

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

先進的林業経営体によるタワーヤードフル活用モデルの構築
事業成果報告書

令和5年3月

前田商行株式会社

一般社団法人日本森林技術協会

目 次

I	実証事業の概要.....	1
1	事業の名称	1
2	取組の背景	1
3	実証のテーマ	2
4	実証団体の構成.....	2
5	林業経営体、支援機関、実証事業関係者関連図.....	2
6	実証事業の内容.....	3
7	実証事業の目標.....	6
II	令和4年度の実施結果.....	7
1	協議会、現地検討会の開催経過.....	7
2	令和4年度の実行結果（経過）及び取組の評価と課題.....	10
III	今後の事業の展開方向.....	20

I 実証事業の概要

1 事業の名称

先進的林業経営体によるタワーヤードフル活用モデルの構築

2 取組の背景

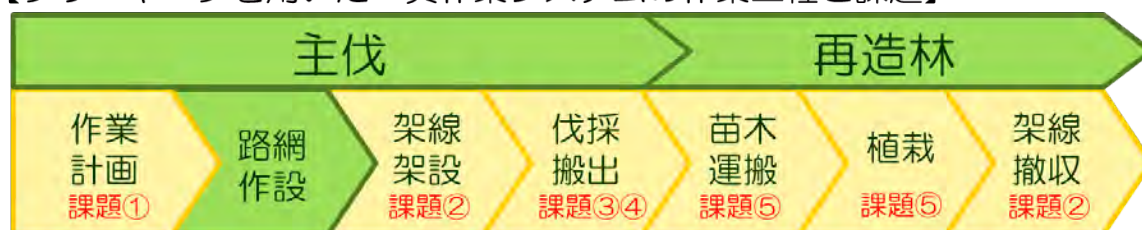
我が国の森林は、地形が急峻であるだけではなく、複雑な地形・地質を有し、路網の開設が困難な場所が多くある。このような場所において、安全で効率的な木材生産を実施していくためには、架線系作業システムによる「伐って・使って・植える」を実現できる

「新しい林業」の経営モデルを構築することが必要となっている。

本事業において、実証を担当する代表林業経営体は、先進的に欧州製のトラック搭載大型タワーヤードを導入し、タワーヤードの走行を考慮した路網整備と組み合わせた、一貫作業システムによる木材生産を実践している。こうした実践を通じてタワーヤードの活用に関して豊富な経験・ノウハウを有している林業経営体が、さらなる安全で効率的な木材生産の実現を目的として、「新しい技術」の導入についての実証を行うとともに、その結果を普及していくことは、当該林業経営体だけでなく、急傾斜地における効率的な木材生産を目指している全国の林業経営体の総収支向上等に向けて必要不可欠であるものと考えます。なお、現状における、タワーヤードを用いた一貫作業システムの作業工程と課題は以下に示すとおりである。



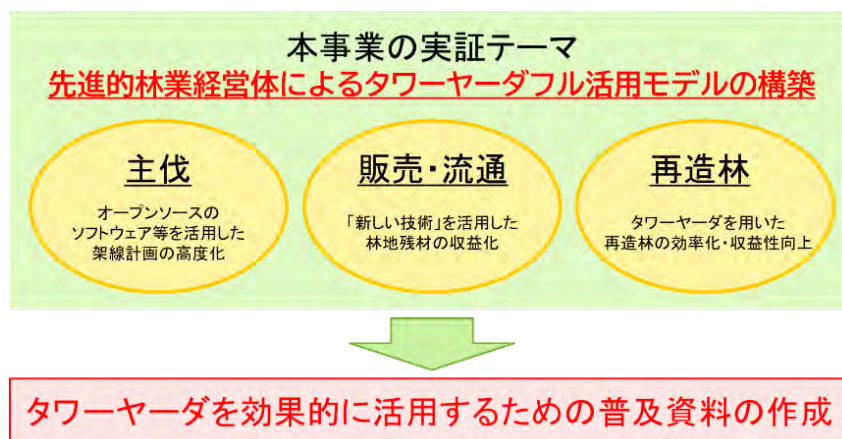
【タワーヤードを用いた一貫作業システムの作業工程と課題】



- ≫ 課題① 作業計画の高度化
- ≫ 課題② 架設・撤収作業の効率化
- ≫ 課題③ 造材作業により発生した林地残材の収益化
- ≫ 課題④ 機動性向上による木材生産の効率化
- ≫ 課題⑤ タワーヤードを用いた再造林の効率化

3 実証のテーマ

本事業において、先進的にトラック搭載大型タワーヤードを導入・活用している林業経営体における課題のうち、主伐についてはオープンソースのソフトウェア等を活用した架線計画の高度化を、販売・流通については「新しい技術」を活用した林地残材の収益化を、再造林についてはタワーヤードを用いた再造林の効率化・収益性向上を、テーマとして実証を行うこととした。またあわせて、最終的には、タワーヤードを導入している林業経営体における総収支の向上はもとより、これから急傾斜地における木材生産に取り組もうとする林業経営体が参考となるような、タワーヤードを活用した効率的・効果的な木材生産を実施するための普及資料を作成することとした。本事業における実証のテーマは下図のとおりである。

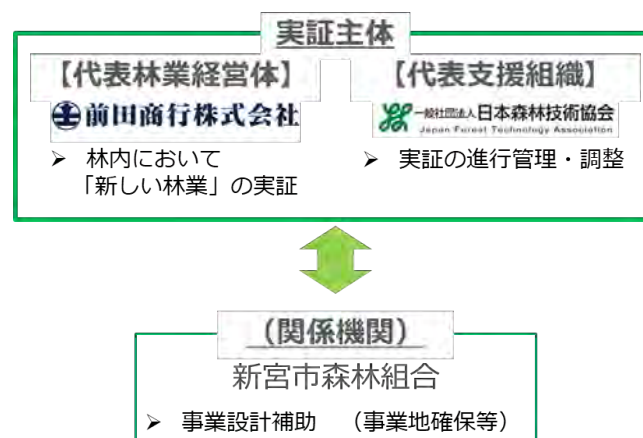


4 実証団体の構成

実証団体は、前田商行株式会社及び一般社団法人日本森林技術協会が共同事業体を組織する形態とした。具体的には、前田商行株式会社は、代表林業経営体となり林内において「新しい林業」の実証を担当した。また、一般社団法人日本森林技術協会は、代表支援機関となり実証の進行管理・調整等を担当した。なお、関係機関として、新宮市森林組合に事業設計補助等を依頼した。

