

令和3年度 ICT を活用した施工の確立に向けた調査
(運材トラック等自動運転技術実現性調査)

—調査報告書—

令和4年3月

野本商店・ARAV・北相木森水舎共同事業体

目次

1. 調査概要	1
(1)調査目的・調査内容	1
(2)調査期間・調査方法	2
2. 調査結果	3
(1)自動運転技術等の導入事例や研究開発事例の収集	3
(2)林業関係者のニーズ・課題把握	29
まとめ	64
(3)実証実験にむけた要件整理	67
①具体的な導入技術と作業システムの組み合わせの整理	67
②導入可能な林業現場の条件整理	74
③具体的な導入技術や実証事業地、実施主体の想定の整理	84
3. まとめ	90

1. 調査概要

(1)調査目的・調査内容

【調査目的】

森林資源の循環利用を通じた林業の成長産業化の推進に向けて、今後、主伐・再造林の増加が見込まれる中、運材トラック等の運転手や中間土場等での作業員確保が難しくなる可能性があることから、トラック等による木材輸送や土場作業の効率化による省人化・省力化の実現可能性を調査するとともに、実証試験等にむけた検討を進めていくことが必要である。

このため、令和2年度は、林道における運材トラック等の自動運転（隊列走行含む）や、土場での仕分け作業の自動化の実現性について関係者等からヒアリング調査等を実施し、今後の実証事業や実用化に向けて課題整理を行ったところである。

2年目となる令和3年度においては、昨年度の調査結果を踏まえ、海外での林業現場や農業等の他分野における事例収集、林業関係者（森林所有者、林業事業体、林業機械メーカー等）の視点からのニーズや課題等の把握、具体的な作業システムや導入技術等を考慮した実証試験にむけた要件整理について、調査・検討を実施することとする。

【調査内容】

(1)自動運転技術等の導入事例や研究開発事例の収集

令和2年度事業で把握した事例に加え、農業分野や土木分野など林業現場への応用につながる可能性のある事例や、海外の林業現場での導入事例を中心に、事例収集を行った。

(2)林業関係者のニーズ把握

森林所有者、森林組合、林業事業体、林業機械メーカー等にヒアリングを行い、運材トラック等の自動運転（隊列走行含む）及び土場等での積下自動化について、それぞれの立場から導入を想定した場合の、技術面、費用対効果、安全性等の視点での課題やニーズを明らかにした。

(3)実証実験にむけた要件整理

①具体的な導入技術と作業システムの組み合わせの整理

(1)で整理した事例も踏まえ、現時点で実用化済み又は近い将来実用化が見込まれる自動運転等技術と、林業現場における具体的な運材作業システムの組み合わせを検討し、比較的费用対効果が高いと考えられるパターンを複数抽出した。

②導入可能な林業現場の条件整理

①で抽出したパターンが導入可能な林業現場の条件（林道の規格や延長、運搬距離、伐採・搬出規模等含む）について整理した。

③具体的な導入技術や実証事業地、実施主体の想定 of 整理

①及び②の検討結果と、(2)で把握したニーズ・課題等を踏まえ、実証試験を実施するとした場合の、導入技術や実証事業地の条件、実施主体の想定等について整理しとりまとめた。

(2)調査期間・調査方法

【調査期間】

令和3年8月31日～令和4年3月11日

【調査方法】

(1)自動運転技術等の導入事例や研究開発事例の収集

文献・Web調査およびヒアリング10件

(2)林業関係者のニーズ把握

ヒアリング10件

(3)実証実験にむけた要件整理

(1)(2)の結果に基づく要件整理・試算

2. 調査結果

(1)自動運転技術等の導入事例や研究開発事例の収集

林業現場への応用が考えられる自動運転技術等の先行事例として、各分野より下記 10 件を事例収集した。

分野	対象機械	実施主体	概要
農業分野①	自動運転 フォークリフト	豊田自動織機	不整地路である圃場や屋外のトラック駐車場における自動運転フォークリフトの開発
農業分野②	農業用無人車	バイエルクロップサイエンス	世界初の量産型農業用無人車で散布と運搬を自動化
農業分野③	人追従型収穫物 搬送ロボット	アトラックラボ /佐賀大学	人との距離に応じて走行と停止を繰り返しながら自動運転で追従し収穫物を搬送
土木分野①	油圧ショベルの 自動運転	ARAV	油圧ショベルによる掘削からダンプトラックへの積込の自動運転
土木分野②	振動ローラの 自動運転	鹿島建設	ダムの堤体工事現場の土木構造物を多数の無人重機を活用し建設
自動運転分野①	大型トラックの 無人隊列走行	豊田通商	高速道路におけるトラックの後続車無人隊列走行技術
自動運転分野②	自律移動 ロボット	山梨県産業技術 センター	森林作業道における不整地対応 3 次元地図作成・自律移動実験
海外分野①	自動運転 木材運搬 トラック	Einride (スウェーデン)	自動運転カテゴリーレベル 4 の木材運搬トラック T-log
海外分野②	要素技術(Lidar ベース SLAM)	Linköping 大学 (スウェーデン)	林道・住宅地・郊外における Lidar ベース SLAM の評価
海外分野③	要素技術(画像処理+LIDAR)	北京林業大学 (中国)	画像処理と 2D LIDAR データの組合せに基づく林道の道路境界の検出

【農業分野①】自動運転フォークリフト

不整地路である圃場や屋外のトラック駐車場における自動運転フォークリフトの開発
(令和元年 11 月)



自動運転フォークリフトによる荷積み

露地野菜生産ロボット化コンソーシアムに参画している豊田自動織機が、圃場ならびに集荷場での入出荷作業の自動化を実現する自動運転フォークリフトを開発している。

農林水産省の統計によると、農業就業者の人口は減少傾向、労働力や後継者不足の問題が生じている。これを背景とし、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターの委託により、農業における労働集約的作業のロボット化・自動化による省力体系の構築を目的として設立されたのが、露地野菜生産ロボット化コンソーシアムである。

・不整地路である圃場等での運用を想定

本開発で想定する使用場所は、屋外の不整地路である圃場やトラック駐車場と、屋内の集荷場である。電動カウンター型フォークリフトをベース車両とし、屋内外をシームレスに走行可能とすることを狙いとした、新たな自己位置検出方式が開発された。

・自動操舵機構

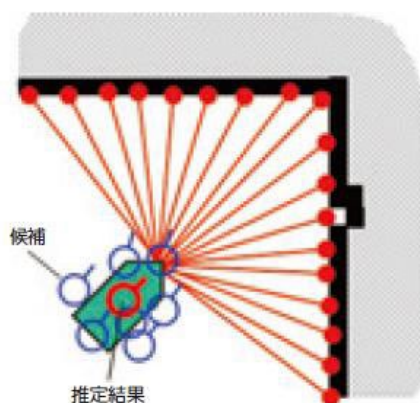
自動運転と手動運転の双方に対応させるため、ステアリングポストとギアを介して連結された電動モータを追加搭載し、モータの駆動によりステアリングを回転させ操舵を行う機構が開発された。

・電源遮断時の非常停止制動機構

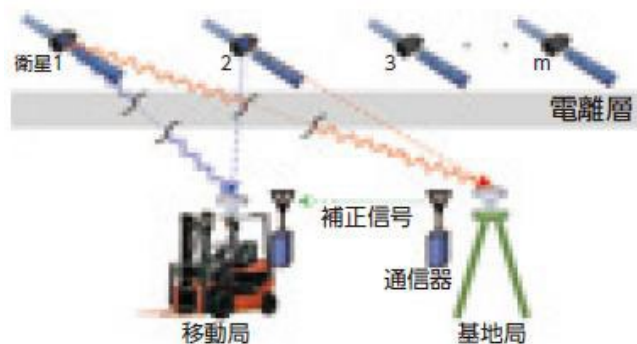
通常時は、外部指令値によって回生ブレーキを制御するが、電源遮断時やシステムエラー時に作動させることができない。そのため、電源遮断時にも非常停止制動ができるように、アキュムレータと油圧シリンダを組み合わせることで機械式ブレーキを作動させる機構を開発している。

・屋内外における自動走行技術

屋内外でのシームレスな自動走行に対応するため、自己位置検出方式としてレーザ SLAM (Simultaneous Localization and Mapping, 自己位置推定と環境地図作成の同時実行) と RTK-GNSS (Real Time Kinematic-GNSS) を組み合わせる方式が開発された。



上図、レーザ SLAM は建物などのランドマークをレーザによって検出し、同じくレーザによってあらかじめ計測された地図との照合により自己位置を検出する方式である。特性上、ランドマークが多数存在する屋内や建物周辺では高精度に位置検出が可能となる反面、圃場のようにランドマークが少ない場所では位置検出が困難となる。



上図、RTK-GNSSは衛星測位の一種で、RTK方式は、基地局からの補正信号を用いて電離層誤差の補正を行いcm級の精度を得ることが可能な技術である。一方で、衛星測位の特性上、屋内など上空視界が取れず、衛星からの信号が遮断されてしまう場所では精度が低下したり、場合によっては検出自体が不可能となったりする場合もある。

建物近傍のSLAM走行エリアと屋外のGNSS走行エリア、並びに中間に切り替え走行エリアを設定する開発を行い、集荷場内、出入口、集荷場ならびに圃場においてシームレスにフォークリフトの自動走行が可能ことが確認された。

・荷とり自動化技術

トラック上や平置きされた荷物を荷とりする場合、フォークリフトと荷物間の相対位置と姿勢角度は一定ではない。荷物の位置・姿勢の検出には検出信頼性の高さとは多様なパレットへの対応が可能な方式としてマーカ方式を検討した。本方式はパレットに二次元マーカを貼付け、フォークリフトに搭載されたカメラによってマーカの位置・姿勢を検出する方式である。検出結果に基づき生成した経路に沿って誘導制御を行うことにより自動荷とり作業ができることが確認された。

マーカによる位置・姿勢検出は信頼性が高いが、マーカを貼り付ける必要がある。将来に向けて、マーカを使用せずディープラーニング等を活用した画像認識による位置・姿勢推定技術の開発にも取り組まれている。

・荷積み自動化技術

今回対象としている搬送パレットは、コンテナ内の収納密度を高めるためパレット間の横方向の隙間が数cmしかなく、高精度な制御が必要である。フォークリフトはリフトとサイドシフトによって高さ方向と左右方向の位置調整が可能である。そこでフォークリフトをコンテナ正面に誘導したうえで荷積みの位置調整制御を行い格納する方式とした。コンテナへの誘導はコンテナの位置・姿勢をレーザーセンサで検出して誘導を行う。コンテナ内への格納はコンテナ内の格納可能スペースをレーザーセンサにて検出しリフトとサイドシフトを操作して行っている。

参考文献) 豊田自動織機 技術解説 自動運転フォークリフトの開発

[https://www.toyota-](https://www.toyota-shokki.co.jp/about_us/technical/items/015b6c5d631d99d2677f2516e90e4ecf.pdf)

[shokki.co.jp/about_us/technical/items/015b6c5d631d99d2677f2516e90e4ecf.pdf](https://www.toyota-shokki.co.jp/about_us/technical/items/015b6c5d631d99d2677f2516e90e4ecf.pdf)

豊田自動織機がカウンタータイプ自動運転フォークリフトを開発

— 屋内外の自動運転を可能に —

<https://www.toyota-shokki.co.jp/news/release/2019/10/08/002502/>

【農業分野②】 農業用無人車

世界初の量産型農業用無人車で散布と運搬を自動化（令和3年9月）



散布システム搭載時の R150

バイエルクロップサイエンスは、「多用途に使える無人車」である R150 を発表した。無人自動走行する汎用の車体に作業機を乗せるというものであり、「量産型」である点が自律運転車としては世界初とのことである。

