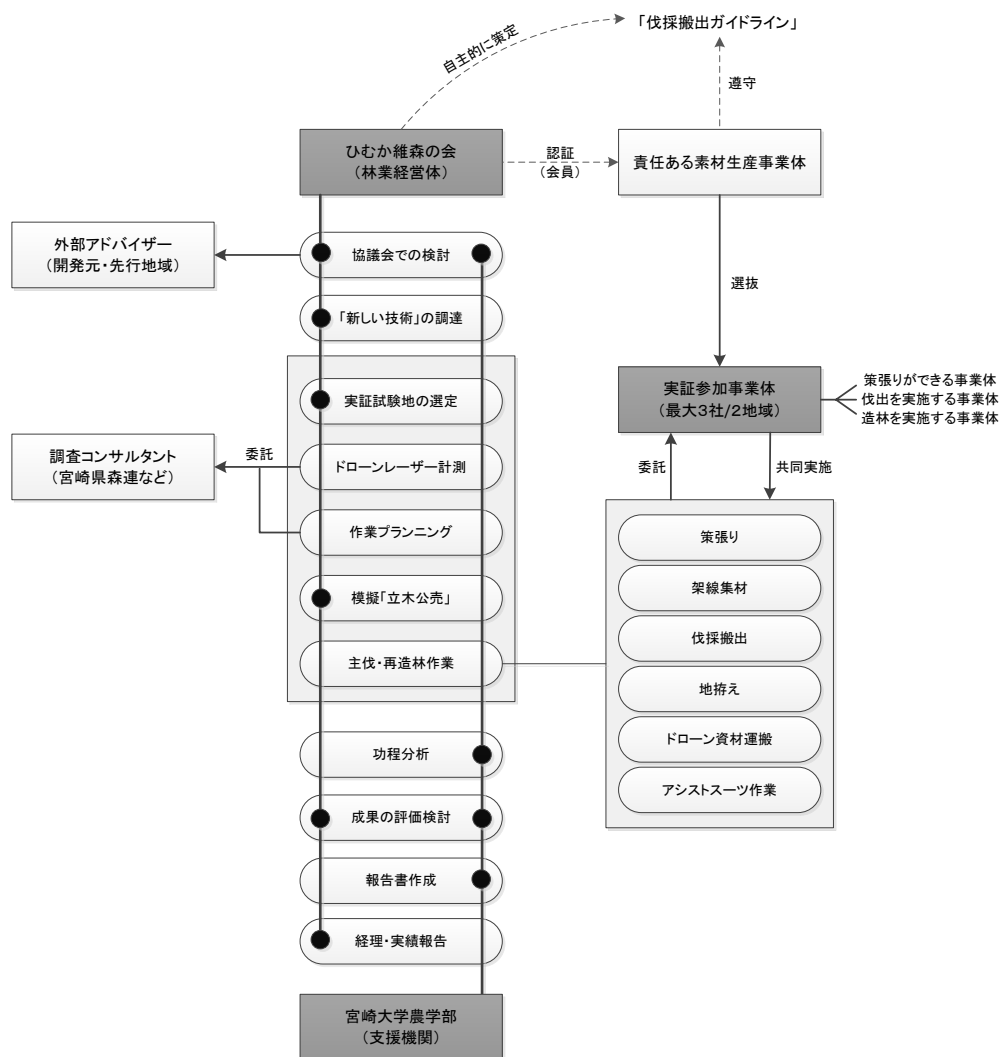
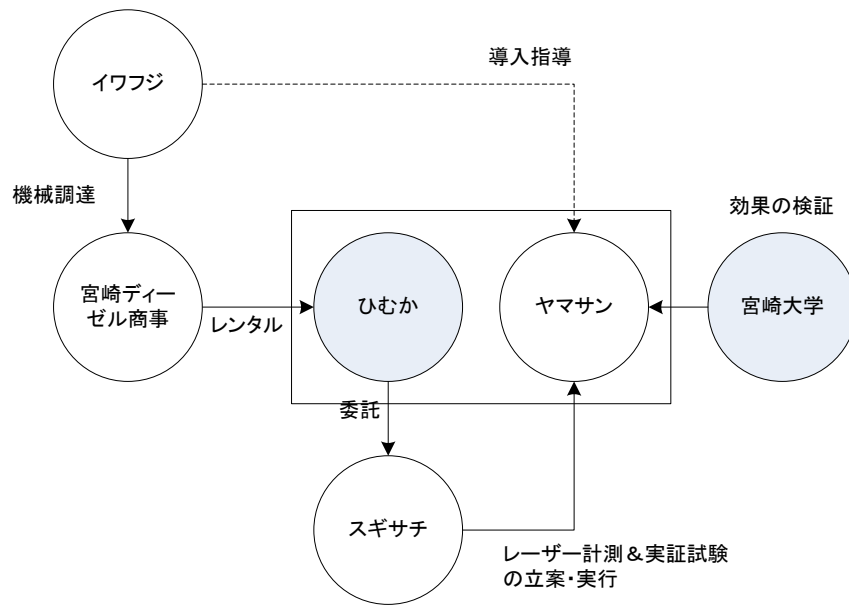


図-1 本事業の構造



図－2 実施体制・相関図

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）

本事業は、当初、会員事業体から実証試験地を公募することから始め、県内2箇所に実証試験地を設定のうえそれらにドローンレーザー計測を実施し、うち1箇所で立木公売シミュレーションと、実際の新しい架線を使った主伐作業を実証することを内容とした。

ドローンレーザー計測に関しては、実証試験地が決定し次第し、おおよそ秋頃の実施を計画した。また、主伐に関しては、新しい架線集材システム（レンタル機）の現場納入が遅ければ2月になるということから、機械の納入を1ヶ月前倒ししてもらえるように調整しつつ、1月から2月一杯にかけての2ヶ月間の作業期間を計画した。また、立木公売シミュレーションについては、伐採に入る前の12月から1月にかけてを予定した。

実際には、公募によって実証試験地候補となった実証試験地が9月に襲来した台風14号によって被災し、候補すべてが全滅するという状態となり、急ぎよ新たに公募し直し、美郷町南郷のヤマサンツリーファームの現場3haを11月に選定した。それからドローンレーザー計測を実施し、解析結果を実証事業帯に提供して架線集材の計画策定に入った。

ただ、新しい架線集材システムのレンタル機自体の納入は、結局前倒しすることができず、2月6日の現場納入となり、機械の稼働は実質1ヶ月での事業実行となった。

また、当初計画では予定していなかったが、協議会活動の一環として来年度実証予定のアシストスーツ選定のための視察や、新しい架線集材システムを円滑に、安全に、そして実戦的に実証するため、県外で稼働する現場に実証事業体（ヤマサンツリーファーム）の従業員も触れて研修を実施し、実証への準備とした。

II 令和4年度の実施結果

1 協議会活動

(1) 協議会の開催

協議会は、ひむか維森の会の役員会に外部有識者を加えて組織し、9月、1月、3月の計3回実施した。

① 第1回協議会 (9/5)

8月に会員に対して実証試験地を公募し、候補が数か所上がってきた9月上旬の段階で開催した。主に本事業の実証作業の具体的な設計について協議した。

第一に、実証予定の新鋭架線集材システムの開発・販売元であるイワフジ工業のエンジニアを招き、同システムの性能や運用上の注意点について確認した。そして、宮崎県での有用性を検討するうえでの具体的な実証課題について検討した。