5 林業経営体、支援機関、実証事業関係者関連図

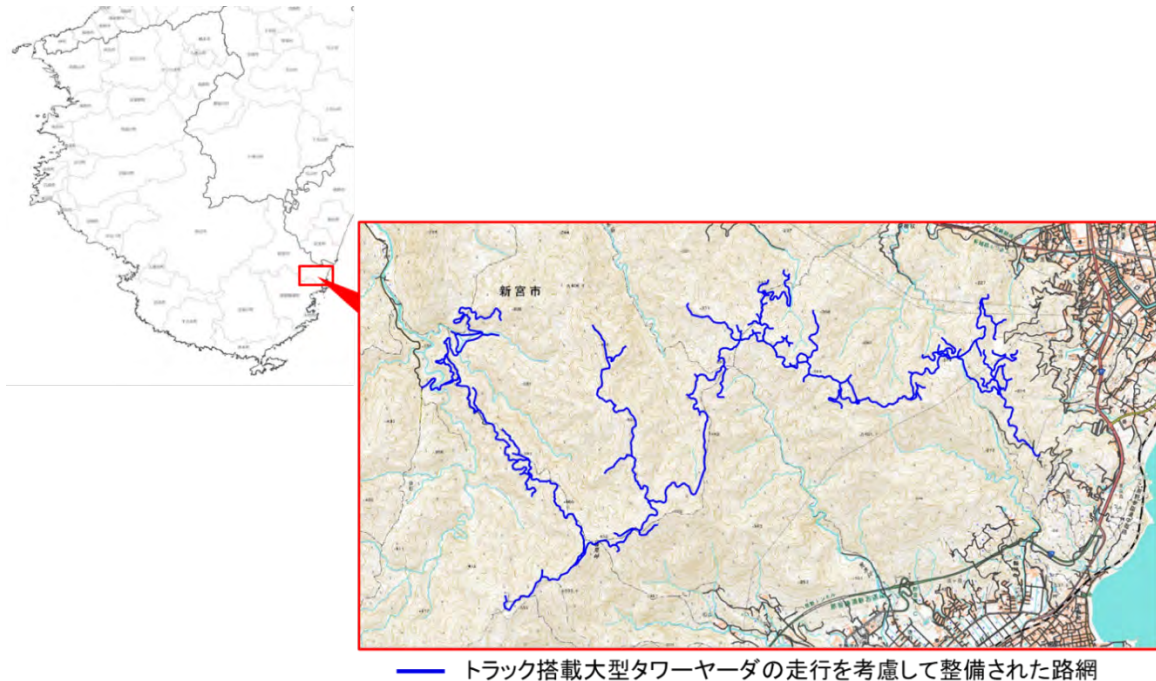
実証団体の役割などを示した、実施団体林業経営体、支援機関、実証事業関係者連関図は下図のとおりである。



6 実証事業の内容

(1) 実施場所

実証を行う現場は、代表林業経営体が所在し、同社が実施する和歌山県新宮市内の木材生産現場とした。この現場については、タワーヤードによる木材生産の現地確保と併せて、トラック搭載大型タワーヤードの走行を考慮した路網整備が進められている。この路網は、タワーヤードを用いた木材生産だけでなく、現場従業員の通勤やトラックによる運材等に年間を通じて使用していることから、細かなメンテナンスが行われており、台風の影響を受けやすい地域にもかかわらず、路網の維持管理が実現されている。



(2) 事業区分毎の計画内容

先進的にトラック搭載大型タワーヤードを導入・活用している林業経営体における、主伐（実証①）、販売・流通（実証②）、再造林（実証③）についての課題の解決を目的として、以下に示す計画内容に基づき実証に取り組んだ。

【実証項目】



- » 実証① オープンソースのソフトウェア等を活用した架線計画の高度化
- » 実証② 「新しい技術」を活用した林地残材の収益化
- » 実証③ タワーヤードを用いた再造林の効率化・収益性向上

◆ 実証① オープンソースのソフトウェア等を活用した架線計画の高度化

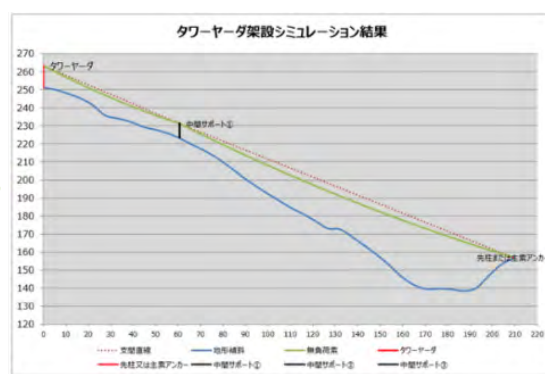
タワーヤードによる安全で効率的な集材を実現するためには、適切な架線高の確保や中間サポートの活用等が必要不可欠である。架線の位置等の選定に際しては、地形図等を用いた机上計画の結果を基に現地踏査を行い、具体的な架設場所を選定することになる。

本事業で実証を担当する代表林業経営体は、現地踏査において、主索線下の伐開方向の測量や控索の設置角度の確認等にデジタルコンパスを活用するなどの効率化に取り組んでいる一方で、机上計画では熟練技能者の経験と勘に頼っている状態にあり、現地踏査のやり直しや架設後に十分な架線高が確保できない等、タワーヤードの性能を十分に引き出せていない状況も起こっている。このようなことから、架線計画において最初を実施する机上計画の高度化が課題となっている。

このため、令和4年度事業においては、オープンソースのGISである「QGIS」と一般的に普及している表計算ソフト「Microsoft Excel」を活用するとともに、オープンデータである国土地理院が発行する基盤地図情報（基本項目及び数値標高モデル）を用いた、最低限の初期投資により実施できる架線計画のシミュレーション方法の確立に取り組んだ。



QGISで架線計画の縦断面図作成



架線計画シミュレーション

◆ 実証② 「新しい技術」を活用した林地残材の収益化

タワーヤードは、全木集材を行い、荷外し場所においてハーベスタで造材する方法が一般的である。このため、荷外し場所には、造材作業で発生した林地残材が多く発生する。このようなことから、造材作業により発生した林地残材の有効活用が求められている。

本事業で実証を担当する代表林業経営体は、良質材は市場に出荷し、低質材や端材の丸太（タンコロ）はバイオマス用材として発電所に出荷しているが、末木・枝条は運搬コストがかかるため残置している状態であり、この活用が課題となっている。

このため、令和4年度事業においては、現場に残置されている末木・枝条をバイオマス発電用として、現場で破碎・運搬して流通させることによる収益化に取り組むこととし、これに伴い、現場で末木・枝条を破碎する木材破碎機の選定に取り組んだ。

◆ 実証③ タワーヤードを用いた再生林の効率化・収益性向上

近年、欧州製の高性能なタワーヤードを導入する林業経営体が増加していることもあ

り、急傾斜地におけるタワーヤードを活用した木材生産から再造林まで行う一貫作業システムの効率化が求められている。

本事業で実証を担当する代表林業経営体は、タワーヤードを用いた一貫作業システムによる再造林に取り組んでいるが、タワーヤードによる再造林作業のさらなる効率化などによる、再造林における収益性の改善が課題となっている。

このため、令和4年度事業においては、タワーヤードによる一貫作業システム効率化の実現を目指す実証を行うための現場や資器材の確保に取り組んだ。

(3) 工程表

本事業においては、オープンソースのソフトウェア等を活用した架線計画の高度化や「新しい技術」を活用した林地残材の収益化に取り組むための木材破砕機選定、タワーヤードを用いた再造林の効率化・収益性向上に取り組むための実証現場の確保等を実施した。本事業の工程表は下図のとおりである。

実施項目	月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
協議会運営						★ 第1回			★ 第2回			★ 第3回	
(主伐) オープンソースなどを活用した 架線計画の高度化													
(販売・流通) 「新しい技術」を活用した 林地残材の収益化													
(再造林) タワーヤードを活用した 再造林の効率化・収益性向上													
課題検証・整理													

実証事業の実施に当たり、代表林業経営体・代表支援機関・関係機関の3者が主体となる協議会を3回にわたり開催した。

実証項目別の工程を見ると、主伐に関する取り組みは、タワーヤードによる木材生産の実施予定箇所を中心に、シミュレーションを取り入れた架線計画を作成し、第2回協議会までに実証を行った。