R150 は RTK 制御により、誰でも簡単、安全、正確に、運行（運搬）と散布を実現し、水稲、野菜、果樹の農薬・肥料散布に加え、資材や水、収穫物の運搬など、多岐にわたる使用が期待される。大きさは全長×全幅×全高=1515×1090×1105mm。散布システム搭載時の重量は 200kg である。



圃場内での運搬

- ・高い走行性能

車体は 4WD の電気自動車 (EV) で、ドローンと共用できる可搬式バッテリーというのが特徴。可搬式バッテリーは充電場所を選ばないため、扱いやすさに優れている。また、EV ということで低速トルクに優れており、2 モーターによる 4WD との組み合わせで、走破性を高めている。キャタピラ仕様への組み換えも可能で、平地はもちろん山間部の圃場や果樹園等の複雑な地形でも走行できるのが強味である。

- ・自己位置情報

自己位置検出は RTK-GNSS を採用しており、誤差を数 cm 程度に抑えている。

参考文献) AGRI JOURNAL 「世界初の量産型農業用無人車が登場！ XAG×バイエル『R150』散布と運搬を自動化」

<https://agrijournal.jp/material/62003/>

【農業分野③】人追従型収穫物搬送ロボット

人との距離に応じて走行と停止を繰り返しながら自動運転で追従し収穫物を搬送
(令和2年11月)



人追従型収穫物搬送ロボットによる収穫物搬送

株式会社アトラックラボと佐賀大学共同による、AI（人工知能）活用型の人追従型収穫物搬送ロボット開発が発表された。発表によると、1995年には414万人だった農業就業人口が2015年には210万人まで減少したとある。さらに平均年齢は66歳と高齢化が進み、人手不足と高齢化で労働力不足が深刻な問題となっているとのこと。

手作業で農作物を収穫する際は、収穫した野菜を入れるコンテナなども一緒に運ぶ必要があるが、このコンテナ運搬の作業を自動運転化した。

・人との距離を計算し追従

今回開発されたロボットは、人の動きに追従することが可能な収穫サポートロボット車である。コンテナを載せながら追従することで、人力によりコンテナを運ぶ手間を無くすことを目的としている。

これまで搬送ロボットが人との距離に応じて追従走行をする場合にはLiDARやステレオカメラが必要であったが、今回の開発では安価な単眼カメラとAIのみで追従走行を実現した。AIが人との距離を計算し、距離に応じて走行と停止を繰り返しながら自動運転で追従する。

・模擬実験にて安定した追従走行と停止を実証

佐賀県農業試験研究センターで収穫における搬送の模擬実験を行ったところ、コンテナ

に 15 キロの重りを載せた状態でも、搬送ロボットは安定して追従走行と停止をすることが実証された。

参考文献) 自動運転 LAB「農家に超朗報! 収穫用コンテナが人に追従、AI と自動運転技術で実現」

https://jidounten-lab.com/u_ai-agri-autonomous-2020-11

【土木分野①】油圧ショベルの自動運転

油圧ショベルによる掘削からダンプトラックへの積込の自動運転（令和3年2月）



油圧ショベルによる掘削・積込

動画 <https://youtu.be/p4fJiivjuY0>

本件は、本調査を受託している ARAV 株式会社による、自動運転実証実験の事例である。土場用グラップルや林業用トラック付属の車載グラップルの自動化実現性の観点から記載する。

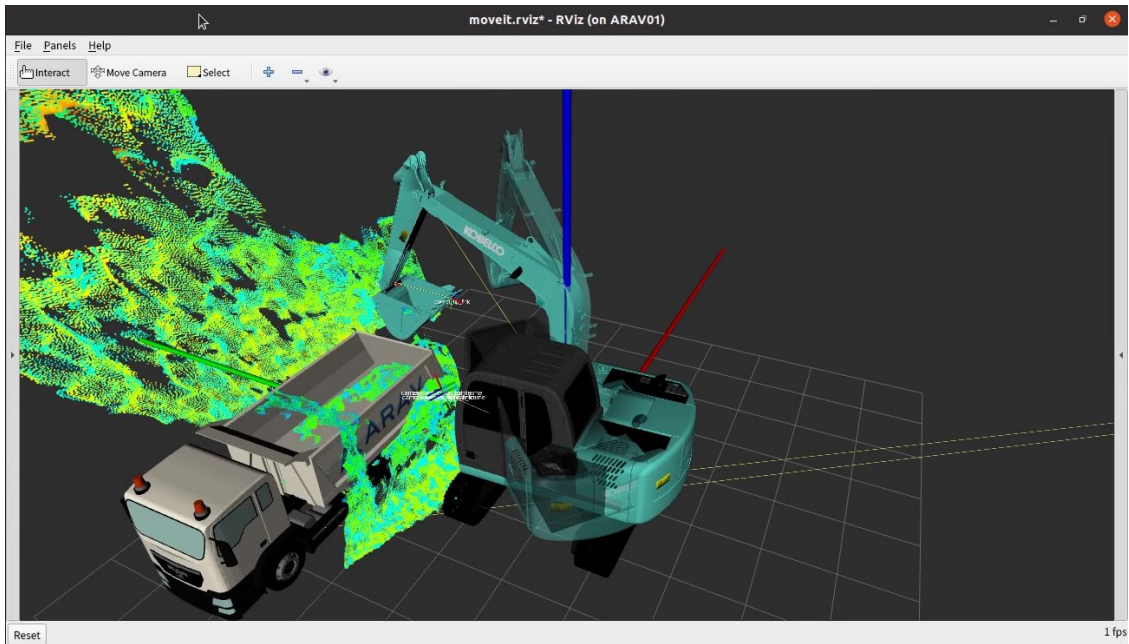
本実証実験は、工事現場において油圧ショベルで行っている、掘削・積込の単調作業を、人の手を離れ機械に自律的に行わせることを目的としている。

・自動運転の概要

本実証実験の流れは以下のとおりである。

- (1)待機/静止している油圧ショベルが自機の横（左右どちらでも可）に来たトラックを検知
- (2)油圧ショベルが土場から土を掘削し、その後トラック側へ旋回、土をトラックへ積込
- (3)トラックが油圧ショベルから離れると、油圧ショベルは再び待機/静止する

・ 自己位置と周辺環境の認識



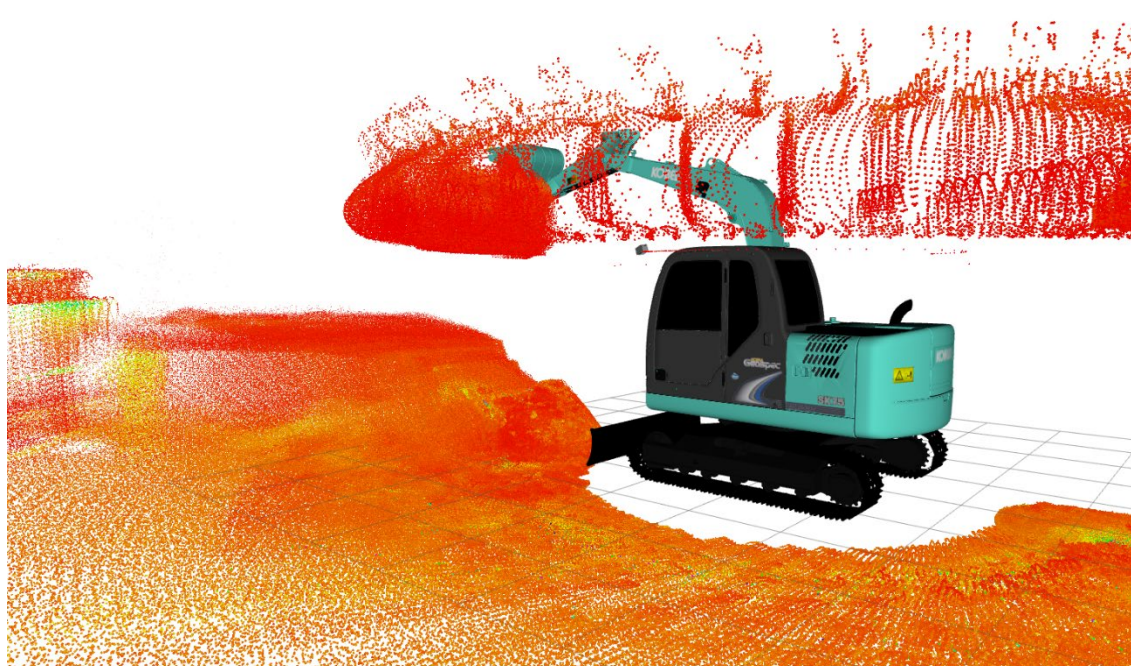
自己位置・周辺環境認識

自機である油圧ショベルは、

- 姿勢センサ
- GNSS(準天頂衛星みちびきによる cm 級測位補強サービスを利用し、油圧ショベルとトラックの位置を数 cm 単位の誤差で検知させている。)
- 3D LiDAR

等複数センサにより観測し、それらを元に周辺環境の状態認識を行っている。

・掘削・積込動作の生成と実行



モーションプランニング技術

掘削・積込動作の生成と実行については、モーションプランニング技術により、掘削すべきポイントや積込ポイントへの動きについて自律的に計算され、動作が生成・実行される。

・林業現場への転用の考え方

先述の流れは、林業における中間土場にも転用が可能だと考える。例えば、本実証実験の掘削対象である土を木材に、油圧ショベルを土場用グラップルに置き換え、トラックが土場に到着すると共に土場用グラップルが、木材の積込あるいは積下を自律的に行う。もしくは、木材置き場の横など定位置にトラックが到着した際に、トラックに設置されている車載グラップルが自律的に稼働し、木材置き場の木材を掴み取りトラック自機に積み込むといった手順である。

ただし、アームやブーム、バケットといった箇所を上下させるだけで業務を遂行可能な油圧ショベルに対し、グラップルでは、先端部で木材を掴む/離す、回転させる等といった複雑な動作制御や検知が必要となることが考えられるため、それらに対応可能な技術を研究・開発する必要があると考える。また、揺動式の子載グラップルは荷の振れの検知・制御が困難であることから、固定式のグラップルの方が、自動制御には向いていると考える。

【土木分野②】 振動ローラの自動運転

ダムの堤体工事現場の土木構造物を多数の無人重機を活用し建設（令和3年9月）



自動運転振動ローラ

鹿島建設は、秋田県内で建設中の成瀬ダムの堤体工事において、複数種かつ多数の無人重機を自律運転させて巨大な土木構造物を建設する「A4CSEL（クラウドアクセル）」プロジェクトを進めている。その中で、盛り土材料を締め固めることを目的とする重機、振動ローラの自動運転について紹介する。

振動ローラの自動運転を実現するには、重機を操るオペレータに代わる機能を車両に整備しなければならず、最初のステップとして人の「目」と「腕」の代わりとなる機能が追加された。人の目の代わりとして取り付けたのが、GNSS アンテナやレーザスキャナ、ジャイロセンサ、アーティキュレート角計測センサであり、腕の代わりに付けたのが後付けの自動操舵機械である。