また、応募のあった実証試験地について検討し、県北について1か所に絞り込んだ。なお、この候補については協議会後の9月末に九州を襲った台風14号で林道が被災し、アプローチできなくなったため、別の実証試験地を新たに選び直すこととなった。さらにまた、立木公売シミュレーションの具体的な実施要領が定まっていなかったため、これについても検討した。

② 第2回協議会 (1/28)

第1回の協議会後にあらためて選定された実証試験地を対象に、実証事業体とその他の事業体2者との3者間で立木入札会のシミュレーションを実施し、その結果について検討した。

また、新鋭の架線集材システムの現場導入のスケジュールを確認したうえで、現地研修会の実施要領について検討した。

③ 第3回協議会 (3/8)

令和4年度における本事業のすべての成果が出揃った段階で開催し、最終報告書の内容について協議し、成果について検討した。

(2) その他の協議会活動

本事業の協議会では、協議会の開催の他に、本事業を円滑かつ効果的に実施するため、来年度の再造林に関する新技術導入の準備のための先進地視察と、今年度の主伐に導入するイワフジ工業の新鋭架線集材システムの現地研修を実施した。

具体的には、10月に和歌山県に、11月に東京及びつくばに、12月には山梨に出張し、アシストスーツの開発・販売元3者、資材運搬ドローンの開発・販売元1者、イワフジ工業の新鋭架線集材システムの稼働中現場2か所を見学した。その結果、アシストスーツに関する知識を深めるとともに、林業用途に向いていそうなスーツを4タイプ選定し、次年度実証することとした。

また、新鋭の架線集材システムが現地に導入された後の2月下旬には本事業の成果を共有するための現地研修会を企画・実行した。本会の会員や宮崎県、国有林等の100人を超える関係者が参加した。また、テレビ局2社、新聞2社の取材もあり、県内に報道された。

表－1 協議会の主な活動

9/5	第1回協議会@宮崎市	<ul style="list-style-type: none"> ・イワフジ架線集材システムの実証課題検討 ・実証試験地の選定 ・立木公売シミュレーション実施要領の検討
10/11～13	先進地視察@和歌山	<ul style="list-style-type: none"> ・PAI社（アシストスーツ） ・（株）中川（資材運搬ドローン） ・中井林業（イワフジ架線集材システム）
11/7～8	先進地視察@東京・つくば	<ul style="list-style-type: none"> ・UPR社（アシストスーツ） ・Cyber Dyne社（アシストスーツ） ・森林総合研究所
12/12～14	現地技術研修@山梨	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事業体作業班員の派遣 ・架線設計・操作の技術研修
2023/1/28	第2回協議会@宮崎市	<ul style="list-style-type: none"> ・立木公売シミュレーション
2/6～11	イワフジによる架設・操縦指導@美郷町	<ul style="list-style-type: none"> ・架設の安全性確保・操縦習熟
2/20	現地研修会@美郷町	<ul style="list-style-type: none"> ・100人超への見学受け入れ ・報道4社への取材対応
3/8	第3回協議会@宮崎市	<ul style="list-style-type: none"> ・実証結果の検討 ・成果とりまとめの協議

① アシストスーツの選定

来年度使用予定のアシストスーツについては、当初はATOUN社の林業用AI搭載型パワーアシストスーツを予定していたが、同社が本事業の申請前後に解散し、機材の調達が困難になり、急きょ別のスーツを検討する必要が生じたため、協議会として視察を実施することとなった。

視察先は、日本森林・林業技術協会等からの情報提供を受けながら、パッシブタイプ（ゴムバネ式）とアクティブタイプ（電動式）の両方の有望筋をまわり、実用的なものを見定めると同時に、最先端の技術に触れることを目的とした。その結果、以下の3社と、森林総合研究所のアシストスーツの専門家（山口浩和氏）との意見交換を行った。

10月に訪問した和歌山市の企業パワーアシストインターナショナル(以下、PAI社)は、和歌山大学発ベンチャーで、「PAIS-M100」というアクティブタイプのスーツを販売している。大きな特徴は、荷上げ、荷下げ、中腰、登るという4つの動きを1台でサポートするという点で、介護関係者や急峻な紀伊半島のミカン農家やウメ農家に納入実績があるという点も興味深かった。

ただ、試着した率直な感想は、パターン化された動きにはアシストがついてくる感じが確かにあったが、不規則な動きに対してはアシストがついてこず、かえって負担になる感覚があった。4つの動きを1台でアシストというコンセプトゆえに、アシス

トが効かないと、とたんにすべての動きが制限される感覚があり、林業の現場への導入は厳しいのではという印象をもった。

ついで、11月に東京のUPR社を訪問した。こちらは資材を扱う企業であるが、物流業の観点からの事業展開の一環としてアシストスーツの開発・販売にも取り組んでいる。こちらは建設業界との共同開発や納入実績があり、現場へのコミットメントを強く感じた。ここでは、パッシブタイプと、アクティブタイプの両方を体験した。パッシブタイプ（サポートジャケット Bb+PRO II）は、ゴムを内蔵したコルセットのようなもので、装着した者を腰に負担のかからない姿勢に誘導し、ゴムの反発で動きをサポートするというコンセプトで、非常に実用的で、林業の現場にも向いているように思われた。一方、電動アシストタイプ（Ep+ROBO（モーター駆動型））も体験した。こちらは、腰を中心にサポートする機構になっており、PAI社のものと比べると構造もシンプルであるため、アシストが逆に邪魔になる感覚も少なく、逆にアシストを切ったときに体に急激な負荷を感じるなど、柔らかく、しかし確実にアシストが効いている印象をもち、こちらも林業の現場で使える可能性があると感じた。

次につくば市のサイバーデザイン社を訪ね、HAL 作業支援タイプを体験した。サイバーデザイン社は神経の電流を感知してアシストを効かせるという技術を有する我が国の先端的な企業の一つだが、すでに市販されているスーツとしては、アクティブタイプのHAL 作業支援タイプがある。こちらもシンプルな設計で、腰回りをサポートするという意味ではUPR社のそれと同じコンセプトであるが、1点異なるのが、動きを学習し、装着者の動きに合わせる機能をもっているという点である。

林業は動きが複雑なので、すぐにパターン解析できるとは思えない部分もあるが、同製品は被災地支援の現場で活躍しているという実績があり、すべてが雑然とした現場でも十分に機能を発揮しているということであり、林業の現場でも活躍できる可能性を強く感じた。また、最先端技術に触れられたことで、アシストスーツがもたらす未来の可能性を感じることができた。



写真－1 PAI社での試着

最後に、森林総合研究所の山口氏を訪ね、研究者の立場からのアシストスーツに対する意見を聞き、今回の視察対象外のスーツに関する情報を収集した。その結果、岡山県に所在するダイヤ工業社が開発・販売した刈払機の作業をサポートするスーツが紹介され、大いに興味をもった。

以上をふまえて来年度の実証では、UPRの2製品、サイバーダイン、ダイヤ工業の刈払機サポートの4つのスーツを候補としてさらに選定を進めていくこととなった。

② 新鋭架線集材システムの現地研修及び実証試験地への架設・操縦指導

本事業で実証する新技術、イワフジ工業のYR-302E&BLG-16Rのセットは、ラジコン架線グラップルといえればわかりやすい。通常の架線におけるローディング・ブロックの代わりにグラップルを吊り、それをラジコンで操縦して荷掛け・荷外しを無人化しようというアイデアである。