販売・流通に関する取り組みは、林業機械の展示会への参加などにより、木材破砕機の選定に関する情報収集を行うとともに、機械メーカーとの機械の試用に関する調整を行うなどの取り組みを進め、第3回協議会までに来年度事業で使用する木材破砕機を選定した。

再造林に関する取り組みは、事業開始直後から、来年度の実証現場の確保や苗木等の資器材の選定に着手し、第3回協議会を目的に、来年度の実証現場を選定するとともに、その後、苗木等の資器材確保に取り組んだ。

課題検証・整理については、各取り組み結果のとりまとめを実施した。

7 実証事業の目標

本事業では、先進的にトラック搭載大型タワーヤーダを導入・活用している林業経営体の主伐、販売・流通、再造林についての課題を解決するための「新しい技術」を用いた実証を実施した。また、その成果とともに、年間を通じてタワーヤーダを活用した木材生産や一貫作業システムによる再造林を実施している代表林業経営体が有する、タワーヤーダの活用に関する豊富な経験・ノウハウを普及することを目指した。こうした取り組みの最終的な目標は、タワーヤーダを導入していたり、これから急傾斜地における木材生産に取り組もうとしたりする林業経営体の収支改善の実現にある。なお、本事業における、収支改善目標は下表のとおりである。

ha当たり（円）					
区分			現状	目標	備考
収入	販売収入	主伐収入	7,860,000	7,860,000	
		林地残材収入	0	375,000	末木・枝条収益化により増加
	補助金収入		3,651,000	3,651,000	
収入合計			11,511,000	11,886,000	
支出	主伐経費	主伐経費	6,701,000	6,701,000	架線計画の高度化を実証するため増減無し
		林地残材処理経費	0	218,000	末木・枝条破碎作業に伴い増加
	再造林経費	再造林事業費	941,000	941,000	タワーヤーダの活用による基本作業は同じであるため増減無し
		苗木代	414,000	450,000	エリートツリー導入により増加
		資材費	1,485,000	1,501,000	生分解性ツリーシェールター等の導入により増加
	保育経費		0	0	現状において低密度植栽を実施しており下刈りは実施していない
	流通販売経費	原木等輸送費	1,050,000	1,050,000	
		林地残材輸送費	0	105,000	末木・枝条チップ運搬作業に伴い増加
		その他経費	498,000	498,000	
	調査経費		20,000	20,000	
支出合計			11,109,000	11,484,000	
総収支			402,000	402,000	

実証を担当する代表林業経営体は、すでに年間を通じてタワーヤーダを活用した一貫作業システムによる木材生産及び再造林に取り組んでいるため、本事業の実証による主伐や再造林、保育に関する経費の収支に大きな変化はないものとする。一方で、現場に残置されている末木・枝条を流通させることによる収益の活用による、再造林における精英樹や生分解性のツリーシェールターといった資器材等の経費補填により、森林所有者への負担増を招かない形での再造林が可能となれば、長期的には収支の改善が期待できるものと考えられる。

また、本事業で実施する、架線計画の高度化においては、直接的な主伐経費の削減には繋がらないものの、中間サポートを検討する必要があるような、地形が複雑で難易度の高い現場における作業の手戻りを防ぐほか、タワーヤーダの性能を活かすことができるようになり、無理のない安全な作業の実施に繋がるといった、収支計算では算定できない効果が期待できる。

このほか、本事業を通じて、代表林業経営体が有する、高性能林業機械の中で最も機械経費が高額になると考えられるトラック搭載大型タワーヤーダをフル活用させるためのノウハウ等を普及することは、すでにタワーヤーダを導入している林業経営体やこれから急傾斜地において木材生産に取り組もうとしている林業経営体における木材生産の収支改

善に大きな効果が期待できる。

II 令和4年度の実施結果

1 協議会、現地検討会の開催経過

実証事業の実施に当たり、代表林業経営体・代表支援機関・関係機関の3者が主体となる協議会を3回にわたり開催した。協議会においては、実証項目別に進捗状況を報告するとともに、中央団体の有識者委員等に参加いただき指導・助言を受けた。また、第2回協議会においては、現地検討会を実施した。協議会の実施概要は以下のとおりである。

(1) 第1回協議会の概要

開催日時 令和4年8月22日（月）15:00～17:00

場所 前田商行株式会社 会議室

参加者 代表林業経営体・代表支援機関・関係機関：6名
中央団体の有識者委員等：4名

議事次第 1、事業概要
2、事業実施項目及び進捗報告
3、その他

内容及び主な議論

- ・ 架線計画においては、集材可能な架線高を確保できる架線計画なのかが問題となるが、現場の状況などから机上計画のとおり現場に架設するのは難しい。このため、机上計画の段階で、架設可能な計画であるか判断する目安としてシミュレーションを活用することを想定し、一般的に使用可能な5mDEMを用いたシミュレーションを行い、その結果を、実際の架線計画を検討する際に使用して効果があるのか実証する。なお、シミュレーションは、中間サポートを使わない計画を検討する際に活用できると考えられる。
- ・ 林地残材の収益化においては、現在のチップの出荷先であるバイオマス発電所は、燃料をガス化して発電しており、工程の中で、排熱でチップを乾燥させているため、現場で林地残材をあらかじめ乾燥しておく必要がない。価格は重量単価が適用されることから、乾燥させると量目が減り、これに伴い販売価格も下がるため早く出荷した方がよい。
- ・ 造林の効率化においては、タワーヤードは張り替えながら集材を行うため、主索線下から植え付け場所までは、苗木等を人力での運搬することになる。また、コンテナ苗は灌水しないと活着率が低下するので、植林可能な量を判断して苗木を運ぶ必要がある。



(2) 第2回協議会の概要

開催日時 令和4年11月18日（金）9:00～15:30
場所 新宮ユーアイホテル会議室及び前田商行株式会社事業地
参加者 代表林業経営体・代表支援機関・関係機関：5名
中央団体の有識者委員等：3名（オブザーバ3名）
議事次第 1、進捗報告
2、現地検討会

内容及び主な議論

- ・ タワーヤードのメンテナンスにおいては、油圧系統は地元の建設機械販売業者でも対応可能である。搬器などのコンピュータ関係は代理店に対応をお願いしている。基板が壊れたのは一回だけであり、これは落雷が原因ではないかと思う。タワーヤードに関しては導入してから故障はない。ただし、搬器の操作ミスによりタワーに衝突させてしまい壊したことはある。
- ・ 海外製のワイヤロープであれば5年は持つ。主索はドラムに800mを巻いているが、主に使用するのは300m程度までなので、ワイヤロープの前後を入れ替えることで長く使用できる。タワーヤードの控索はほとんど痛まないの交換したことはない。
- ・ タワーヤードを導入して10年になるが、後10年は十分に活用できると思う。基本的に整備した作業道を移動するだけなので走行距離は少ない。
- ・ 基本的にタワーヤードによる集材を行っている。皆伐・間伐どちらでも対応できる。作業方法は同じで効率も一緒。同じくらいの生産量になる。
- ・ タワーヤードの集材作業は少人数でできる。車輻系の場合は、履帯の痛みが激しく、1本交換すると何百万という費用がかかるので、走行に伴う履帯の消耗を防ぐため、集材した木材の運搬はトラックが良い。
- ・ タワーヤードは作業道に設置できる。タワー部分にチルト装置があるほか、枕木を使用することで、多少の傾きであれば調整できる。タワーヤードの控索の設置について、タワーの高さと同じくらいの高さで固定できるとよい。低い位置に固定するとタワーに負荷がかかる。
- ・ タワーヤードは、主索に19t以上の力が掛かると安全装置により主索が巻き出されるので集材機とは違って安全な作業ができる構造になっている。