・自己位置認識



ジャイロセンサ

自己位置認識のため、RTK-GNSS を導入し、2～5cm 程度の誤差で測位可能となった。しかし、通常、GNSS のデータを取得できるのは 10 分の 1 秒オーダーの間隔だが、今回の現場における重機の動作制御には 100 分の 1 秒オーダーのデータが必要となった。これを実現するために組み合わせたのが、振動ローラの姿勢などを把握する「ジャイロセンサ」である。

ジャイロセンサは角速度を 100 分の 1 秒ごとに計測可能で、振動ローラがどの方向に傾いているのかなど機械の姿勢を細かく把握できる。GNSS で取得する測位データの間を埋める位置情報を獲得することが出来、両者を組み合わせて、より正確で密度の高い位置情報の取得を可能とした。

・障害物検知



レーザスキャナ

障害物検知にはレーザスキャナが使用された。レーザを照射して対象物の 3 次元座標を測り、地形や地物の観測が可能となる。レーザスキャナの役割は大きく 2 つあり、1 つは人を含む障害物の検知で人身事故などを防ぐこと。もう 1 つは路面が平坦か否かなどを

判断することで、進行方向に存在するへこみや出っ張りを感知し、前方にあるくぼみに振動ローラがはまるといったトラブルを招かないようにするためのものである。

・ステアリング（ハンドル）操作

世の中に普及している大半の重機は、電子制御の仕組みに対応していない。よって汎用型の振動ローラを大改造せずに操縦するには、物理的なハンドル操作が必要となる。今回の振動ローラも電子制御には対応していなかった。



自動操舵機械



リレー回路

そこで開発されたのが、自動操舵用の機械である。これを操縦席に取り付けて、電気信号を基にモータでハンドル操作できるようにし、前後進のレバー操作については、命令を下す信号を伝えられるリレー回路を導入することで実現された。

参考文献) 日経 XTECH 「世界を変える重機の自律運転、第一歩は“目”と“腕”」

<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01772/090700001/>

【自動運転分野①】大型トラックの無人隊列走行

高速道路におけるトラックの後続車無人隊列走行技術（令和3年3月）



豊田通商が経済産業省および国土交通省から受託している「トラックの隊列走行の社会実装に向けた実証」において、後続車の運転席を無人とした状態でトラックの無人隊列走行技術が開発され、新東名高速道路の遠州森町 PA～浜松 SA の約 15km にわたって実証実験がなされた。

本技術の詳細は、3 台の大型トラックが、時速 80km かつ車間距離約 9m を維持しながら走行するというもの。本実証実験は、平成 28 年度から継続して行われている取り組みとなっており、車両技術と後続車無人システムの 2 軸にて進められている。

・先頭車有人・後続車無人システム

先頭車トラックはドライバーによる有人運転が実施され、続く 2 台の無人トラック（助手席には保安要員がいる状態）が通信により先頭車に連携、先頭車の軌跡を後続車が追従し、電子的に牽引する隊列走行を実現するシステムとなっている。トラック間への一般車による割り込みを防止するため、車間距離は常に 5～10m 以内を保つように制御されている。

・先頭車追従制御

先頭車を追従するために使用されているセンサは、

- 3DLiDAR
- ステレオカメラ

- RTK-GNSS

で、これら複数を使い分けることで、一部に障害が発生しても全体としての機能を維持できるような仕組みが取られている。

先頭車との横ずれ量を正確に検出し、左右±50cm以内での制御精度を実現している。

- ・車間距離維持制御

車間距離を維持するために使用されているセンサは、

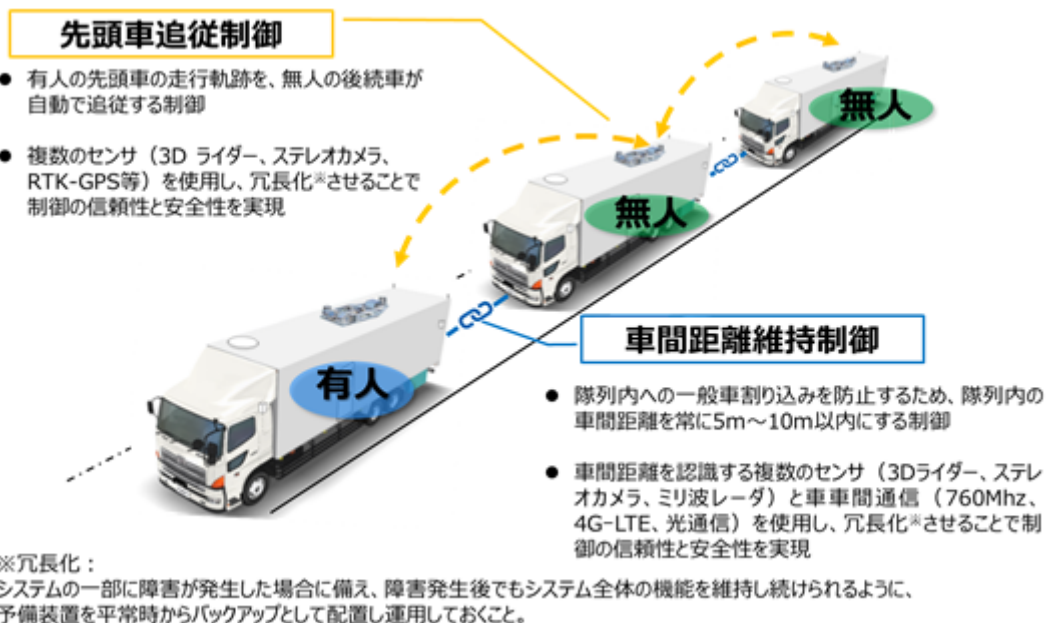
- 3DLiDAR
- ステレオカメラ
- ミリ波レーダー

で、これらと車車間通信の中身となっている

- 特定小電力無線（760Mhz）
- 4G-LTE
- 光通信

を併用することで、制御を実現している。

先頭車のブレーキ・アクセルの情報を、後続車に直ちに伝え、衝突を防止している。



先頭車追従制御および車間距離維持制御の概要

参考文献) 経済産業省：高速道路におけるトラックの後続車無人隊列走行技術を実現しました

<https://www.meti.go.jp/press/2020/03/20210305003/20210305003.html>

参考文献) 豊田通商公式サイト：高速道路におけるトラックの後続車無人隊列走行技術を実現

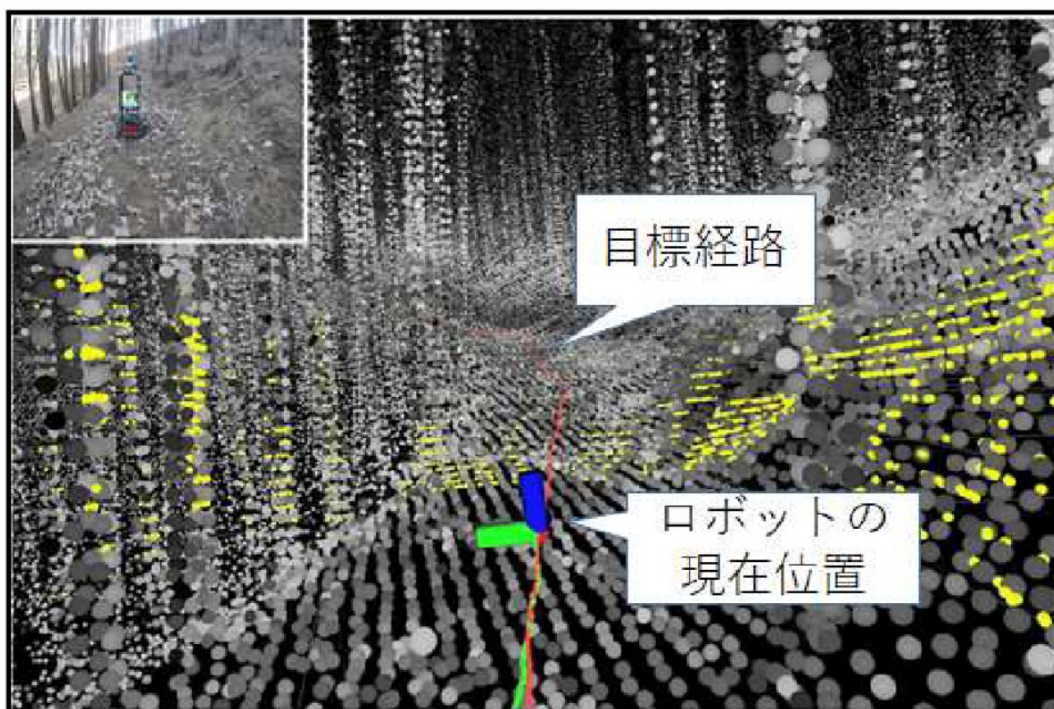
https://www.toyota-tsusho.com/press/detail/210305_004779.html

参考文献) CarWatch：豊田通商、大型トラックで実現した「高速道路 後続無人隊列技術」オンライン説明会

<https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1310350.html>

【自動運転分野②】 自律移動ロボット

森林作業道における不整地対応 3次元地図作成・自律移動実験（令和2年）



山梨県産業技術センターが重点化研究として、県内企業の自律移動ロボットの製品化及び事業化の支援を目的として、自律移動制御システムの研究開発を実施している。

3D-LIDAR による SLAM を搭載した自律移動ロボットを用い、山梨県内の森林作業道をフィールドにして、屋外不整地における自律移動実験を行った。実験は次の手順で行われた。

1. 事前走行の実施（手動操作によりロボットを操作，周辺の3次元地図及び目標経路を作成）
2. 自律走行試験の実施（目標経路に沿った自律移動の検証）
3. 目標経路および自律移動時のロボットの位置から追従誤差を算出

その結果、追従誤差は平均 0.037 ± 0.032 m，最大 0.243 m であることが確認された。屋内において同様の試験を行い追従誤差と比較した結果，屋内における平均誤差・最大誤差と同程度の精度が得られた。

参考文献）令和元年度研究報告：不整地対応 3次元地図作成・自律移動制御システムの開発（第2報）

https://www.pref.yamanashi.jp/yitc/documents/report_r01_06.pdf

参考文献）令和2年度研究成果速報：不整地対応3次元地図作成・自律移動制御システムの開発（第3報）

https://www.pref.yamanashi.jp/yitc/sokuho/documents/p01_30-01.pdf

【海外林業分野①】自動運転木材運搬トラック

自動運転カテゴリレベル4の木材運搬トラック T-log (平成30年8月)



木材運搬トラック T-log

林業先進国であるスウェーデンのスタートアップ企業 Einride から、林業現場での使用が想定された自動運転可能な木材運搬トラックである T-log が発表された。自動運転のカテゴリレベルが4であり、また電気自動車であるという特徴がある。

・自動運転レベル4

T-log の自動運転カテゴリはレベル4となり、特殊な状況下でのみ人が操作するが、基本的にはほぼすべての運転を自動で行う。運転席は設置されておらず、人の操作が必要な際はリモートコントロールにて行われる。

自動運転実現のために設置されているセンサは、

- ライダー (恐らく 3D ライダー)
- レーダー (恐らくミリ波レーダー)
- カメラ (恐らく RGBD カメラ)

で、それらによって得られた情報を人工知能が搭載されたコンピュータにて処理する。

・電気自動車

エンジンはなく、その分バッテリーが搭載されており、動力源は電気となっている。

・運搬能力

- 最大積載量：16 トン
- 航続距離：約 200km
- 最大速度：80km/h
- バッテリー容量：300kWh

木材運搬トラックであるため、重量物である木材を積載するための能力に優れている。通常のトラックと比べると運転席とエンジンルームが排除されている分、荷台のスペースを大きく確保でき、最大で 16 トンの積載が可能となっている。サスペンションとシャーシが強化されており、林道等荒れた道路の走行にも対応しているとのこと。航続距離は一度の充電で約 200km の移動が可能である。