ただ、グラップルを吊る分、空荷の状態ですでに500kgの荷重がかかっているため、耐久性・安全性に関するこれまでの経験則が通用しないおそれがある。また、集材機の運転では、作業員が本体に座り、全身で機械の状態、ワイアの状態を感じながら、無理をせず慎重に運用してきたが、無人化によって有人だったらわかった異常や負担を見過ごしてしまっていて重大事故につながる懸念がある。

そこで、本事業では実証事業体に架線グラップルによる作業を委託するにあたって、現場での安全で着実な作業を支援するため、12月に山梨県における同システムの稼働現場での研修会に、実証事業体（ヤマサンツリーファーム）の作業員を派遣し、同システムの操縦や索張りなどの運用上の注意点を直接学んだ。

また、さらに実証試験地での同システムの架設・操縦を支援するため、開発・販売元であるイワフジ工業を招き、現地での同システムの張り上げ指導、操縦指導を実施した。



写真ー2 山梨県現地研修の様子



写真－3 イワフジによる実証試験地での指導

③ 新技術に関する研修会の開催

実証試験地に架線集材システムが到着し、1週間程度の習熟期間を空けた後、県内の林業事業者に対して現地研修会を実施した。研修会には想定を超えて参加者の応募があったため、午前と午後に分けて終日開催され、合計で県内外から約110人が参加した。また、県内メディアにプレスリリースしたところ、テレビ2局（NHK、地元民放MRT）、新聞2紙（共同通信、朝日新聞）の取材を受けた。



写真－4 現地研修会の様子



写真－5 荷降ろしの見学



写真－6 宮崎放送（MRT）での報道

研修会では、いくつかの課題を設けて同システムの実力をデモした。具体的には、どれくらいの大きさの木を吊れるのか、また、どれくらいのペースで吊り上げられるのかの2点に特に関心が寄せられていることから、ピストン作業を何回かみせて作業のスピードを示し、また、大きめの木をあえて吊ってみせ、パワーを示した。その結果、同システムに対する「たいして吊れないのでは」や、「つかむのに難儀してペース

が上がらないのでは」という2点の懸念のいくらかを解消し、高い評価を得ることができた。

2 令和4年度の実行結果及び取り組みの評価と課題

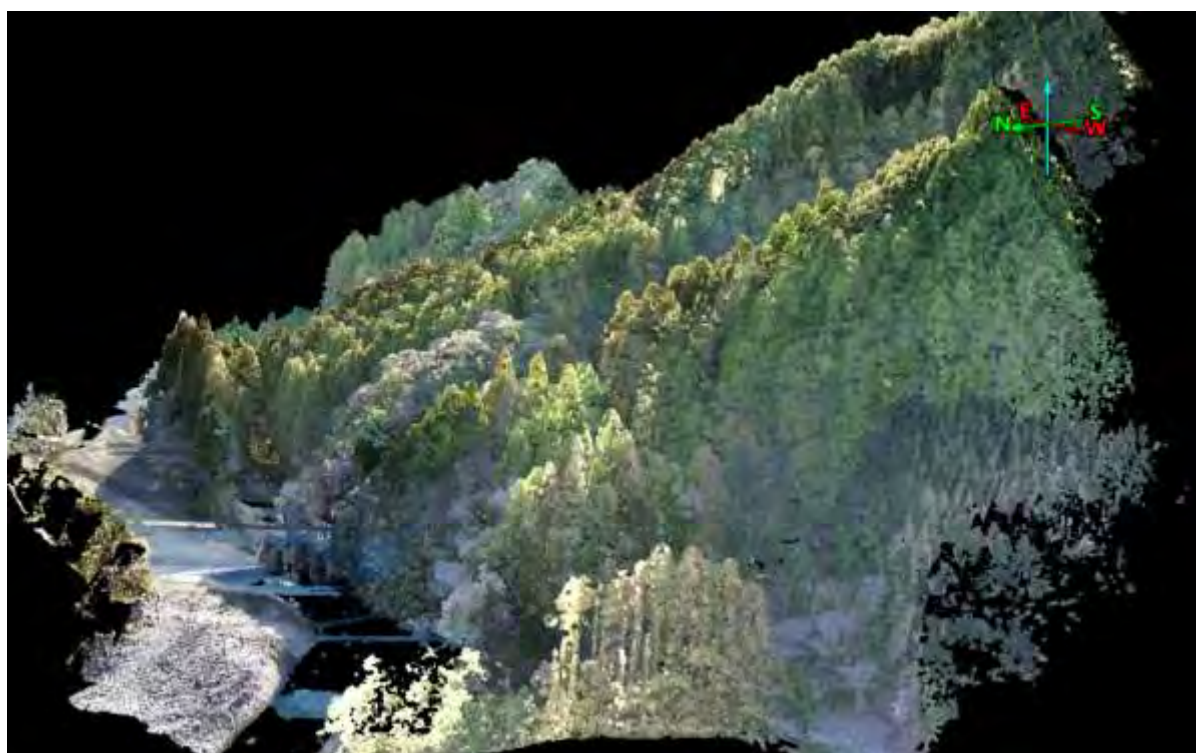
(1) 森林資源調査

県北の実証試験地に対してドローンレーザー計測及び資源解析を実施した。県北は試験地3haを含む周辺10haを計測し、試験地のみ資源解析を実施した。

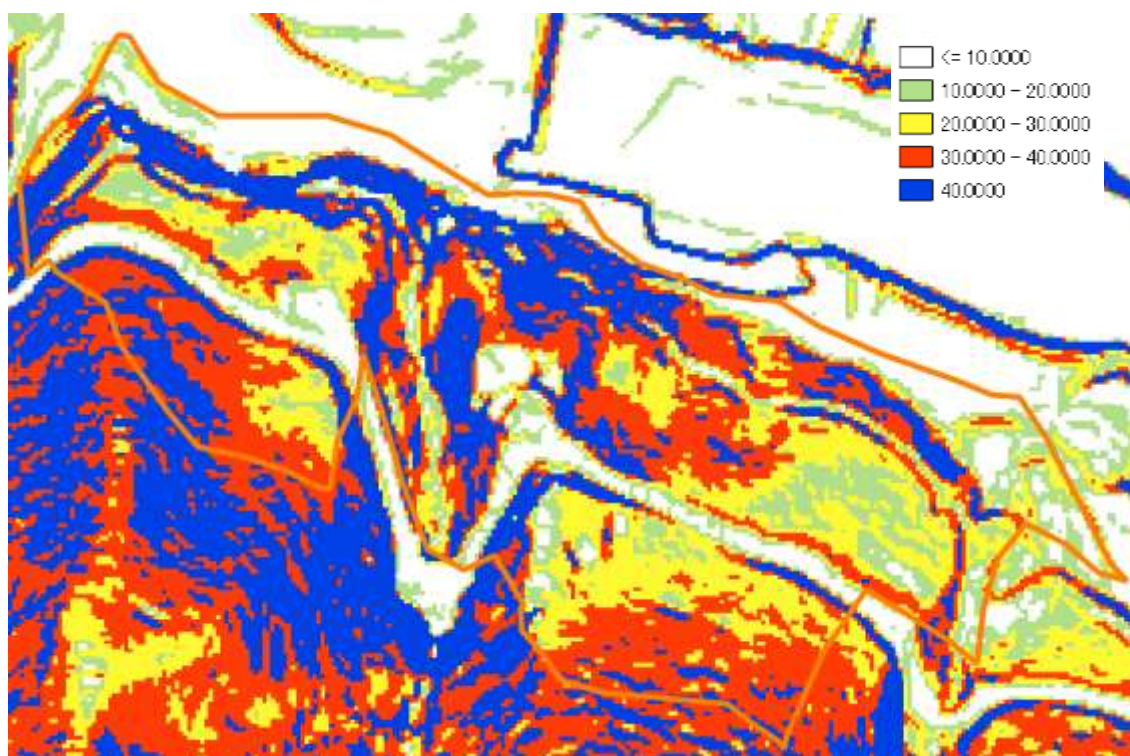
調査は、当初、宮崎県森林組合連合会に委託する予定であったが、計測時期が秋にずれ込んだことで多忙を理由に辞退され、また、見積もり単価も当初設計と折り合わず、やむなく県森連に準ずる技術を有するスギサチ林業事務所（大地）に委託して実施した。