(3) 第3回協議会の概要

開催日時 令和5年2月2日（木）16:00～17:30
 場所 新宮ユアアイホテル会議室
 参加者 代表林業経営体・代表支援機関・関係機関：5名
 中央団体の有識者委員等：7名
 議事次第 1、進捗報告
 2、その他

内容及び主な議論

- ・ 架線計画シミュレーションにおいては、これまでは、実際に現地踏査を実施することで中間サポートや先柱といった支柱の必要性を判断していたが、事前にシミュレーションすることである程度把握できていれば、無駄な踏査をしなくてすむので効率的に計画できる。また、シミュレーションについては、入力が必要なセルに説明が表示されるようにするなど、誰でも使えるように修正した。普及していくには、QGISの操作も含んだ形の研修を実施することが必要になると思う。
- ・ 架線計画シミュレーションは面白い技術なので、一般化できる方向で技術を広げていただきたい。今後予定している現場でも活用して、どこでもできるというところを目指してとりまとめていただきたい。
- ・ 木材破碎機の選定においては、現状では林内路網を走行しながら林地残材を破碎することを想定している機械は少ない。今回はそのような作業を実施することを想定した場合に求められる性能について成果としても整理した。また、年間必要作業量については、機械価格からおおまかなものを提示したが、来年度の実証でもう少し細かいところまで検討したい。
- ・ 再造林においては、成長の早い苗木とツリーシェルタを使うことにより下刈りゼロを目指して取り組んでいる。ツリーシェルタは初期投資がかかるが、下刈りや鹿柵設置の経費がかからなくなると思う。来年度の実証で支出だけでなく収支についても検討したい。



2 令和4年度の実行結果（経過）及び取組の評価と課題

現在導入が進んでいる欧州製のタワーヤーダは、高い牽引力や安全装置などを有しているほか、簡単な索張り方式での無線・遠隔操作等により2人作業での集材が実現できることなどから、急傾斜地における安全で効率的な木材生産を実施できる性能を有しているといえる。一方で、稼働率についてはハーベスタの半分以下であることから、その性能を十分に使いこなせていない状況にある。一般的な高性能林業機械の稼働状況は以下のとおりである。

高性能林業機械の稼働状況（令和2年度）

機種	フェラーバンチャ	ハーベスタ	プロセッサ	スキッド	フォワーダ	タワーヤーダ	スイングヤーダ
稼働率(%)	34	51	52	12	45	19	50

※林野庁ホームページ 高性能林業機械の稼働状況より ([daisuu-4.pdf\(maff.go.jp\)](#))

実証を担当する代表林業経営体は、トラック搭載大型タワーヤーダの活用を考慮した稜線林道（専用道）を整備するとともに、架設・撤収を効率化するための様々な器材の活用といった、タワーヤーダを有効活用するための取り組みを実践しており、急傾斜地における高い生産性と安全性を有したトラック搭載大型タワーヤーダを活用した作業システムによる木材生産を実現している。このような取り組みは、奥地にある森林の有効利用に繋がり、森林所有者・林業経営体・木材需要者それぞれに利益もたらす効果が期待できる。特に、林業経営体に対しては、我が国で使用されている高性能林業機械の中でも高価な機械であるタワーヤーダの稼働率を向上することによる収益性の改善が期待できる。

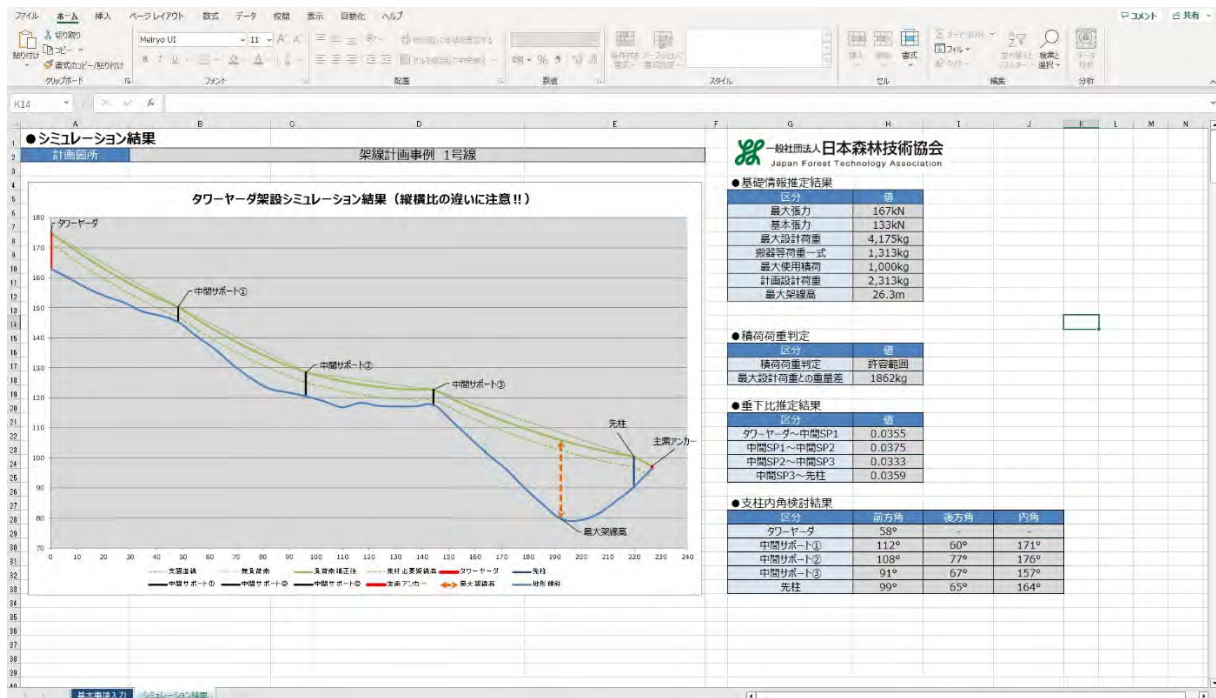
このようなことから、タワーヤーダをフル活用するための基礎となる取り組み事例として、本事業で取り組んだ成果と合わせて普及していくことが重要である。



(1) 実証① オープンソースのソフトウェア等を活用した架線計画の高度化

代表林業経営体と代表支援機関が連携して、従来作業にオープンソースのソフトウェア等を活用した架線計画シミュレーションを組み合わせた、架線計画を高度化する方法の確立に取り組んだ。