・排気ガスの削減

T-log に期待できるのは木材運搬の自動化のみならず、排気ガスの削減にも効果的である。多くのトラックにはディーゼルエンジンが利用されており、二酸化炭素が多く排出されてしまう。一方で T-log は電気自動車であるため、二酸化炭素を排出することのない運用が可能となっている。

参考文献) WIRED：自律走行する運転席なしの電気トラックが、北欧の森で木材を積んで走り出す

<https://wired.jp/2018/08/01/einride-t-log/>

参考文献) TECHABLE：林業現場にも先端技術! 自動運転の木材運搬トラック「T-log」登場

<https://techable.jp/archives/80108>

参考文献) EINRIDE 公式サイト内プレスリリース

<https://www.einride.tech/press>

【海外分野②】要素技術(Lidar ベース SLAM)

林道・住宅地・郊外における Lidar ベース SLAM の評価 (令和 2 年)

スウェーデンの Linköping 大学の Oskar Karlsson 氏による修士論文。軍用途を前提として、GNSS 無しで Lidar と IMU(およびその他のローカルなセンサ)の入力から SLAM による自己位置推定を行うための研究である。林業分野ではなく、自動運転分野の研究であるが、同一の Lidar ベース SLAM を搭載した車両にて、林道・住宅地・郊外を走行し、環境の違いによる SLAM の精度評価を行っており、GNSS 精度が悪い林道を自動走行するための参考となる。



林道の典型的な風景



住宅地の典型的な風景



郊外の典型的な風景

GNSS 速度を入力して演算した場合の自己位置を真とし、GNSS の入力無で演算した場合の自己位置との誤差を RMSE(平均二乗誤差)で評価すると、

- 林道：3～7m
- 住宅地：9～19m
- 郊外：29～54m

となり、林道の精度が最も良い。これは主として、SLAM で認識されるフィーチャ(地物)の数が林道>住宅地>郊外の順に多いことに起因している。

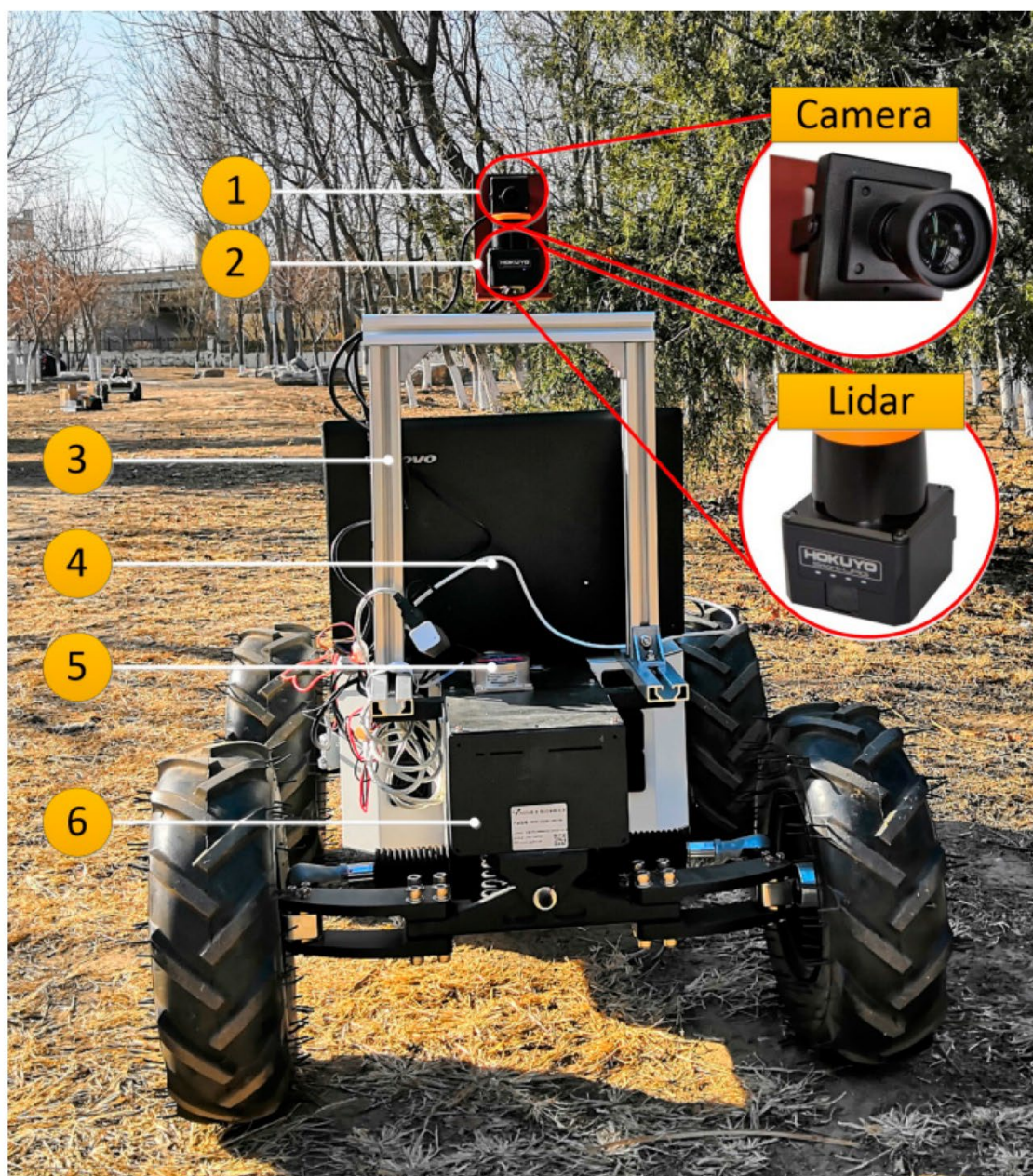
本研究のフィールドである林道は、写真を見る限り、日本の林道より広く平坦ではあるが、目印となる道両際の植生の状況は日本と同様であり、日本の林道においても同じような結果が得られると考える。林道においては、上空視界の悪さから、GNSS の精度が悪化するため、自己位置推定のための代替技術が必要となるが、本研究により SLAM の利用可能性が示唆される。一方、精度が高いとは言えども、長距離になるほど誤差が累積していくことから、誤差が許容範囲に収まるように、マーカ等を設置し、真の位置にリセットすることが必要である。

参考文献) Lidar-based SLAM: Investigation of environmental changes and use of road-edges for improved

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1428857/FULLTEXT01.pdf>

【海外分野③】 要素技術(画像処理+LIDAR)

画像処理と 2D LIDAR データの組合せに基づく林道の道路境界の検出 (令和 3 年)

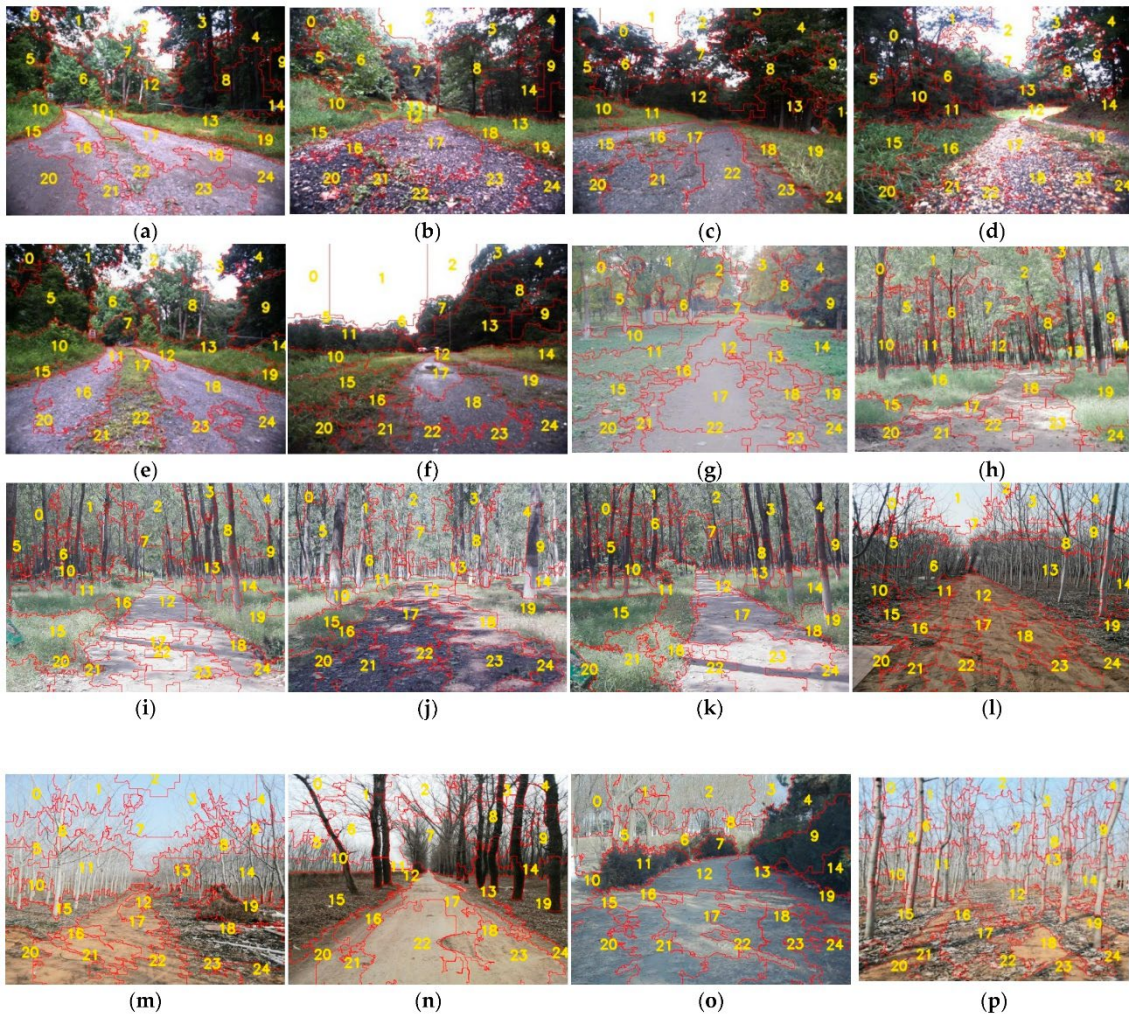


中国の北京林業大学の Guannan Lei 氏らによる論文。林道には、効果的な参照オブジェクトや人工標識がなく、未舗装で道路境界がはっきりしないことから、車両や機械の自動走行において道路境界を検出することは大きな課題である。この研究では、CCD 単眼カメラによる画像の画像処理(改良された SEEDS(Superpixels Extracted via Energy-Driven Sampling)+SVM(Support Vector Machine)と 2D LIDAR の組み合わせによって、未舗装林道の境界検出を行うことを提案している。