ドローンレーザー計測は12月に実施され、機材としてはDJI Enterprise M300とZenmuse L1とP1を用いて実施された。計測の際は、十分なレーザー照射を行うため、高度40mを地形追従フライトによって実施した。これによって1㎡あたり約500点という十分な密度のデータを得た。

この点群データをもとに、DTM（地表面データ）、DSM（地表面データ）を取得し、その差をとることで造林木の樹高を得た。ただ、レーザー計測では胸高直径を実測できないため、現地でプロット調査を実施し、それをもとに胸高直径の推定を実施した。そして、樹高と胸高直径を2変数とした幹材積表をもちいて単木あたりの材積を算出し、それらを足し合わせて林分全体の材積を算出した。



図一3 県北試験地の3D点群モデル



図－4 DTM をもとに作成した傾斜区分図

これらのデータは、主伐作業時の架線設計や立木公売シミュレーションの基礎資料として活用された。

架線設計においては、伐採予定地を含めた周辺の微地形を精密に、かつ一体的に把握したことで、「鳥の目」でいくつかの架線の設計案を比較検討し、最善のものを選ぶことができた。

今回の場合は、伐採予定地に対して効果的にローディング器具を送り込めるように主策の配置を考え、元柱と先柱の間の高低差や線下高を予測した。そして、実際に架線を張り上げた結果、ほぼ予測のとおりになることを確認した。

また、立木公売シミュレーションへの活用に関しては、一般の素材生産事業者の立木購入では、所有者との間の相対交渉で行われる場合が多く、毎木調査を実施せずに売買が行われることが少なくない。それゆえに森林所有者と素材生産業者との間で「情報の非対称性」が生まれ、前者に不利な契約になりがちになるが、今回、レーザー計測で省力的に毎木調査が実施でき、毎木調査以上のデジタルデータを森林所有者ならびに複数の素材生産事業者に提供できたことで、「情報の非対称性」が軽減しうることを確認した。

表一 2 造林木の材積表

胸高直径 (cm)	樹高 (m)	平均単材積 (m ³)	本数 (本)	実材積 (m ³)
12	12	0.07	1	0.07
16	15	0.16	4	0.63
18	16	0.21	10	2.06
20	16	0.26	10	2.62
22	18	0.33	10	3.26
24	18	0.39	24	9.27
26	18	0.45	17	7.66
28	20	0.55	34	18.70
30	20	0.65	33	21.30
32	21	0.76	55	41.54
34	22	0.88	78	68.26
36	22	0.98	40	39.20
38	23	1.12	102	113.76
40	23	1.22	46	56.12
42	24	1.38	115	158.70
44	24	1.46	16	23.40
48	25	1.80	66	118.87
50	27	2.08	1	2.08
52	25	2.12	53	112.40
54	26	2.28	6	13.68
58	27	2.66	23	61.18
60	27	2.82	3	8.46
62	25	2.76	3	8.28
64	28	3.25	6	19.50
70	29	3.91	3	11.73
72	26	3.67	3	11.01
74	29	4.28	1	4.28
78	30	4.83	1	4.83
84	27	4.93	4	19.72
98	28	6.60	4	26.40
総本数・総材積			772	988.97

(但し、広葉樹を除く)

(2) 主伐作業

令和4年度は県北に設定した実証試験地において実施した。同試験地は美郷町南郷鬼神野月井谷に位置する。

同試験地は、9月の台風災害によって他の候補地が全滅したので、選び直して決まった。ただ、同試験地も台風の被害が大きかった県北にあるため、無傷ではなく、同現場に続く林道が被災し、重機やトラックをまわせない状態になっていた。そこで、林道の反対側の道端から架線を飛ばし、伐採搬出することを試みるようになった。

宮崎県における奥地化とは、このような林道災害によってアプローチできなくなる、というパターンも多く見受けられ、その点では典型的な現場となった。作業は、同試験地の立木を購入してあったヤマサンツリーファームに委託して実施した。

本事業で実証した作業システムは、チェーンソー伐倒後、イワフジ工業が開発したラジコン油圧集材機&架線グラップル(YR302E&BLG16R)で集材と土場までの運搬を一気に実施するというものである。

作業はおおむね次のような工程で実施された。

表一3 主伐実証の作業工程

月日	内容
1/16～	センター伐開始
1/24	元柱・先柱の現地検討
2/3	ドローンによる架線資材運搬
2/4	ドローンによるPEライン運搬
2/5	エンドレス索用ロープ張り回し
2/6	油圧集材機現着・据付
2/7～9	ワイヤ類の張り上げ、ロードセル設置
2/10	架線グラップル試運転
2/13～	実証開始
2/20	(現地研修会対応)
2/21～	実証継続
2/28	撤収開始
3/3	撤収完了
3/9	運搬完了

① 作業システムの質的变化

集材機の設置からシステム稼働までの一連の作業を観察したうえで、通常の架線集材との質的な変化として確認されたことを列記すると以下のとおりとなる。

集材機の操縦と荷掛けが無人になる。従来は荷掛け、集材機オペ、荷外しの最低でも3人体制が必要であったが、先山と元山に一人ずつ送信機を据え置けばそれで集材・搬出が完結する。今回は、ワイヤのトラブル等に備えたり、ホールバック線の引

き回しに人数が要るので、そのように極端に人数を減らすことはなかったが、技術的には十分にその可能性があることを感じさせた。特に、自動搬送（始点と終点を搬器に記憶させ、ワンタッチで繰り返すことができる）は使いこなせれば、相当な作業効率向上になると思われた。

また、ローディング器具自体が 500kg と重量があるため、主策に大きな負担がかかることを想定し、主策は太めのワイア（22mm=24mm 強度）のものを使用することが推奨される。これはコスト増や張り回しの負担増の要因となるので注意が必要である。

また、無人であるため集材機の置き場所の自由度が高くなる。通常、集材機は集材機オペが先山を目視できる位置に設置することが好ましいが、イワフジの新技术では集材機が無人で運転できるため、有人操縦を想定した設置を考える必要がなくなる。これは現場の空間の使い方を一変する可能性があると感じる。

また、ローディング器具自体が 1 m 程度の高さを有するので、通常の架線集材よりも器具が地面と接触しやすい。今回は、レーザー計測の結果、中尾根でかなり苦しくなるのが当初から想定されていたが、通常の架線ならば超えられるところ、架線グラップルは超えられるか、という意味で実証した。結果は、超えられないかった。この結果から言えることは、架線グラップルでは通常よりも集材可能範囲がやや狭くなる。くわえて空荷の状態でもローディング器具自体の重要によって主策が大きいたわむので中尾根を越すのに十分な高さが必要になる、ということである。