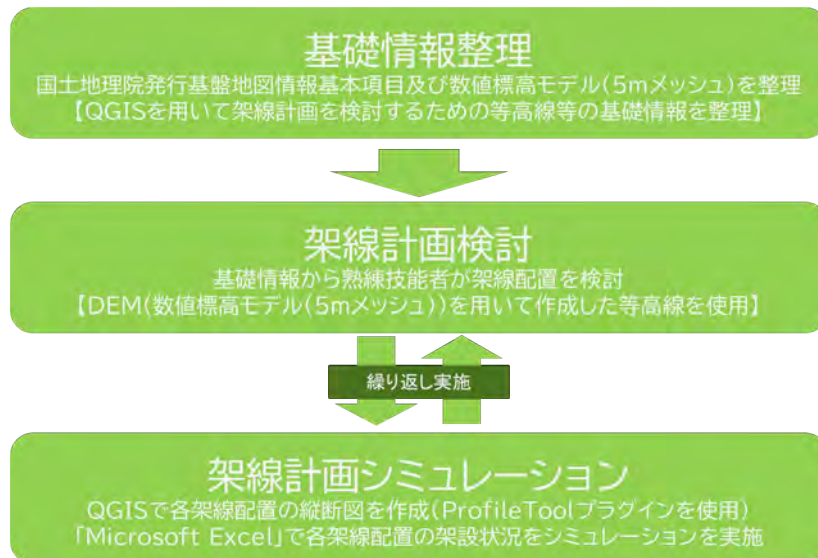
架線計画シミュレーションは、欧州の架線集材テキストを参考に、一般的に普及している表計算ソフト「Microsoft Excel」を用いて、架線計画箇所の地形情報、タワーや支柱の位置及び高さ、主索の単位重量や破断荷重、搬器の重量や積荷重量といった設計荷重、集材方法や荷掛け方法等の基本事項を入力することで、最大中間支柱3箇所及び先柱を用いた架線架設状況を図に表示することができるように、代表支援機関である一般社団法人日本森林技術協会が作成したものである。架線計画シミュレーション結果のイメージは下図のとおりである。



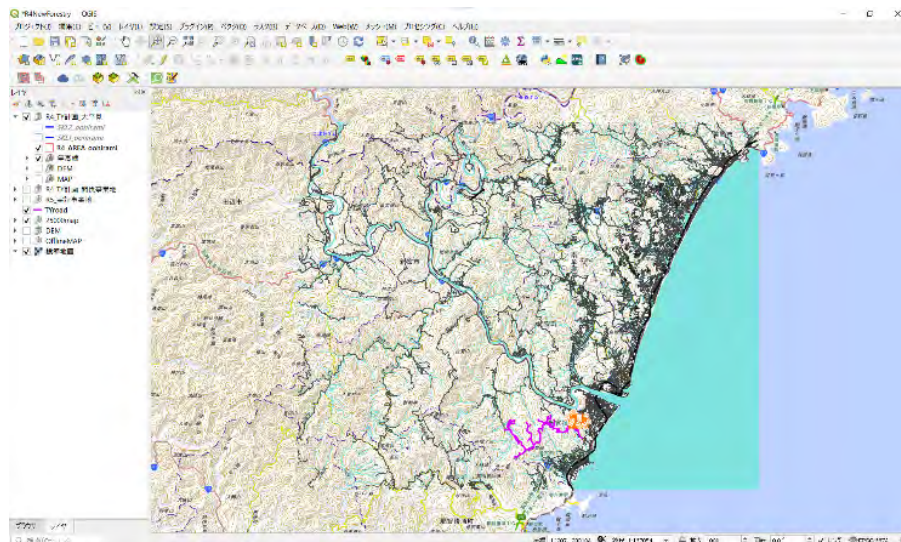
シミュレーション結果は、タワーや支柱の配置に応じた架設状況の見える化だけでなく、代表林業経営体からの意見や日本における一般的な架線計画で検討すべき内容を考慮して、以下のような項目を確認できるようにした。

区分	内容
基本張力	主索を張り上げるときの主索張力
最大設計荷重	搬器や積荷重量等を含めた最大設計荷重
最大使用荷重	荷掛けする積荷の最大荷重（計画者が設定）
最大架線高	主索から地上までの最大架線高とその位置（図に表示）
垂下比	各支間における主索の中央垂下比
支柱内角	中間サポート等の支柱の内角（タワーヤードは前方角のみ）
集材必要架線高	集材作業に最低限必要な高さ（図に表示）

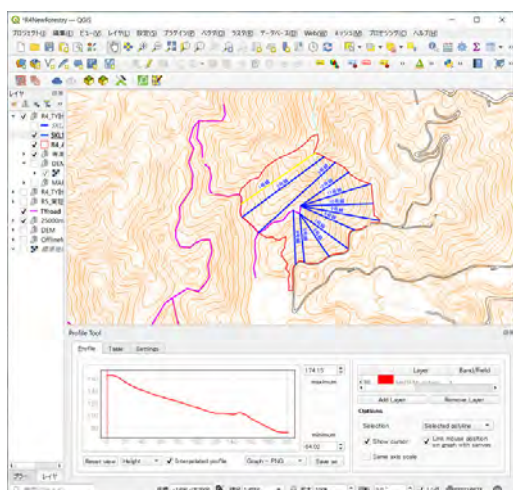
本事業における架線計画シミュレーションについては、最低限の初期投資に抑えるため、QGIS を活用して、国土地理院が発行する基盤地図情報のうち 5m メッシュの数値標高モデル（以下、DEM という）を用いて作成した、各架線配置における縦断面図の情報を用いることとした。このため、最初に QGIS を用いて架線計画を検討するための等高線などの基礎情報を整理し、次にその結果を用いて、代表林業経営体の熟練技能者による架線配置検討と代表支援機関による架線計画シミュレーションを繰り返し行う手順で実施した。架線計画シミュレーションの作業手順は下図のとおりである。



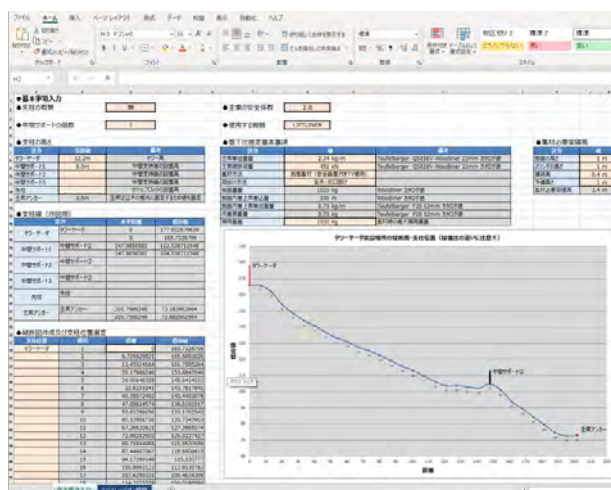
基礎情報整理については、代表林業経営体の事業地のうち、和歌山県新宮市及び三重県熊野市の国土地理院が発行する基盤地図情報 9 メッシュ分の範囲を整理した。具体的には、国土地理院が発行する基盤地図情報基本項目のうち道路縁、水涯線、水域、軌道の中心及び DEM、DEM から作成した等高線、既設の稜線林道（専用道）の配置や集材範囲といった情報を整理した。なお、稜線林道（専用道）の配置は既存のデータを用い、等高線は必要最小限の範囲とした。基礎情報の整理にかかった所要時間は 35 分程度であった。整理した基礎情報は下図のとおりある。