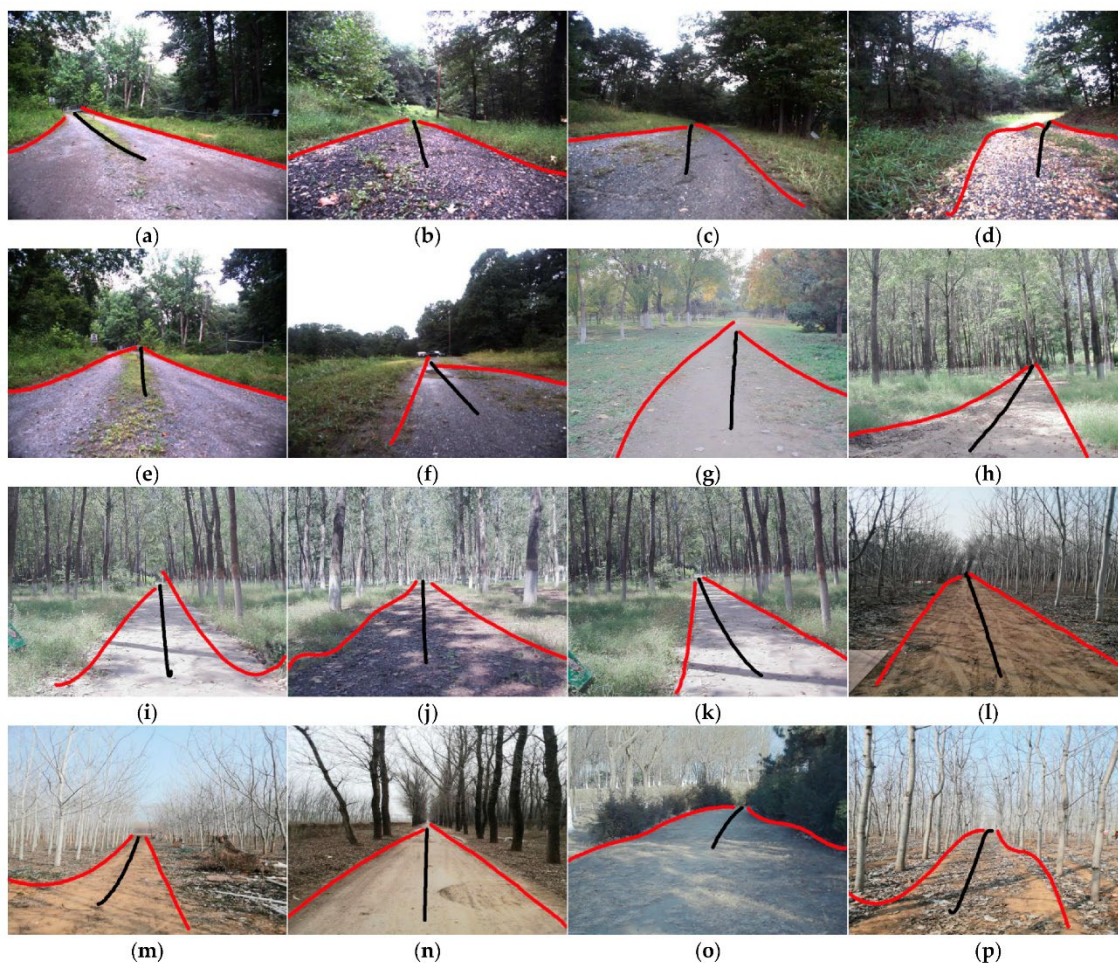
提案手法の大まかな流れと特徴を下記に示す。

- カメラ画像のスーパーピクセル領域への分割
 - 7つの独立した特徴(色相、彩度、値、角度2次モーメント、コントラスト、逆差モーメント、相関)により、画像をいくつかの領域に分割する
- SVMによる領域の分類
 - 分割された領域それぞれについて、道路エリアか非道路エリアに分類する
 - SVMは教師あり学習であるため、林道の画像による学習が必要である。そのため、ロボット非構造化地上走行(RUGD)の公開データセットより、林道を含む850枚の画像を選択したほか、中国山東省の鷲峰国立森林公園と聊城森林農場試験基地で独自に撮影した1100枚の画像をデータセットに追加し、計1950枚の画像により学習を行った。
- 2D LIDARによる補足
 - 木と木の間の通過可能な領域の方位角と幅の情報を検出し、画像に再マッピングすることで、カメラ画像情報の不足を補う。
- 道路境界線と中心線の推定

これらの手法によって、既存のSLICアルゴリズムに比べて、高精度に道路境界の検出であることが確認された。また、1フレームあたりの平均処理時間は89.3ミリ秒であり、低速機械の自動走行に求められる10フレーム/秒の処理要件を満足する。



林道画像のスーパーピクセル領域への分割結果



道路境界線と中心線の推定結果

上図の推定結果より、(l),(m),(n),(p)等の道路境界が不明瞭で、地面の色の差が少ないケースにおいても、概ね道路境界を認識できていることが分かる。一方、安全サイド(道路領域外を道路とは認識しないように)に判別しており、林道巾員が車両巾に対して余裕がない場合は、認識巾員が足りず、通行不能になる恐れがある。また、道路領域内に石などの障害物があった時の対応や、路肩が軟弱な場合等の画像ではわからないが通行してはいけない領域の認識は別途検討が必要である。

参考文献) Detection and Modeling of Unstructured Roads in Forest Areas Based on Visual-2D Lidar Data Fusion

<https://www.mdpi.com/1999-4907/12/7/820/htm>

(2) 林業関係者のニーズ・課題把握

林業関係者の自動運転に関するニーズや課題の把握のため、10者にヒアリングを行った。

No.	カテゴリ	ヒアリング先	地域	日付	方法
1	林業有識者	森林総合研究所		9/14	Web
2	森林所有者	社有林所有者	北海道	11/10	Web
3	森林所有者	自伐林家	中国(鳥取)	1/7	Web
4	森林組合	森林組合①	中部(長野)	11/4	訪問
5	森林組合	森林組合②	四国(高知)	12/9	Web
6	林業事業体	林業事業体①	九州(宮崎)	10/27	Web
7	林業事業体	林業事業体②	中国(岡山)	11/16	Web
8	木材市場	木材センター	中部(長野)	10/13	訪問
9	メーカー	トラックメーカー(非公開)		12/22	Web
10	メーカー	林業機械メーカー(非公開)		12/27	Web

1. 森林総合研究所

カテゴリ：林業有識者

日時：令和3年9月14日 13:10～15:00

方法：Webexによるオンライン実施

1. 海外林業分野の事例について

- ・コロナで海外に行けず、海外の最新情報が得られていない。2年前の状況では、海外も始まったところかなという感触。少し進んでいるかなという印象だが、技術的にさほど差はないように思う。フォワーダに対する子機の扱いでリモート操作するフェラーバンチャは市販化されており、一人の有人OPがフェラーバンチャを遠隔操作していた。
- ・自動ではないが、アームやブームを一つのレバーで簡単に動かせる技術や、初心者向きに遠いところはゆっくり動くといった技術が、ジョン-ディアの市販機に搭載されている。位置による制御ができるということなので、遠隔化や自動化につながる。急操作したときの衝撃を、制御ではなくバルブでコントロール・衝撃を緩める技術をコマツ・バルメットが市販化していた。直接、自動・遠隔技術というわけではないが、要素技術として使える。
- ・遠隔・自動化技術はどこがすすんでいるというのは特段ない。大学の先生でいうと、スイス工科大学ハイニマン先生が大御所だったが、現在は退職・再雇用。その後を引き継いだボスの存在は、ボクサー大学(オーストリア)のシュタンファー先生で、タワーヤーダの搬器移動の自動走行をやっていた。他に、個別の要素技術はドイツがやっているように思う。KWF(ドイツ林業機械化協会)に聞いてみると情報が得られるかもしれない。他に、EUでの林業機械関係のプロジェクトとして、スウェーデンとフィンランドの先生を中心に2年前から2つのプロジェクトが動いている。その中に自動化の話も入っているが、メインは低環境負荷。

2. 実証実験にむけた要件整理の手法について

- ・コスト計算をしてもメリットが見合う計算が出てくるように思えない。林業労働者数がどんどん減っていき、人の確保がままならない中で必然的に自動化が必要であるということもメリットとして挙げた方がよい。

3. 林道の通行止めの前提について

- ・トラックを自動走行させる場合、近未来的には、安全確保上林道を封鎖させる必要があると思う。林道封鎖ができれば自動化できると思う。例えば、ガードレールに何か他の付属施設を付け、機械から視認できるようにするなどすれば。今のところは、人が絶対に入らないという大前提を持っていないとできないように思う。

4. 索道やモノレールのアイデア

- ・個人的な意見としては索道やモノレールの自動化の方が良いかと思っている。道路の管理費に比べ、索道の管理費の方が安価。今後、山の中まで道路インフラを整備して、維持管理し続けられるのかは疑問。索道さえ通ってれば、電気もインターネットも通せる。それを起点とした自動化は楽ではないかと考える。
- ・山のすべての縦断勾配を、道路で克服するのは不可能。人が入る前提で、道路インフラがあるが、自動化され、人が入らないのであれば索道でもよいのではという発想。コンテナに入れた木材を自動で運ぶといったことは既存技術で対応できる。ただ、人の頭の上に索道は通せないなので、山側が完全に無人化されている必要がある。索道からの枝線は自動化された機械が走るための作業道レベルで必要だと思うが、インフラとしての林道はどこまでいるのかに疑問。

5. 想定する自動運転のレベル・パターンについて

- ・最終的に自動化するのであれば、コンテナ化して、コンテナ単位で動かすのがよいのでは。昔、イワフジで開発したコンテナフォワーダがその考え方。コンテナ本体が、物として掛り増しにはなってしまうが、自動化していくには、ユニット化していちいち下ろさなくてよい方向にもっていく方がよいのでは。
- ・フォワーダのアームロールを、トラックがそのまま積み込むやり方はアクティオが実用化している。ハンドリングを増やすよりはその方がよいと思う。
- ・諸岡とバイオマス(タンコロ・枝葉)搬出用に、アームロール車を使った実証実験をやった。

6. 有人の運転において注意すべきところ、普通車や一般道との違いはあるか

- ・トラック運転手のヒヤリハット事例集を作成しており、その中に林道の特殊性なども触れているので参考にしてほしい。

7. 24時間稼働について

- ・自動化においては24時間稼働も可能。生産性と安全性はトレードオフの関係。24時間動くのであれば、低速にしたり、機械を小型のものにしたりして、自動制御のレベルを落とすことができる。一方、時間が限られるのであれば、求められる速度が速くなるため、高価なセンサーなどを用いて、信頼性・安全性を上げる必要がある。
- ・24時間稼働するか否かで技術レベルが大きく異なると思う。信頼性が低く、すぐ停止してしまうシステムでは、24時間稼働のメリットが出せない。

8. 検知・伝票管理について

- ・土場とか市場の伝票管理をいかに電子化できるかが重要。ICタグ等いくつか先進的な事

例はある。群馬県森連が需給マッチングの仕組みを活用している。総研で ICT ハーベスタを研究したときは、森林組合系統とは考え方の異なる九州方面の民間市場も調査した。木材を取り扱うプロであり、一番情報が集まってくるのは市場なので、新しいビジネスモデルが見えてくるかもしれない。

9. グラップルの自動化について

- ・イワフジが伐倒木を AI で画像認識して、(架線に吊った)グラップルでつかむ技術開発を行っているが、山の中で伐倒木を 1 本掴んでくるのに対し、土場の丸太を複数積まれている中で数本掴む、さらにそれを積み込む技術は、状況に応じて千差万別で難しい気がする。市場でログローダが一気に下ろすようなやり方は自動化しやすいと思う。

2. 社有林所有者（北海道、本州）

カテゴリ：森林所有者

日時：令和3年11月10日 13:30～15:30

方法：Webexによるオンライン実施

1.御社の素材生産量、施業森林の所有形態(自己所有林・民有林・公有林・国有林等)、伐採種別(皆伐・択伐・間伐等)、林内での作業システム(車両系・架線系、使用機械等)を教えてください。