写真－7 中尾根を越せなかった架線グラップル

また、有人荷掛けの場合は、木の大きさや状態に合わせて括りを調整できるが、架線グラップルによる無人荷掛けの場合は、熟練するまでは照準を合わせてつかむのが精一杯で、微妙な調整が利きにくいということがわかった。

写真－8は、谷筋に集まった材をグラップルでつかんだときのものである。これを見るとわかるように、いわゆる「驚ぶかみ」の状態でグラップルの下に潜んでいたスギや残材まですべてつかんでしまい、思わぬ重量になる、重心バランスがとれなくな



写真－8 架線グラップルの「鷲づかみ」

る、あるいは、木と木が引っかかって抜けなくなるなど、さまざまなトラブルの原因となる。逆に言うと、人力荷掛けの際は、そのあたりの状態を荷掛け手が見極めながら、丁寧に、確実に吊ることもできたはずで、その点は無人化によって逆に一つ問題を抱え込んだといえるかもしれない。

ただ、「鷲づかみ」が得意というのが活かせるシーンもあり、例えば枝条残材の集積である。枝条残材くらいの重さであれば、鷲づかみで効率よく集めてることができると強く感じた。

また、荷掛けの不器用さでいうと、もう一つ指摘すべき点があり、それはつかみ直しが苦手であるという点である。例えば、一旦つかんで、つかみどころが悪かったため、もう一度つかみ直すというようなシーンでは、きちんと一度ワイアを下げてテンションを抜いてあげないと、離れた瞬間逆バンジーよろしく架

線グラップルが跳ね上がり、トラブルの原因となりかねない。

また、荷掛けについては、いちおう無人化可能で、内蔵のカメラを使えば遠隔目視も可能ということになっているが、これはまだ実用段階にない。本現場でも何人かの作業員が挑戦してみたが、カメラの映像ではどんなに高画質でも、なかなか遠近感をつかむのが難しい。結局はカメラは使わず、目視で、しかもできるだけ近づいての目視で作業する様子がみられた。

② 工程分析

1) 調査手法

調査は本試験中、令和5年2月15日から17日のうち、15日から17日の3日間行った。観測においては、ストップウォッチによる時間観測を行うとともに、ロギング機能つきGNSS受信機をグラップルに装着して毎回の集材距離および横取り距離を記録するとともに、集材された材を造材するハーベスタで造材した丸太の材積を記録した。時間観測においては、作業を「搬器空走行」、ホールバックラインとリフティングラインを操作して集材対象の伐倒木まで搬器を移動させる「寄せ」、グラップルを開閉して材をつかむ「材つかみ」（従来の荷かけに相当）、「横取り」、「搬器実走行」、「荷下ろし」に区分した。

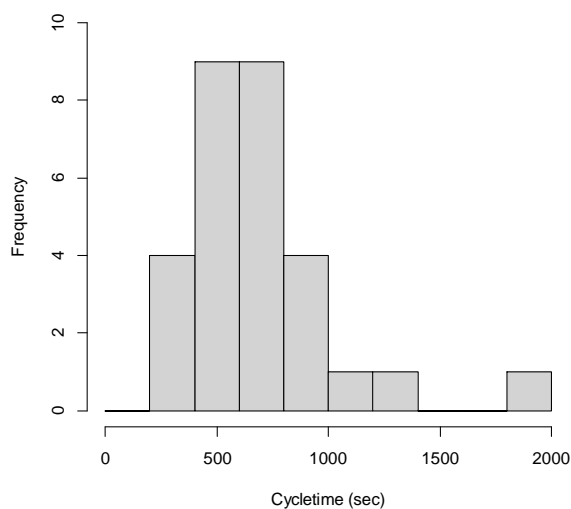


写真－9 林内にコントローラをもちこみ、近接目視で作業

2) 結果

ア) 作業時間

作業観測の結果、43669秒の作業を観測し、観測時間中の搬器の往復回数(サイクル数)は35往復であった。ただし、このうち2往復については種々の事情により一部の要素作業が実行されなかったため、完全な形で作業を観測できたのは33往復であった。サイクルタイム(作業1往復をこなす時間)は平均676秒、分散は98247秒であり、その分布は図－5に示すとおりであった。



図－5 サイクルタイムのヒストグラム

また、各要素作業ごとの占有割合は図-6に示すとおりとなった。なお、非定常作業とは、来訪者とのやりとりや操作の練習など、通常の作業では発生しない、本事業の特殊性に起因する作業を表している。図-6より、材つかみに最も多くの時間を要していることが示されている。観測中実際に、つかむ伐倒木までグラップルを誘導するのに時間を要していることが伺えた。

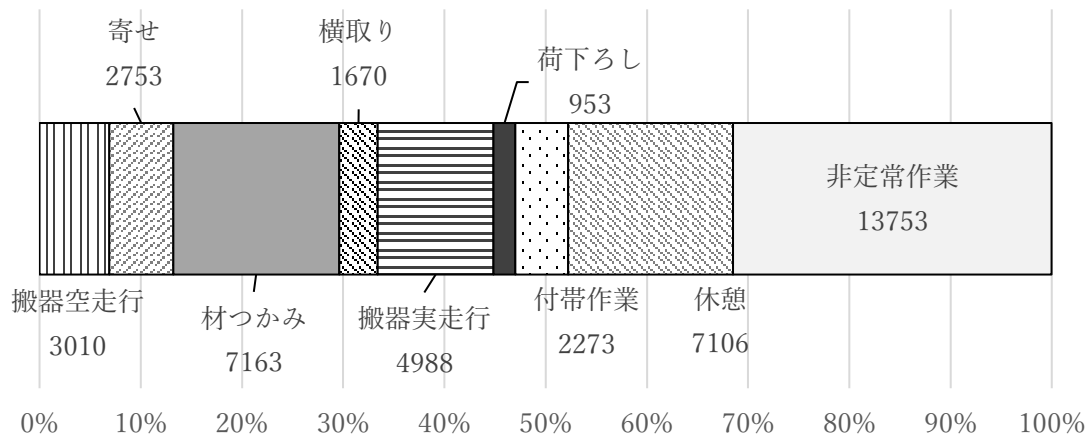


図-6 要素作業の構成 (数字は合計作業時間 (秒))

イ) 集材材積と生産性

観測中に集材された材は48本(うち4本は不完全なサイクルに集材されたもの)であった。集材された材積は末口二乗法による丸太材積で33.3m³であった。すなわち、観測期間中の生産性はPMHベースで5.83m³/時間であった。作業員は固定されていなかったため投入労働力を正確に求めることは困難であるが、最も長い時間とられていた体制である土場オペレータ1名、先山オペレータ1名、先山でのグラップルの照準誘導1名の3名作業を用いると、作業工程は15.6m³/人日となった。集材作業の生産性は一般的に立木幹材積を基準として計算されることが多いので、比較のために造材歩留まりを0.8として換算すると、作業工程は19.5m³となる。

また将来的に、先山のオペレータが習熟して1名体制となり、また土場のオペレータもプロセッサと兼務することで0.5人となるという理想的な体制を想定すると、生産性は31.2m³まで伸ばすことができると想定される。