基礎情報整理で作成した等高線などを用いて、代表林業経営体の事業地 2 箇所を対象として架線計画を検討し、合計 24 本の架線配置を計画した。架線計画シミュレーションについては、計画した各架線配置において、QGIS の ProfileTool プラグインを用いて作成された縦断面図の情報等から基本事項を設定し、1 線あたり 4 分程度で実施することができた。中間サポート等の支柱を検討する必要があるような、複雑な地形の場所ではシミュレーションの所要時間が増加する傾向にあった。

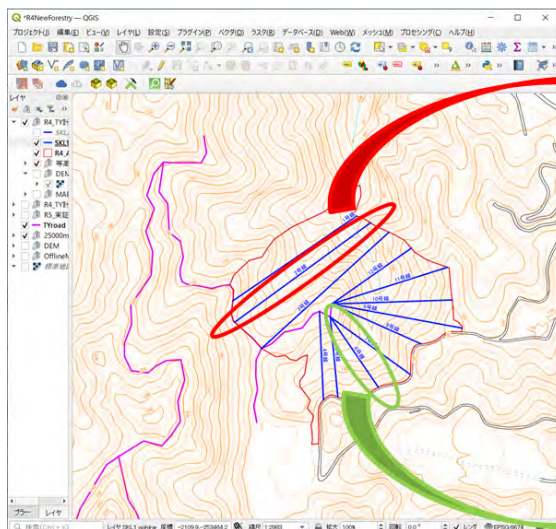


QGISで縦断面図作成
(ProfileToolプラグインを使用)

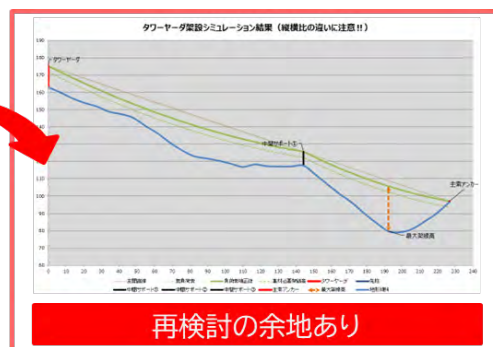


縦断面図の情報を基にシミュレーション

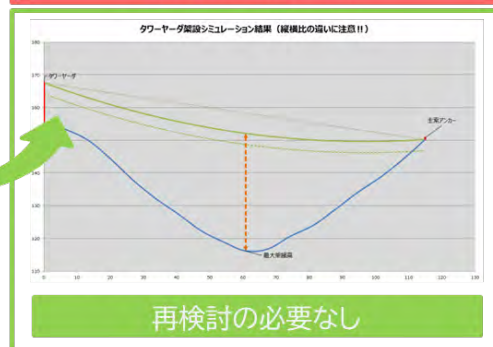
具体的な架線計画シミュレーション結果として、約 5.3ha の範囲に 12 本の架線配置を計画した場所では、特に、尾根・谷が入り組んでいる複雑な地形に計画された 3 本の架線配置において、合計 4 箇所の中間サポートが必要という結果となり、再検討する余地があると判断された。



1回目の架線計画

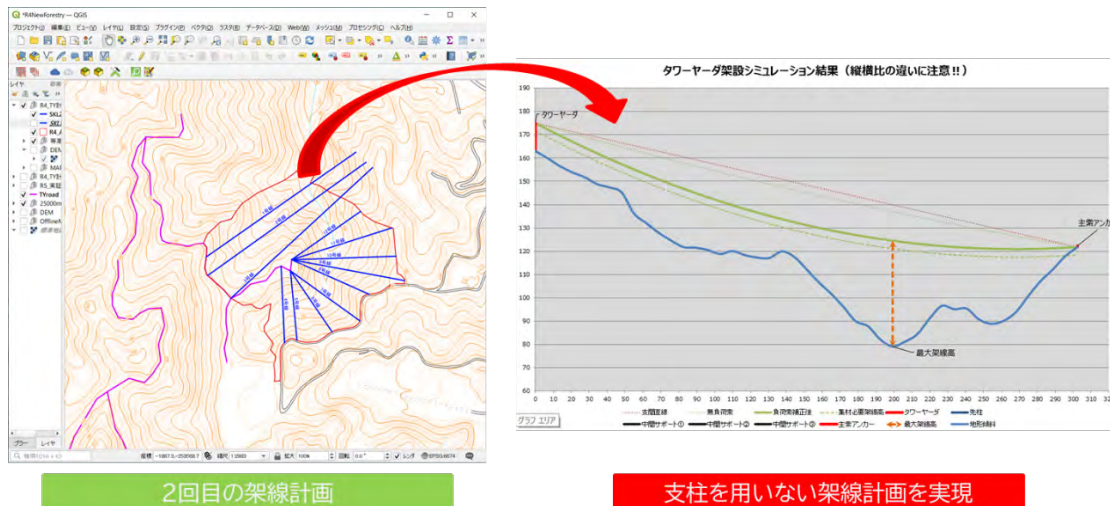


再検討の余地あり



再検討の必要なし

架線計画シミュレーション結果を参考に架線配置の再検討を行ったところ、1 本の架線配置において、中間サポートが 1 箇所必要という結果となり、中間サポートの設置箇所を 3 箇所削減することができた。また、2 回目のシミュレーションは基本事項を再利用できることから、1 線あたり 3 分程度で実施することができた。



実証の結果から、従来の方法に対して、オープンデータである国土地理院が発行する基盤地図情報（基本項目及び数値標高モデル）を用いた架線計画シミュレーションを取り入れることで、机上計画の段階で、中間サポートなどの支柱の必要性を判断できるようになるなど、架線計画を高度化することができた。また、架線計画の検討は熟練技能者が行ったが、熟練技能者の感覚と架線計画シミュレーション結果を一致させるためには、シミュレーションで使用する DEM から作成した等高線を用いることが重要であることが分かった。課題としては、今回のシミュレーションで活用した DEM は、現状において整備されていない地域もあることから、森林地域においても数値標高モデルを活用できるようにしていくことが必要である。

収支改善の効果としては、基礎情報整理に係る時間を含めて、約 2 時間で架線計画シミュレーションを実施できたことが挙げられる。また、シミュレーションにかかる経費としては、オープンソース等を活用することから、ソフトウェア等の導入コストはかからず人件費のみとなる一方で、従来の架線計画に対して人件費単価により異なるが 6,200 円程度（想定単価 3,100 円/時間×2 時間）のかかり増しとなる。さらに、今回実証を行った現場においては、中間サポートが 3 箇所削減されたことで、これに伴う中間サポート 3 箇所分の設置・撤収費用が不要となり経費の削減効果が得られた。具体的には、1 箇所当たりの中間サポートの設置・撤収に 79,400 円（3 人で 1.5 日間程度）が必要であることから、全体では 238,200 円程度の経費がかかることになる。このため、ここから架線計画シミュレーションにかかる人件費 6,200 円を差し引いた、232,000 円の経費削減効果が得られた。また、GIS 等が不慣れな者が 1 日かけて架線計画シミュレーションを実施したと想定した場合は、架線計画シミュレーションにかかる人件費 24,800 円（（想定単価 3,100 円/時間×8 時間）を差し引いた 213,400 円程度の経費削減の効果が期待できる。以上のことから、複雑な地形が多い日本において、架線計画シミュレーションの導入効果は高いという結果が得られた。

(2) 実証②「新しい技術」を活用した林地残材の収益化

現状において、タワーヤードによる集材作業で発生するは林地残材のうち、末木・枝条のみが、運搬コストがかかるため残置されている状態にある。これら現場に残置されている末木・枝条をバイオマス発電用として、現場で破碎・運搬し資材として流通させるこ