・素材生産量：15万 m³/年 北海道が8割

・施業森林の所有形態：全て社有林

・伐採種別：皆伐がここ5～6年増えてきており、伐期は5～60年程度。

・樹種：北海道 トドマツ・カラマツが半々、本州 スギが主、一部ヒノキ

・向先：製材用材・合板用材8割、チップ用材2割

※商流・物流ともに工場との相対取引が多い

※社有林は道内各所に存在するため、納入先も現場によって様々

※本州の場合は木材市場への出荷が多い

・作業システム：伐倒=ハーベスタ50%・チェーンソー50%、(木寄=グラップル)、

造材=ハーベスタ、小運搬=フォワーダ(6t)、機械サイズは0.5m³が多い、または0.45m³

・稼働現場数：約20現場

子会社が作業班を2セット保有、他は協力会社。現場管理するプランナーは各営業所に在籍し、協力会社に生産請負させる。

(以下、本州との注記が無ければ、北海道についての記載)

2.使用しているトラック・トレーラー等のサイズ、仕様、保有・運用の自社・外注等を教えてください。

・自社外注別：トラックは全て外注で、決まった外注先がある。

・サイズ、仕様：10t車→3.65m×2連または2.4m(チップ用材)×3連=荷台7.3m超

(車載グラップル有/無)

セミトレーラー→3.65m×3連、チップ用材は2.4m×4連

※1連の車は北海道ではほぼ使わない

3.土場およびトラック運材の運用はどのようにされていますか。

・フォワーダで山土場には積みするまでが山側の仕事。そこから先は運送会社に外注。

・近ければ、10t車で山土場から直送(1日2.5往復程度が平均、片道1.5時間程度)、1日1往復しかできないようであれば中間土場でトレーラーに積替える

4.土場での具体的な作業について教えてください。

- ・ 車載グラップル付の場合は、それで積込む。無の場合は、運送会社が保有する積込用グラップルは土場に回送して、それで積込む。その判断は、運送会社が行っている。
- ・ 山土場で規格別に仕分けをし、チョークで検知を取り、紙伝票を付けて出荷する。
- ・ パルプは紙伝票を付けて、工場で計量。
- ・ 積込時の検知は、職員がなるべく立ち会うようにしているが、間に合わない場合は運転手に任せる場合もある。
- ・ 相対取引なので、両社が納得すれば、ハーベスタ材積の利用や写真検知等の可能性もある。

5.納入先(製材工場、木材市場)での積下の方法を教えてください。

- ・ 大型のフォークローダーをトラックに横付けし、ステッキを外して下ろす方式が一般的であり、自動運転のトラックが工場に来てても特に困らない。

6.現状の m3 あたりの運材コストや、トラック 1 台での 1 日の運材量を教えてください。

(非公開)

7.普段走行されている林道の規格や路面状況、距離等の状況を教えてください。

- ・ 未舗装、既設林道は幅員 3m 以上、10t 車(2 連)が入れない場合は、地権者と話して広げたり、違う方から道を入れたりする。
- ・ 道が無い社有林には、幅員 4m 程度の林道を新設している。道が無い山の方が多い。
- ・ トラックの入る幹線(林道)を整備して山土場を作り、そこからフォワーダ用の支線(作業道)を入れる。
- ・ 公道から山土場の距離は、直近~10km(1 時間)程度まで。
- ・ 北海道は 10t 車(2 連)が入らないと基本やらないと思う。

8.運材トラックの走行にあたり、普通車や一般道と比べて特に注意するところはどこですか。

- ・ 林道開設の技術や地形によって走りやすさに違いがあり、縦断勾配の上下がきつかったりして、全てが走りやすい道とは言えない。
- ・ 既設林道は、路面状況が悪い、待避所が無い、枝が出ている等の課題がある。
- ・ 本州の林道だと待避所が少なく、すれ違いには延々とバックする必要がある。
- ・ 雪が降った場合、除雪されて路側に雪の壁ができるため、路側の認識はしやすい。むしろ本州の方が夏場は草が茂って路側の認識はしづらい。
- ・ 除雪はブルドーザーかロータリーで行う。除雪車の後に隊列走行させてはどうか。ロータリーは石を巻き込むと止まってしまうが、既に圧雪路ができている場合には順調に走

るため、除雪車も自動走行が可能かもしれない。

9.フォワーダや土場運用等も含め、運材工程にどのような課題を感じていますか。

- ・運材コストがかかるのは、運転手の需給環境的に仕方がないと思っている。
- ・林道インフラ整備を公共工事でもっと手厚くやってほしい。枝線は自分で入れるが、幹線林道の整備は公共でやってほしい。幅員は4m程度取って10t車(2連)が問題なく入れるように、待避所等もしっかり作ってほしい。本州方面は特に整備が必要だと思う。
- ・林道に至るまでのアクセス道が、幅が狭かったり、線路の下をくぐらせたり、橋が小さい等とトラックが通れず、林道が活用できないこともあり改善してほしい。ヨーロッパは地域全体でインフラを整備する意識がしっかりしていると思う。

10.トラック運転手の人材確保、人材育成、技術レベルについての課題はありますか。

- ・北海道内でも運送業界全般に運転手が足りていない。
- ・長距離トラック運転手は道内だけでも2-3日帰らないことになるため、林業用トラックの日中のみの仕事という条件に魅力はある。低速ギアで山道を上って下る、相当な特殊技能が必要なので、人材確保・育成には苦労していると思う。

11.トラック自動運転のレベル4(無人運転)を運用する場合に、緊急停止時には遠隔復帰や遠隔運転操作が必要になりますが、人員配置等どのような形で対応できますか。また、24時間稼働の必要性や、実現にあたっての課題を教えてください。

- ・外注の運送業者であるが、自動運転の取り組みには興味を示すと思う。運転手がいないので、そのようにしていかないといけないのではないかな。
- ・24時間稼働について、除雪コストが非常に大きいので、大雪が降る前に集中的に運材して、中間土場に出し切るといったニーズはある。
- ・林道入口に民家があり、騒音問題上できないようなケースもあると思うが、そうでない現場や、林道入口に中間土場を作る等で実現できると思う。

12.土場での積込、積下の遠隔化・自動化についてどのように行うのが良いと思いますか。

- ・納入先での積下は、フォークローダーの自動化により対応できると思う。

13.運材トラックの自動運転や土場での積下の遠隔・自動運転について、期待する点や懸念する点がありますか(安全性、コスト、生産量等)。

- ・先頭について隊列走行するアイデアは良いと思う。北海道の冬であれば数台連ねていける。私有林道なので他社は入ってこない。

14.もし自動運転トラックや土場での積下の遠隔・自動運転が実用化された場合、通常のトラックに対して、どの程度の投資増であれば導入を検討してみたいですか。

- ・投資回収年数は5年ぐらいか。運送業者の規模はトラック5台+トレーラー2台位持っている規模で、5~6社と付き合いがある。乗ってくる会社もあると思う。
- ・運転手がいらず全部自動で済むなら、当社としてトラックを保有し、中間土場まで自動で降ろして、後は外注のトレーラーで運び出すという形であれば検討できる。

3. 自伐林家2名（鳥取県）

カテゴリ：森林所有者

日時：令和4年1月7日 19:00～21:00

方法：Webexによるオンライン実施

1.御社の素材生産量、施業森林の所有形態(自己所有林・民有林・公有林・国有林等)、伐採種別(皆伐・択伐・間伐等)、林内での作業システム(車両系・架線系、使用機械等)を教えてください。

- ・素材生産量：A氏) 500m³/年(2人) 生産性は2m³/人日弱
B氏) 200m³/年(3人) ※造林や特伐は別途
- ・施業森林の所有形態：A氏) 自己所有林、森林組合の下請け
B氏) 町有林60haの管理を受託
- ・伐採種別：A氏) 間伐が主（自己所有80～90年生、組合42年生～）
自己所有林にて0.1～0.3ha程度の皆伐も行っている
B氏) 間伐（60～70年生）
- ・樹種：6～7割がスギ、残りはヒノキ
- ・向先：原木市場（チップ材以外全て）、チップ材
- ・作業システム：
A氏) 2tダンプを作業道に直接入れられる場合：
作業道開設=0.1m³(3.5t)のバックホー、伐倒・造材=チェーンソー、
木寄・積込=0.25m³のグラップル、2tダンプに直接積込
2tダンプが入らない場合：
木寄・積込=0.1m³(3.5t)のグラップル、小運搬=3.1t積フォワーダ(やまびこ)
B氏) 作業道開設=0.1m³(3.5t)のバックホー、伐倒・造材=チェーンソー、
木寄・積込・小運搬=1.2t積ウインチ付林内作業車(やまびこ)

2.使用しているトラック・トレーラー等のサイズ、仕様、保有・運用の自社・外注等を教えてください。

- ・自社外注別：A氏が所有し、B氏にも貸し出している
- ・サイズ、仕様：2tダンプ
- ・10t車が走行できる道まで3～4kmかかる一方、市場が近いので、10t車を保有する事業体はなく、大きくても4～5tクラス。

3.土場およびトラック運材の運用はどのようにされていますか。

- ・2tダンプが作業道に入れる場合は山から市場まで直送、入れない場合は山土場で積込
- ・市場まで約15km、往復1時間強
- ・山土場に貯めて一日出し続ける場合は、がんばれば7車出せるが、近所の目もあり5車

程度で止めるようにしている

4.土場での具体的な作業について教えてください。

- ・ A 氏) 山土場で積込する場合は 0.25m³ グラップルを使用
- ・ B 氏) 山土場では 0.1m³ のバックホーで積込
- ・ 検知は市場側で行ってくれるため不要。市売(月 2~3 回)の結果を郵送で送ってくる。

5.納入先(製材工場、木材市場)での積下の方法を教えてください。

- ・ 市場での積下は、市場側がグラップルやフォークリフトで行ってくれる。人がいない場合には、ダンプで降ろすこともある。

6.現状の m³ あたりの運材コストや、トラック 1 台での 1 日の運材量を教えてください。

- ・ 2m³/台×5~10 台/日程度

7.普段走行されている林道の規格や路面状況、距離等の状況を教えてください。

- ・ 一般道までは現場から 3~4km 程度
- ・ 既設林道の道幅は 3m はあるが、大型車は狭くて入れないという印象。未舗装が多いが、一部コンクリート舗装もある。
- ・ 西日本豪雨で大きな被害を受けた。普段から雨が多い地域であり、土砂の堆積や洗堀等、初めて入る林道は基本的に壊れており、入る人が直す。
- ・ B 氏) 以前は 4t ユニックを使っていたが、崖っぷちの道だと怖く、2t ダンプに切り替えた
- ・ 開設する作業道の幅員は 2.3m。補助金上は 2.0m 幅員の規格。
- ・ 真砂土が多いため、赤土、黒土、ガラ等を小型の不整地運搬車で運び、ミックスして路盤を作る。購入碎石は使わないが、尾根でとれた石を撒くことはある。
- ・ 仲間で開設が得意な人がおり、20m/日程度は開設できる。
- ・ 作業道に 2t ダンプを入れると、1 年目はわだちができたりするが、2 年目からは落ちていく