ウ) 集材距離と生産性

GNSSを用いて計測した搬器走行距離は平均222m、分散1615mであった。分布を図-3に示す。また、走行距離と走行時間の関係は空走行が図-7、実走行が図-8に示すとおりである。なお、空走行終了後にグラップルを誘導するために搬器を短距離動かすことがあり、これは搬器空走行に含めていないため、同じサイクルの空走行距離と実走行距離は一致しないことがある。

走行距離の分布は正規分布ではないことからSpearmanの順位相関係数を求めると、空走行が0.6282、実走行が0.8317であり、ともに有意水準0.5%で相関の有意性が示された。一般的に、搬器空走行は走行距離と走行時間の相関が高く、搬器実走行では吊り下げた材が地面と干渉するなどの理由によりばらつきが大きくなり、相関が低下する傾向にある。しかし、本事例では逆に搬器空走においてばらつきが大きい結果と

なった。この原因として、搬器およびグラップルの操作権限の受け渡しがスムーズに行われなかったことがある。前者に関しては、土場側オペレータから先山側オペレータに搬器の操作権限を渡したときに先山オペレータが移動や他の作業中で、すぐに搬器を発車させることができなかったことが主な要因である。また空搬器走行時間のばらつきが大きいもう一つの理由として、スカイライン、ホールバックラインの滑車、集材したい 伐倒木の位置関係によっては搬器の停止位置の決定が難しく数十メートル程度を搬器が徐行運転したことが挙げられる。

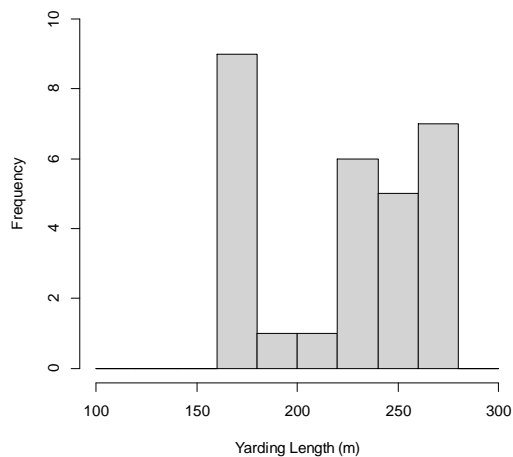


図-7 集材距離のヒストグラム

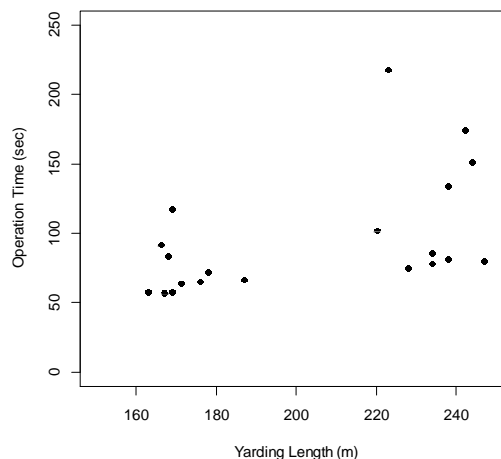


図-8 搬器空走行距離と走行時間の関係

エ) 結論

今回の作業において、架線式グラップルは高い生産性を示した。しかしながら、グラップルを伐倒木に寄せていく過程には時間を要しており、この点を改善していく必要がある。メーカーの触れ込みでは、先山オペレータは安全な離れた箇所から、簡単にグラップルを誘導できるという話であったが、実際に作業を行うとグラップルを誘導するためにもう一人の作業者を補助としてつけるか、オペレータが頻繁に移動する必要があった。カメラ搭載も準備されているが、グラップルに近すぎて、重なっている材のなかから掴む材を選択するときなどには活用が難しいように思われる。理想的には、グラップルと周辺をうまく俯瞰しつつ誘導を補助できるような機構が望ましいと思われる。

大径材をつかむ性能に関しては良好であった。集材を観測した材のうち、最大の末口直径は41cmであり、今回の作業ではそれ以上の大径材は忌避したものの、直径40cm程度の材までは把持できることが実証された。九州はともかく、全国的には十分な能力をもつと考えられる。

③ 荷重分析

ローディング器具自体が重いので、思った以上に木を吊れないのではという心配に関しては、元玉の直径が 50cm くらいまで吊れることを実証した。これは、当初の期待以上の成果で、同システムに対する印象がこれによって大きく変わった。

一方で、集材機に過度な力がかかり、アラームが鳴るようなシチュエーションは、吊り上げ時にはほとんど起きず、折り重なった木を引き抜くときにエンドレス索を巻いている際によく生じていた。

また、ロードセルをもちいて主索にかかる荷重をデータ化したところ、主索には自重と架線グラップルの 500kg を合わせて常に 6 t 程度の力がかかっており、これが大きな木や複数の木を吊り上げたときに最大瞬間で 13 t の力までかかることを確認したが、それ以上の力は発生していなかった。

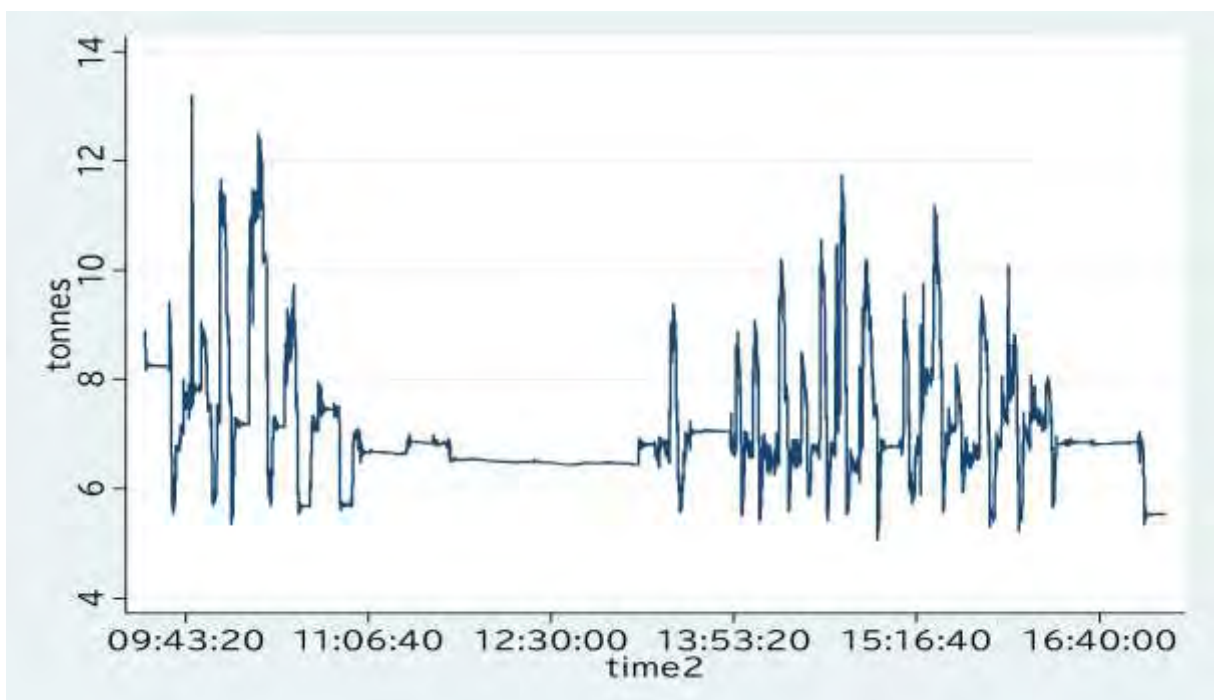


図-9 ロードセルによる荷重モニタリングの波形

(3) 一般民有林立木公売シミュレーション

① 目的

私有林における立木売買のほとんどは立木を売る側の森林所有者と買う側の素材生産事業体もしくは仲介人の間の相対交渉で行われている。国有林や公有林では、通常、入札が実施されるが、私有林では稀である。しかしながら、今日では立木を売る側の私有林所有者は、販売する立木の価値を分かっていないことが多い。売ろうとする林地の面積、立木材積、集材条件、時々の素材価格の相場などから、立木がいくらの価値を持つのか、見当をつけることができる所有者は少ない。