とによる収益化に取り組むため、①稜線林道（専用道）の走行、②バイオマス発電に対応するチップ生産、③レンタル又は機械メーカーの協力による実証での使用、④林業経営体での使用を想定した機械価格といった項目を満たす下記の4機種を候補として選定し、展示会や実際に機械が稼働している現場等で聞き取り調査を行い、タワーヤードによる集材作業の現場で活用する木材破砕機の選定に取り組んだ。

機械メーカー	機種名	備考
富士車両株式会社	APLASTAR	塵芥車（パッカー車）搭載型
ラブ・フォレスト株式会社	HM6-300VM	脱着装置付きトラック搭載型
ラブ・フォレスト株式会社	HM8-400VM	脱着装置付きトラック搭載型
株式会社諸岡	MRC3000	履带式ベースマシン搭載型



APLASTAR（富士車両株式会社）



HM6-300VM（ラブ・フォレスト株式会社）



HM8-400VM（ラブ・フォレスト株式会社）



MRC3000（株式会社諸岡）

木材破砕機の選定に取り組んだ結果を基に、今回候補とした木材破砕機を活用する場合に必要な年間事業量を、販売価格と人件費から推定した。なお、人件費は木材破砕作業に1名の現場従業員が従事することとした。推定結果から、林地残材として発生する末木・枝条が出材量の1割程度と想定した場合、年間10,000～30,000 m³程度以上の生産量

を確保している林業経営体での活用が必要となることが分かった。推定した年間必要事業量は下表のとおりである。

区分	値
木材破砕機価格	30,000,000～50,000,000 円
償却年数	5 年
機械経費	6,000,000～10,000,000 円/年
人件費	4,780,000 円/年
直接費（機械経費+人件費）	10,780,000～14,780,000 円/年
販売価格	5,000～10,000 円/t
年間必要事業量	1,078t/年～2,965t/年

タワーヤードによる集材作業の現場で活用する木材破砕機の候補として選定した4機種について、塵芥車搭載型や脱着装置付きトラック搭載型については、木材の破砕と運搬を1台で実施できる一方で、末木・枝条をグラップルで保持しながら作業することが想定される。脱着装置付きトラック搭載型については、木材破砕機部分を脱着する場所を確保する必要があるほか、降ろした後の移動に時間を要することが想定される。また、小さな出力の機械では、排出口がブロアタイプの場合、水分を含んだ末木・枝条を破砕すると排出口が詰まる恐れがある。履带式ベースマシン搭載型については、投入口や排出口が縦方向に設置されており路上で機械が縦に並んでも作業可能であるほか、投入口・排出口ともにコンベアタイプとなっておりグラップルで末木・枝条を投入しやすく、水分を含んだ末木・枝条を破砕しても排出時に詰まりにくいことが想定される一方で、運搬用のトラックが必要になる。以上のようなこと考慮し、タワーヤードによる集材作業の現場での作業性を重視して履带式ベースマシン搭載型の木材破砕機を選定した。

本事業の結果から、タワーヤードによる集材作業の現場で活用できるような性能として、①グラップルの使用を想定した投入口、②縦列方向に機械を並べて作業できる投入口・排出口、③稜線林道（専用道）の走行性能を有しているトラック搭載型であるほか、出荷先によっては、水分を含んだ林地残材を破砕・排出できる性能が求められることが分かった。タワーヤードによる木材生産の現場に残置されている末木・枝条をバイオマス発電用として、現場で破砕・運搬し、資材として流通させることによる収益化に取り組むためには、このような性能を有する木材破砕機の開発が望まれる。また、木材破砕機の価格は、木材生産で使用する高性能林業機械と比較して高価になることや木材破砕機の活用求められる年間事業量などを考慮すると、複数の林業経営体の現場を移動して林地残材を収集するような木材破砕機の活用方法を検討することも必要である。

(3) 実証③タワーヤードを活用した再生林の効率化・収益性向上

代表林業経営体においては、タワーヤードを用いた一貫作業システムによる再生林に取り組んでおり、造林本数は1,500本/haとし、獣害対策として園芸用支柱やラス網を用いたツリーシェルタやドラム缶を用いた苗木等の資器材を運搬するための容器といった自

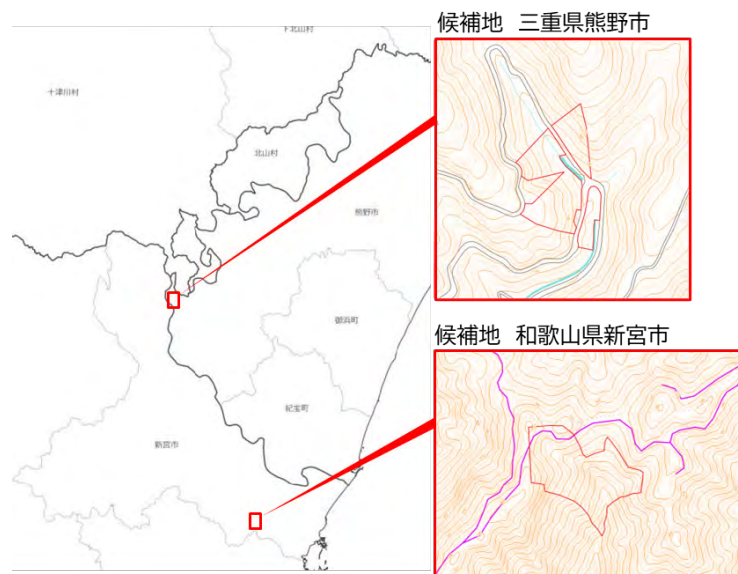
作の器具を用いている。本事業では、タワーヤーダを用いた再造林作業についてより効率化を図るため、再造林の実証地や資器材の確保に取り組んだ。



再造林の実証地については、新しい取り組みに対して森林所有者からの理解を得ることが難しいこと等から調整が難航したため、和歌山県新宮市（約 1.7ha）のほかに三重県熊野市（約 1ha）の山林を候補地として選定し検討した。

候補地による大きな違いとしては、機械の回送にかかる経費の有無があげられる。新宮市の候補地は、稜線林道（専用道）

が整備されている地域に位置していることから、ハーベスタやグラップルといった履帯式のベースマシンを用いた林業機械を自走させて現場まで移動できるが、熊野市の候補地では、トレーラによる回送が必要になり、往復で 300,000 円程度の経費がかかり増しになる。このため、林業経営体の収支を考慮して、再造林の実証地については、和歌山県新宮市を候補地として調整を進めることとした。トラック搭載大型タワーヤーダの機動力を生かして、点在する事業地での施業を検討する場合は、稜線林道（専用道）の整備だけでなく、ハーベスタやフォワーダ、グラップルといった林業機械についても、公道走行可能なベースマシンを活用することが求められる。



再造林で使用する資器材の確保について、苗木は、急傾斜地が対象となるため大苗の活用は難しいことやできるだけ成長の早いものが獣害を受けにくいという考え方から、スギの精英樹・少花粉・挿木苗を選定した。また、現在使用している自作のツリーシェルタは、風の影響で転倒することや腐朽したラス網が林内に散乱してしまうこと、ヒノキの場合は、網目から新芽が出てしまい成長を阻害する恐れがあることが課題であることから、FRP製の支柱を活用した高さ1.7m程度の生分解性のツリーシェルタを選定した。資器材の運搬については、ツリーシェルタに用いる支柱を収納できる2m幅のロングタイプコンテナバックを選定した。