8.運材トラックの走行にあたり、普通車や一般道と比べて特に注意するところはどこですか。

- ・ 停車中のブレーキの確認。ギア・サイドブレーキをしっかり入れる。仲間が入れ忘れて廃車にしたことがあった。
- ・ 走行中に材木が緩んでくるため、荷締めの確認、増し締めを行う。
- ・ 過積載にならないように気を付ける。
- ・ 作業道の横断勾配はフラットではなく、排水のため谷側に傾いているため、山側に荷重

が掛かるように載せている。

- ・以前はスイッチバックを 2t ダンプで走行していたが、荷を積んだ状態のバックでウイリーした。以後はヘアピンカーブに変えるか、フォワーダで出している。

9.フォワーダや土場運用等も含め、運材工程にどのような課題を感じていますか。

- ・現場に向かうのに、一般道⇒農道(簡易アスファルト舗装)⇒林道(未舗装又はコンクリート舗装)⇒作業道と経由していくが、農道の舗装が薄いため割れる恐れがあり、土地改良区から 2t より大きい車は通ると言われる場合や、2t 車でも農家から苦情を言われることがある。
- ・山土場になる場所が少なく、20m³ 積むのも難しいことも多い。

10.トラック運転手の人材確保、人材育成、技術レベルについての課題はありますか。

- ・小型車であり、特になし

11.トラック自動運転のレベル 4(無人運転)を運用する場合に、緊急停止時には遠隔復帰や遠隔運転操作が必要になりますが、人員配置等どのような形で対応できますか。また、24 時間稼働の必要性や、実現にあたっての課題を教えてください。

- ・山側の人間が対応する。
- ・少量生産であり、24 時間稼働の必要性は無し。

12.土場での積込、積下の遠隔化・自動化についてどのように行うのが良いと思いますか。

- ・やまびこはサイドダンプ式なので、降ろすのは無人化可能だが、落ちたスタンションを手で戻しているため、その改造は必要。
- ・山土場グラップルを、VR ゴーグルと先山グラップルのレバーを使って遠隔操作したい
- ・作業道にて 2t 直積みする方式であれば、積込・積下の考慮は要らずシンプル

13.運材トラックの自動運転や土場での積下の遠隔・自動運転について、期待する点や懸念する点はありますか(安全性、コスト、生産量等)。

- ・2t ダンプが自動で走って行ってくれば、山の仕事に集中できるので良いと思う。
- ・将来的にドローン(無人ヘリ)集材と組み合わせられないか
- ・集落の人の理解が必要で、実際に行うにはハードルが高い
- ・公道を走らせるのには抵抗があるが、フォワーダの自動運転で山土場まで下ろしてくれるとありがたい。
- ・電磁誘導フォワーダの場合、誘導線を伐倒で壊す可能性が高い

14.もし自動運転トラックや土場での積下の遠隔・自動運転が実用化された場合、通常のトラックに対して、どの程度の投資増であれば導入を検討してみたいですか。

- ・小規模事業者のため大きい投資は難しいが、投資回収年数は5年ぐらい。

4. 森林組合①（長野県）

カテゴリ：森林組合

日時：令和3年11月4日 10:00～12:00

方法：先方への訪問

1.御社の素材生産量、施業森林の所有形態(自己所有林・民有林・公有林・国有林等)、伐採種別(皆伐・択伐・間伐等)、林内での作業システム(車両系・架線系、使用機械等)を教えてください。

・素材生産量：15,000～20,000m³/年

・施業森林の所有形態：民有林 70%(公有林は含むがほぼなし)、国有林 30%

・伐採種別：間伐がメインで列状間伐。2回目の間伐も出てきている。

皆伐は国有林の立木販売(年1現場あるかないか)や土木工事関係である程度。

※施業地の大きさは5～10ha超程度。昔30ha位やっていたこともあるが、現場が飽きてペースが落ちてきたので10ha程度に留めるようにした。

・樹種：スギ・カラマツ

・向先：製材用材・合板用材・輸出材・チップ用材

※周辺市町村の森林組合は共同出荷体制で、配車と商流のコントロールは県森連が行っている。

※製材用材は、地場製材所か、県外の製材所に直送出荷する。製材用材も最近、県森連扱いになったが、製材所とのやり取りは現場と製材所で直接行い、県森連は配車と帳合のみ行っている。

※合板用材は、県外の合板工場に陸送する他、直江津港から内航船で県外合板工場に集荷するルートがある。輸出材も直江津港ルート。

※直江津港ルートは、商社に港渡しで売払う形になっており、商社と客先が紐づいている。港湾荷役業者が商社から受取業務を請け負っている。陸送している合板工場が、夏場はスギが供給過剰になるので受入を止める。そういう時期に直江津港を多く使っている。多い時だと年間の半分くらいは直江津港行き。

※チップは、バイオマス発電所かキノコおが粉、製紙用チップ工場に直送(県森連配車・帳合)。

・作業システム：伐倒=チェーンソー、木寄=スイングヤーダ、
造材=プロセッサ、小運搬=フォワーダ(主にU-4かU-5、車載グラップル付)
機械サイズは、昔は0.25m³だったか、0.45m³が主になってきている。

※スイングヤーダは地引かハイリード方式で使用。班によって繊維ロープを使用。

※フォワーダは一部グラップル無もあり、ダンプで下ろし、雨の日に土場で整理するやり方の班もある。

2.使用しているトラック・トレーラー等のサイズ、仕様、保有・運用の自社・外注等を教えてください。

- ・ 自社外注別：トラックは全て外注で、県森連が配車。管内に林業専門の運送業者が 3 社。
- ・ サイズ、仕様：10t1 連→4m×1 連・車載グラップル付
10t2 連→4m×2 連・車載グラップル付
セミトレーラー→4m×3 連

3.土場およびトラック運材の運用はどのようにされていますか。

- ・ 基本的には物流として市場は介さず、出荷先に直送。市場での競り売りはあることにはあるが、根曲がりやトビ腐れ等の欠点が多く、他産地に勝てないため、あまり出さない。
- ・ 10t 車で山土場から直送する場合と、中間土場でトレーラーに積み替える場合があるが、林道の条件、土場の在庫、車両の空き具合などから、県森連が判断して配車する。
- ・ 合板用材は、10t2 連で山土場から直送するか、トレーラーに積み替え。
- ・ 直江津港には、条件の良い山土場からだと、往復 2 時間・1 日 4 回程度行けるため、10t1 連でもそのまま持っていく。
- ・ 地場製材所やチップ材は近場のため、10t 車直送。

4.土場での具体的な作業について教えてください。

- ・ 当組合とメーカーで共同開発したスマホでの検収システムを活用している。現場からの評判も良く、他地域にも展開できるシステムだと思う。
- ・ 山側でチョークで寸面を書き、フォワーダのグラップルで山土場に降ろす。同時に、現場名(個人ごと)と下ろし先(山土場)、材積を検収システムに入力。
- ・ 出荷時は、運転手が検収システムに入力(立会はない)しながら、トラックの車載グラップル又は土場用グラップルで積込。データは県森連にメール(CSV)で送られる。県森連が CSV を紙伝票におこして、出荷先に送付する。
- ・ 県森連他関係者はどの土場にどれだけの量があるかを Web 上で把握できるので、それを見て出荷先、配車、山土場直送 or 小出し等の判断を行っている。
- ・ 材積情報は個人ごとに分かれているが、物としては混ざっているため、ある期間の協定価格の平均で生産する。そのため、競り売りには向かないシステム。
- ・ 現在、寸面検知は手作業だが、その後の情報の流れは完成しているので、将来的に写真検知やハーベスタ検知にもつなげやすい。

5.納入先(製材工場、木材市場)での積下の方法を教えてください。

- ・ 製材工場、チップ工場、直江津港では、トラックのグラップルで運転手が積み下ろす。
- ・ 直江津港には、木材の下ろしには使っていないが、フォークリフトはある。また、船に積み込むための何らかの荷役機械があると思われる。

- 6.現状の m³あたりの運材コストや、トラック 1 台での 1 日の運材量を教えてください。
- ・ 県森連共同出荷では、車の空き状況で配車をするため、車の種類は問わず行先で価格は同じ。県森連側で運賃の平均化を行っているはず。売先も県森連がある程度決めており、山側は生産に集中している。
 - ・ トレーラー：1 日 1 台
 - ・ 山土場→中間土場小出し：10t1 連で往復 2 時間・1 日 4 台程度
 - ・ 条件の良い山土場 or 中間土場→直江津港：10t1 連 or 2 連で往復 2 時間・1 日 4 回程度
- 7.普段走行されている林道の規格や路面状況、距離等の状況を教えてください。
- ・ 未舗装が多いが、スーパー林道等の舗装林道を使う場合もある。
 - ・ 幅員は基本 3m だが、一部 2.5m の林道もあり、その場合はフォワーダか 2t ダンプを使って、直営で小出しをする。2t 車は積替の手間はあるが、スピードが出るのと、フォワーダに比べて路面を荒らしづらい。2t 車が走れない荒れた林道の場合は、フォワーダで小出しする。
 - ・ 公道から山土場までの距離：長くて 2km 程度
 - ・ 現場が山奥になってきており、10t2 連が入れる現場が減ってきている。
- 8.運材トラックの走行にあたり、普通車や一般道と比べて特に注意するところはどこですか。
- ・ 内回りしすぎると危ない。枝の張り出し、軟弱な路肩、わだち、排水に気を付ける必要がある。
 - ・ R がきつく取ってある林道が多く、運転手に入れるかどうか事前確認をしてもらい、狭い場合には、地権者に話をして拡幅している。
 - ・ 他車との行き違いのため、待避所の位置の確認。行き止まりの林道の場合は、複数台一気に入らないように、待機できる場所に立入札を設けて 1 台ずつ入るよう管理。
- 9.フォワーダや土場運用等も含め、運材工程にどのような課題を感じていますか。
- ・ 林道に入るまでの集落・畑の中のアクセス道が狭い。舗装を割ったら直さなくてはいけない、場合によっては通してもらえないなど、周辺農家との折衝が大変である。隊列走行や自動走行等で、人件費を気にしなくてよくなれば、トラックサイズを小さくする解決方法がある。道路インフラを直さなくても済む。
 - ・ フォワーダで、石が浮いた林道を走ると、クローラが痛む。
 - ・ 検収システムで在庫が見えているので、トラックネックで土場が埋まるといったことは少ない。

10.トラック運転手の人材確保、人材育成、技術レベルについての課題はありますか。

- ・給料が安いので他の仕事に移った運転手がいる。山の所有者にお金が返っていないという話もあるが、働く人にも十分なお金が払えていないので定着しないという課題があるのではないか。
- ・トラックは一步間違えれば大事故になるので、安全に運転できるように、金払いを良くはしていきたいがなかなか困難。トラックに限らず、給料を上げていけるようにするのが、人材確保で最も重要なことだと思う。

11.トラック自動運転のレベル 4(無人運転)を運用する場合に、緊急停止時には遠隔復帰や遠隔運転操作が必要になりますが、人員配置等どのような形で対応できますか。また、24時間稼働の必要性や、実現にあたっての課題を教えてください。

- ・事例としてトラックスケールはリモートで監視しており、復帰は事務所で行っており、遠隔監視についての抵抗はない。
- ・レベル 3 をやっているときに、問題は洗い出されてくると思うので、段階的に監視の遠隔化を進めていけるのではないかと。
- ・県森連が配車機能に加え、監視機能を持つようになるかもしれない。