このように売り手と買い手に大きな情報上の格差がある状況で相対交渉が行われると、立木の価値が正当に評価されずに安く買われることが起こりうる。そうすると、森林所有者側では、その林地の林業的価値が見極められないし、加えて立木販売収入

が少ないと、次の再造林が適正に行われないうつながらる。また、素材生産事業体側では、より効率的で低コストな伐出生産を行いうる事業体が競争力をもつべきであるが、そのような正常な競争が起こらずに終わる。さらに、このようなことが起こることを恐れて、森林所有者側は、そもそも立木を販売することをためらうようになるであろうし、それはすなわち、林業経営への消極的な姿勢を増すことにつながってしまう。全体として、産業の縮小、資源の過小利用を招きかねない。

立木市場の売り手である森林所有者の情報劣位は、長年林業が低迷し、我が国産業構造が変わり、農山村から都市への人口流出が続いてきた中で、近年ますます強まっております。立木取引におけるこの難点を乗り越えることが、主伐再造林期を迎えた日本林業にとって重要な課題の一つとなっている。

本実証課題では、この立木取引に第三者が入り、情報機器を活用して資源情報を客観化、精緻化して提供し、新たな取引機会を創出することができないかを検討する。新たな取引機会として、具体的には、その第三者が入札会を実施することを試すこととした。目指すところとしては、この第三者による資源情報の提供と入札会開催が、ビジネスとして成り立たせ、立木市場の活性化を図ることを見据え、今回は、一つの現場について、資源情報の把握、提供と模擬入札を実施した。

② 方法

本事業で架線グラップルを試用する予定の伐採現場 1 箇所を対象とし、第三者（以下、入札実施者と呼ぶ）が所有者への聞き取りを行った上で、ドローンレーザー計測等を行って資源情報を作成し、これを初め入札の条件を応札者となる素材生産事業体に提示して、模擬入札を実施した。

現場は、2ha の山林であるが、一部が雑木で、伐採の対象はそれを除くスギ 50～60 年生であった。詳細はのちに資料を示すが、レーザー計測の結果、スギ 772 本が立っており、樹高 20～25m、胸高直径 40cm 前後で、立木材積 988 m³の山であった。

ひむか維森の会の責任ある素材生産事業体認証を取得した事業体（CRL 認証事業体）3 社が応札者役として選ばれた。1 社は実際に、この後、架線グラップルの試用も含め、この現場を伐採する会社であり、他の 2 社は町内と隣接町村の事業体を選ばれた。

1 社が架線グラップルの試用を予定していることもあり、様々な想定を試す意味で、各社、それぞれ異なる集材方法を想定して評価をしてもらうこととした。事業体 A は従来の架線集材、事業体 B は架線グラップルによる集材、事業体 C は車両系集材を想定して、立木代を見積もってもらった。伐出コストについては、それぞれの会社の積算があるが、それをあからさまにするのは憚られ、また架線グラップルは初めて使うので、こちらから予め、従来の架線集材では 6,000 円/m³、架線グラップルでは 5,500 円/m³、車両系集材では 4,500 円/m³を目安として提示し、そのあたりで計算してもらうよう依頼した。バランスを取る意味で、スギ素材の平均販売単価は、従来の架線集材、架線グラップルの場合は 15 千円/m³、車両系集材の場合は 12 千円/m³であることを想定して計算してもらうように依頼した。

架線グラップルを張る予定の事業体 B は事前に現地を訪れ、山を見ているが、事業体 A と C は山を見ずに、あえて入札実施者から提供された情報だけで応札してもらうこととした。その情報だけで応札できるのか、どのような限界があるのか、検討するためである。

なお、伐採後は再造林することを前提としたが、入札は立木の売買だけを対象としたもので、再造林のための費用等は考えないこととした。また、現場は河川沿いで用水ダムに接する場所であることから、河川へ伐倒木や転石が落ち込まないように注意し

て作業することを作業上の条件とした。

模擬入札会は、2023年1月28日に実施した。応札社役の3社が、金額のほか、集材方法等について所有者に対しプレゼンをする方式を取って行なった。

③ 結果

ア) 入札実施者による資源評価

今回は、入札を開帳する側として、造林木に関するデータは入札実施者の側で用意し、素材生産事業体に提供した。具体的には、(1)に示したドローンレーザー計測のデータと、林内随所で撮影した林内写真を30程度提供した。

なお、ドローンレーザー計測に要した時間は、計測のプランニングに1人日、実施に2人日、そして現地踏査に3日である。今回の実証エリアは、全体としては10ha程度あり、その全貌を抑えようとすれば調査だけで20~30人日は要する。しかし、ドローンレーザー軽装ならば、ドローンとレーザー計測器への投資があるので、コストで見ると必ず安くなるとは断言できない部分があるが、省力化に関しては確実に成果が出る。

イ) 模擬入札における応札状況

応札者である3事業体から、入札金額とその算出の仕方について、次のとおり説明があった。

事業体Aの入札金額は450~470万円であった。これは、立木材積当たりでは、4,554~4,757円/m³である。目安として提示した素材販売価格平均が15千円/m³の市況表を用い、収穫調査結果表の直径別に販売単価を設定し、歩留まり75~80%で売上を計算した。一方、伐出費用は出荷先までの運賃込み6,000円/m³が妥当と考え、さらに手数料、利益率を引いて、入札金額を求めたとのことであった。

事業体Bの入札金額は480万円であった。立木材積当たりでは、4,858円/m³である。売上は利用率70~80%、曲がり50%で計算した。伐出費用の見積もりについては、架線グラップルを用いる想定であることから、従来の架線集材での実績をもとに、人員が1人減らせる代わりに、仮設は1、2日余計にかかる設定で試算したとのことであった。また、所有者に対しては、金額の他に、架線グラップルなので、道を入れず山肌をそのまま、かつ、グラップルで枝条の整理、特に川に落とさないようにできる、ことをアピールしていた。

事業体Cの入札金額は360万円であった。立木材積当たりでは、3,644円/m³である。歩留まり80%として利用材積を出し、利用材積当たり単価を4500円/m³と見積もって、入札金額を算出した。集材は、既設林道だけを使用し、作業道解説はせず、必要な箇所はスイングヤードで引き出すことを想定した。特に川沿いは、川に倒れ込まないようにロープをかけてから伐倒するとのことであった。

以上がプレゼンの内容の要約であるが、プレゼンの後に、模擬入札と資源評価の内容に対する感想、意見を聞いた。

事業体Aは、通常、相対交渉で買う民有林の物件であれば、必ず毎木調査をすることであった。それに対して、入札にかかる物件では、調査をさせてもらえないが、この方式ではそこはどのようにするかを決めていく必要があるのではないかとの意見が出された。また、架線をどう張るかの検討含め、山を見る機会は必要で、提示された資料だけでは難しいとの意見であった。特に、レーザー計測の精度が不安なので、本当にそのデータだけで入札をしないといけないならば、安全を見て、安めの450万