選定した資器材に係る経費は、植栽本数をヘクタール当たり1,500本とした場合、2,208,000円となり、現状の資器材の経費と比較して1,333,000円の増加となる。また、価格の増加はツリーシェルタが占めていることが分かった。

タワーヤードは架設・撤収を繰り返しながら集材作業を行うことから、タワーヤードを用いた一貫作業システムによる再造林を行うには、集材作業を行い、撤収する前に苗木などの資器材を運搬することになるため、ツリーシェルタによる獣害対策を兼ねた造林作業を行う必要がある。このため、急傾斜地において危険性が高い下刈り作業の省略を可能とすることや一般的な獣害対策の方法である鹿柵設置作業の省略といった、再造林におけるツリーシェルタを活用することの効果を明確にする必要がある。なお、再造林にかかる現状の資器材と選定した資器材のヘクタール当たり経費については下表のとおりである。

区分	現状の資器材の経費	選定した資器材の経費
苗木※	405,000 円 (270 円/本)	405,000 円 (270 円/本)
ツリーシェルタ	450,000 円 (300 円/セット)	1,800,000 円 (1,200 円/セット)
資器材運搬用器材	20,000 円 (20,000 円/個)	3,000 円 (3,000 円/個)
合計	875,000 円	2,208,000 円

※同じ種類の苗木想定（造林本数は1500本/ha）

III 今後の事業の展開方向

本年度の成果を基に、従来の主伐から再生林までの一連の作業に対し、様々な技術を導入してその効果を実証し、その結果によって再来年度に追加実証を検討する。本事業のロードマップは下図のとおりである。

実証年 実証項目	1年目 (実証準備)	2年目 (従来作業への導入)	3年目 (追加実証の実施)
(主伐) オープンソースのソフトウェア等を活用した架線計画の高度化	従来作業に対して 架線計画シミュレーション 導入効果実証	従来作業に対して 架線計画 高度化・効率化実証	必要に応じた 追加実証
(販売・流通) 「新しい技術」を活用した 林地残材の収益化	林地残材収益化 実証計画準備	従来作業に対して 木材破砕機による 林地残材収益化実証	必要に応じた 追加実証
(再生林) タワーヤーダを活用した 再生林の効率化・収益性向上	再生林 実証計画準備	従来作業に対して 再生林効率化 導入実証	必要に応じた 追加実証
実証の効果検証	実証項目別の導入効果検証 実証事業地等の確保	従来作業における 「新しい技術」 導入効果検証	追加実証効果検証 普及資料の追加・修正
主な実証の成果	- 架線計画実施方法普及資料 ✓ 架線計画シミュレーション方法 - 機械に応じた末木・枝条を収益化するために必要な年間作業量	「新しい技術」の導入を踏まえた、タワーヤーダを用いた効率的な木材生産を実施するための普及資料	追加実証結果を踏まえた、タワーヤーダを用いた効率的な木材生産を実施するための普及資料

(1) 実証① オープンソースのソフトウェア等を活用した架線計画の高度化

本事業の実証で明らかになった作業手順に則って、実証で実施する主伐作業において、架線計画シミュレーションを活用するとともに普及方法などの検討を行う。このほかに、タブレット端末を用いた現地踏査の効率化に取り組む考えである。

具体的には、オープンソースを活用して、タブレット端末に架線計画シミュレーションを実施する際に QGIS で整理した架線配置などの情報を取り込み、現地踏査で活用することであり、現場に持参する地形図のペーパーレス化やタブレット端末に搭載されている GNSS 受信機を活用することにより、見通しの悪い林内でも現在位置を確認しながら現地踏査を実施できるなど、現地踏査の効率化が期待される。

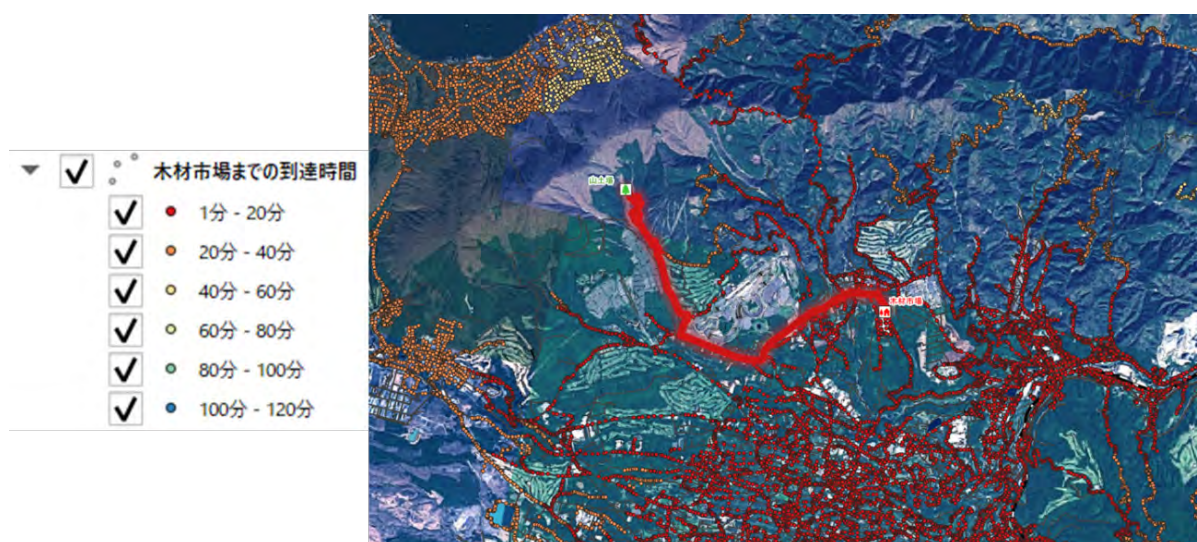


(2) 実証② 「新しい技術」を活用した林地残材の収益化

本事業で選定した木材破砕機を活用した林地残材（末木・枝条）の収益化の取り組みについて、具体的な収益改善の効果を実証する。また、この実証の中では、林地残材の破砕作業だけでなく、木材生産や再造林、林地残材の破砕・運搬までの一連の作業工程についても検討する必要があるものとする。なお、現状において、作業の流れについては、縦列方向に機械に並べて作業を行うことがあると考えられるため、タワーヤード及びハーベスタで全木集材を行った後に、タワーヤードで苗木等の資器材を運搬して再造林を実施し、タワーヤードを撤収した後に、木材破砕機で末木・枝条の破砕を行い箱型車でチップを運搬する工程が想定される。



さらに、複数の林業経営体の現場を移動して林地残材を収集することを想定した場合には、林内路網を走行して目的地まで到達する必要があるため、オープンソースを活用した林内路網の到達経路のシミュレーションにも取り組む考えである。



(3) 実証③ タワーヤードを活用した再造林の効率化・収益性向上

本事業で選定した苗木等の資器材を用いて、タワーヤードを活用した再造林の効率化に取り組むとともに、ツリーシェルタを活用した場合に期待できる、急傾斜地における下刈りや鹿柵設置作業の省略を踏まえた再造林の収益改善の効果について実証を行う考えである。