円で入札するだろうとのことであった。これが相対交渉であれば、450～470 万円の幅を持った上で 450 万円から交渉するが、一回限りの入札では、レーザー計測の精度が不明な現状では、安全を見て 450 万円にせざるを得ないということであった。また、相対交渉では、相手が求めれば、積算根拠をある程度細かく示し説明することもあるそうで、金額だけの入札だと、それができな苦なり、かえってよくないのではないかと意見も聞かれた。

事業体 B は、通常であれば、この規模の物件ではプロット調査をするとのことであった。この地域の山ではシカの皮剥ぎの被害などもあるので、必ず木を見て買うが、そうした被害木かどうかといったことはレーザー計測では分からないことなので、やはり現場を見て買う必要はあるとの意見であった。また、レーザー計測の場合、樹高の推定が正しいかについては、目で見た結果と付き合わせて補正をするなりした方が良く考えるとのこと、やはりレーザー計測の結果は一つの資料としながら、それらを現地の目視で補うことが必要との考え方であった。

事業体 C も、実際には山を見ないと金額を提示するのは厳しいとの意見であった。ただし、C 自身はとてもしないが、事業体によっては、航空写真から成立本数を数え、樹冠の大きさから木の大きさを推測し、それで単価を設定して見積もりを出して買う事業体も実際にいるらしいので、今回の情報だけで十分買える人もいるのだろうという意見も述べられた。また、私有林でも、共有林では、この地域でも入札が行われことがあるそうで、それに近い試みになるのではとの評価であった。ただし、そうした共有林で入札が行われる場合には、所有者側もかなり応札者を限定した指名入札の形を取るとのことであった。これは、一つには信頼のおける事業体だけに入札してもらいたいということと、所有者側と事業体側の信頼関係を保つ意味で、あまり激しい競争を強いることはできないという考えによるものだろうということであった。事業体側も参加しやすい入札のあり方を考えていくべきだろうとの意見である。

④ 考察

本実証課題では、立木取引に第三者が介在し、情報機器を活用して資源情報を客観化、精緻化して提供するとともに、入札実施者となって入札会を実施することを、新たな立木取引機会を創出するビジネスモデルとして想定し、それに向けて、試行的な模擬入札会を実施し、その使用感を検討した。

国公有林や共有林では、立木入札は行われており、それに近いものとして、このような資源評価と入札が十分可能であることは確認できた。しかし、いくつか課題も出てきたので、今後は、そのような課題をクリアしながら、具体的な実施方式を検討し、その条件で、資源評価&入札が第三者が介在して行う事業として成立するのか、詳細に検討していく必要がある。具体的に、今回の試行から浮かび上がってきた課題として、以下のことがあげられる。

第三者が、レーザー計測など使うことで精度の高い資源情報を提供するという目論見は良いが、課題もある。ドローンレーザーは、まさに今普及が始まったところであり、今後、実績を積み、調査精度の信頼性が確立されなければならない段階にあると言える。逆に言えば、数をこなして、大体の精度や傾向が分かってくれば、労力のかかる毎木調査に取って変わる可能性は十分にあると考えられる。

ただし、一方では、応札者役の 3 事業体が口を揃えて言うように、山を見る必要はあり、現地を見ないで、例えば Web 上で計測結果や写真だけを見てオンライン入札をするということは現実的でない。アクセス道路の確認なども含め、現地を見てもらう

機会を設けることは必須であろう。その場合に、事業体が計測することを許すのかや、森林所有者と話をする機会は持つのか、いかに設定するのかなども検討課題であろう。第三者が介在することで、コミュニケーションがより面倒になる部分もある。より良い情報共有ができる設定を見出す必要がある。

事業体としては、毎木調査など資源調査にかかる労力、所有者との交渉をする手間暇が軽減できることになるが、今回、その軽減された分、事業体が立木を高く買えるのかまでの詳細については、検証できなかった。というのも、立木代を見積もるのに事業体側では調査・交渉費用を細かく計算したりはしておらず、それは利益率や手数料として見ている。そのため、そこで費用軽減された分が立木代の見積もりに反映されることにはならず、その軽減効果を目に見える形で検討することができなかった。この軽減効果と、代わりに入札実施者が資源評価等にかけた費用を比較する必要があり、これについては、さらに見極めていく必要がある。

入札方式を取ることに付いての課題としては、2点があげられた。

第一に、入札では金額だけを書いてもらい、金額だけで落札者を決めるのか、それとも、その他の詳細な見積もりや伐出方法、林地への配慮などの提案を含めた評価とするのかを決める必要がある。明らかに前者が楽な方法であるが、コミュニケーションを図り、責任ある素材生産を促すという観点からは後者が望ましい。後者だとすると、どのように所有者とやり取りをして落札者を決めるのかなど、必要な情報が伝わり、かつスムーズに落札者を決定できる方式を定める必要がある。

第二に、従来は共有林の入札でも、あまりオープンな入札にはせず、信頼のおける関係での指名入札が行われているとの話があったが、競争と信頼の上での継続的關係構築のバランスは考慮すべきであろう。今回は、現場の近隣に所在するCRL認証事業体から応札者を選んだが、森林所有者側も応札者側も納得のいきやすい仕組みとするべきであろう。

Ⅲ 今後の事業の展開方向

令和4年度の実証は、特に大きな失敗もなく、新技術への信頼が高まる結果が得られたので、令和5年度は予定通り架線集材が廃れた県南において事業を実施し、架線への再評価を獲得するように努めたい。具体的には、約9haの主伐地のうち急斜面の上げ荷を今回の新技術で実施しながら、重機集材と架線集材を組み合わせることで全体効率の改善を図る。本事業がめざす「二刀流」のノウハウを蓄積し、普及する。

一方、造林に関しては令和5年度は県北と県南両方でアシストスーツと資材運搬ドローンを利用した作業を実施する。

ただ、当初は本事業で伐採した跡地に再造林する予定であったが、地拵え・植栽以外にもアシストスーツが活躍する現場があるのではという議論が出てきており、できれば再造林の試験地に関しては本事業の伐採地にこだわらず、地拵え・植栽だけでなく下刈りもくわえて実証を実施したいと考えている。また、さらには伐倒作業の際にも使用できないか、安全性の確保に十分注意しながら検討したいと考えている。

資材運搬用ドローンに関しては、今年度も架線資材の運搬に利用したが、令和5年度は、さらに本格的に架線の張り回し支援と、シカネット、苗木の運搬に活用する予定である。これにより、架線の難点であった索張りにかかる時間を短縮し、架線集材

の再導入をサポートする仕組みを構築したいと考えている。

最後に、立木購入シミュレーションに関しても、今年度は素材生産業者の側が他業者と競わされる過程で企業情報が過度に流出し、森林所有者との間で「情報の非対称性」の逆転とも呼べる状況が起こることが確認されているので、このスキームを根付かせるためには、素材生産事業者側の情報を守る機構が必要であると考えている。令和5年度は県南の主伐現場の設計・施工を進める過程で、令和4年度の成果と教訓をふまえてさらに工夫したシミュレーションを実施し、問題点をどこまで解消しうるか試みたい。

以上