12.土場での積込、積下の遠隔化・自動化についてどのように行うのが良いと思いますか。

- ・受入側の機械で、自動で下ろしてくれるのが安心ではある。トラックの車載グラップルで 1 本ずつ下ろすのを自動化するのはハードルが高いように思う。ダンプなどのトラック側の仕掛けでも対応できないか。
- ・港であれば、指定位置に駐車すれば、後は自動で下ろしてくれるような仕組みが作れるのではないかと。

13.運材トラックの自動運転や土場での積下の遠隔・自動運転について、期待する点や懸念する点はありますか(安全性、コスト、生産量等)。

- ・走行に関しては林道の事前準備が重要だと思うが、その精度をどこまで下げられるか(どれくらい荒れていても走れるか)でコストカットしていくようになると思う。
- ・集落の中の道は通行止めできないので、自動走行時の安全性確保が重要。スピードよりも安全性を重視した設計にしてほしい。
- ・自動運転の場合、転回せずに電車のようにフルバックでもいいのではないかと。
- ・自動運転の本題は、ロジスティクスをいかに変えるということ。木材流通にいくつかの流れを作って、その一部に自動運転を組み込むということではないか。そういう意味では、直江津港はトピックになる。

14.もし自動運転トラックや土場での積下の遠隔・自動運転が実用化された場合、通常のトラックに対して、どの程度の投資増であれば導入を検討してみたいですか。

- ・トラック(10t)の外注先は小さい会社で、林業専業で3~5台の会社が3社程度。体力のある業界ではないので、できる限り早く回収したい。

15.その他

- ・北欧の場合、もともと林業が産業で成り立っている地域なので、自動化といった話もスムーズに進んでいくのだと思うが、日本の場合、補助金をもらって細々やっているレベルなので、投資対象にならず、なかなか話が進まない。
- ・何をするにも所有権が壁になってくる。管理もしないし興味もない所有者の上物の権利をいかに権利化、集約化して、ビジネスにしていくかが重要である。市町村での山の購入や、国土調査の推進なども必要。
- ・ウッドショックで、値段が乱高下するとどの値段にターゲットを置いて木材生産するのかがぶれてしまう。安定的な価格で、安定的に生産したい。

5. 森林組合②（高知県）

カテゴリ：森林組合

日時：令和3年12月9日 13:30～15:30

方法：Webexによるオンライン実施

1.御社の素材生産量、施業森林の所有形態(自己所有林・民有林・公有林・国有林等)、伐採種別(皆伐・択伐・間伐等)、林内での作業システム(車両系・架線系、使用機械等)を教えてください。

- ・素材生産量：33,310m³/年(令和2年度)
- ・施業森林の所有形態：管内 35,000ha のほとんどが私有林。国有林・公有林は一部のみ。組合所有林・分収林も存在する。
私有林の大きさは平均 1ha/所有者程度(地域によって 0.01ha～10ha 位)。
国土調査は進行中で市町村によっては 6 割程度完了、始めたばかりの所もある。国調未完の場合は境界明確化の補助事業を利用。
集約化により 100～200ha 程度の団地を作る。
- ・伐採種別：列状間伐がメインだが、皆伐もやりはじめた
- ・樹種：ヒノキ 6 割、スギ 4 割
- ・向先：木材市場(3・4m が主で、一部注文材で 5・6m もある)、バイオマス
- ・作業システム：作業道開設=バックホウ、伐倒=チェーンソー、
集材・木寄=集材機・タワーヤーダ・スイングヤーダ、造材=プロセッサ、
3.5m 巾のトラックが入れる作業道を開設し、トラックに直積みが基本。入らない箇所には 3m の差し込み道を開けて、グラップル+ダンプカーで 3.5m 巾の道まで小運搬する場合もある
重機のサイズは 0.45m³
- ・林産 5 班+作業道開設 4～5 路線、年間 10km 程度の作業道を開設

2.使用しているトラック・トレーラー等のサイズ、仕様、保有・運用の自社・外注等を教えてください。

- ・自社外注別：直営主体で一部外注。外注先は少ないため、直営で持たざるを得ない。
- ・サイズ、仕様(直営)：
10t(3m×2 連=荷台 6.1m、車載グラップル付 2 台・グラップル無セルフ車 1 台)
8t(4m+ α 、平ボディ) 1 台
枝条用 8t 積フックロール車 1 台
- ・サイズ、仕様(外注)：
10t(3m×2 連=荷台 6.1m、車載グラップル付)

3.土場およびトラック運材の運用はどのようにされていますか。

- ・作業道そばへのはい積みは 3m、4m、バイオマスの 3 つ。作業道にトラックを入れ、直積みする。
- ・木材市場、バイオマスともに直送で、平均 3 往復/日程度（遠いところだと 1.5~2 往復）

4.土場での具体的な作業について教えてください。

- ・トラックの車載グラップルで積込。平ボディはグラップル付とセットで動かす。
- ・木材市場、バイオマスともに検知は取らない

5.納入先(製材工場、木材市場)での積下の方法を教えてください。

- ・木材市場：トラックの車載グラップルで降ろす。
平ボディなら、同時に行った車載グラップルか、市場のグラップルで降ろす(市場側か運転手が運転)。グラップル使用時の手数料は無い。
- ・はい積みに手書きの出荷者の札を張る
- ・バイオマス：トラックの車載グラップルで降ろす。
平ボディなら、同時に行った車載グラップルか、工場のグラップルで降ろす(運転手が運転)
- ・計量伝票が出てくるので、そこに手書きで出荷情報を記入

6.現状の m3 あたりの運材コストや、トラック 1 台での 1 日の運材量を教えてください。

- ・平均 3 往復/日程度（遠いところだと 1.5~2 往復）

7.普段走行されている林道の規格や路面状況、距離等の状況を教えてください。

- ・林道までのアクセス道はほぼ集落を通るが、一部を除いて比較的広い。
- ・市町村管理の林道は、舗装で幅員 3.5m(2 級林道)。
- ・林道の管理状況は市町村により温度差がある。
- ・林道に山側からの崩土や雑木の張り出しがある場合、市町村が費用は出してくれるが、組合で対応することが多い。
- ・林道から長ければ 5km 程度の作業道(3.5m)を入れ、トラックを直接突っ込む。他地域で言う 3 級林道の幅が広い道のイメージ。30 度以上の斜面でも開設している。
- ・林道は舗装されているので、直接林道上で作業することは無く、林道そばを伐採する場合でも、必ず突っ込みの道は入れる。
- ・作業道の設計は、踏査して線形を決めたり構造物の検討をする位で、林道工事のような詳細な設計や丁張は行っていない。
- ・作業道の路盤は、軟岩系の土質が多く比較的安定しているが、赤土等ぬかる場合には工区内運搬土砂や碎石を入れる場合もある

- ・他地域の 3 級林道のような幅広の 4m ほどの幅員規格であるが、直接支援の作業道の補助金を利用しており、土量積算した上での査定経費で補助される。概ね 1 万 4~5000 円 /m 程度。
- ・石積みやかご枠、洗い越し、コンクリートなどの構造物を入れることもある。
- ・雨量が比較的多いため、路面が洗掘されたり、路肩が崩れたりする。メンテしながら使っている。

8. 運材トラックの走行にあたり、普通車や一般道と比べて特に注意するところはどこですか。

- ・作業道の盛土路肩が弱いので注意して走る

9. フォワーダや土場運用等も含め、運材工程にどのような課題を感じていますか。

- ・列状間伐で造材した伐倒木を大型トラックにて直接積み込むシステムを取っているため、一般的な運材工程は行っていない
- ・作業道のメンテナンス費用について補助制度が欲しい
- ・道の開設は、もともと土木の経験がある直営オペレータ 4 人で行っているが、もう 10 年もすると高齢のため退職してしまう。内製のオペレータは少なく、後任の育成が課題である。

10. トラック運転手の人材確保、人材育成、技術レベルについての課題はありますか。

- ・人員が不足した場合に、募集を行っても応募する方がいない。内部の人事異動でも希望する人がいない。
- ・現状の運転手は外でトラックに乗っていた人が多いが、林道・作業道を走るのは特殊な技術が必要で、また雨が降ると林道などの草刈り等の別の仕事をしてもらうため、トラックに乗るだけではない。そのような理由から、中々人が集まらない。

11. トラック自動運転のレベル 4(無人運転)を運用する場合に、緊急停止時には遠隔復帰や遠隔運転操作が必要になりますが、人員配置等どのような形で対応できますか。また、24 時間稼働の必要性や、実現にあたっての課題を教えてください。

- ・集落を抜けるため、早朝走行して注意をうけたこともあり、夜間稼働は難しい。

12. 土場での積込、積下の遠隔化・自動化についてどのように行うのが良いと思いますか。

- ・作業道での直積みであれば、手動対応可能。市場も降ろしてもらえる。
- ・既存の 8t コンテナ車に対し、木材積載用のスタンションタイプのコンテナ導入を検討中。0.25m³ のグラブブルも運べるようにし、自分で運んで自分で積めるようにする。
- ・バイオマス用の枝葉はダンプで降ろしており、バイオマス用の丸太もダンプに変更する

ことも可能かもしれない。

13.運材トラックの自動運転や土場での積下の遠隔・自動運転について、期待する点や懸念する点がありますか(安全性、コスト、生産量等)。

- ・人員不足であり、自動運転で人がいなくなることに魅力はある
- ・作業道には立入禁止の看板を置いているが、それでも森林所有者やオートバイが入ってきてしまう。広い団地なので、作業中以外の山の所有者もおり、所有者が入ってくるのを完全にふさぐのは難しいと思う。
- ・安全面が一番気になる。人に対しちゃんと止まるか、車両が落ちないかなど。
- ・コストがメリットに見合うものであるか。

14.もし自動運転トラックや土場での積下の遠隔・自動運転が実用化された場合、通常のトラックに対して、どの程度の投資増であれば導入を検討してみたいですか。

- ・償却年数の5年で回収

15.その他

- ・現場の改善の感覚としては、今のところ「自動運転」というワードは出てこない。
- ・タワーヤードの搬器の空走行は自動化されている
- ・スイングヤードの集材時、下げ荷は材の滑落の危険がある。ウインチはリモコン操作可能だが、ベスマシンも遠隔操作ができれば安全になる。
- ・集材機の操作を、位置情報で自動で吊ってくるようにならないか。
- ・大型ドローンで鳥獣害防止ネットや苗木などの資材運搬を行っているが、位置情報で自動で積下できるようにならないか。
- ・フルトレーラーの牽引車両が前方車両の軌をトレースするようにできれば、今の道でも1人で倍の材木を運ぶことができる。

6. 林業事業体①（宮崎県）

カテゴリ：林業事業体

日時：令和3年10月27日 15:00～17:00

方法：Webexによるオンライン実施

1.御社の素材生産量、施業森林の所有形態(自己所有林・民有林・公有林・国有林等)、伐採種別(皆伐・択伐・間伐等)、林内での作業システム(車両系・架線系、使用機械等)を教えてください。

- ・製材業等を営む会社の林業部門子会社であり、素材生産から運輸、製材までの一貫体制を構築している。
- ・素材生産量：3.5万 m³→全て親会社に納入
- ・原木取扱量(製材工場)：他業者納入分含めて22万 m³
 - ※A材：自社製材所で使う(年間13万 m³製材) 3m70%、4m30%(30上)
 - ※B材：地場のB材を挽く製材所や合板工場等に販売
 - ※C材：中国向け輸出販売(8cm上・年間1万 m³以上)
- ・チップ用材(チップ工場は自社保有、7万 t/年) 3m～4m 又は 2m 横積み
製紙用広葉樹・製紙用針葉樹・バイオマス用チップ(未利用材・製材廃材)
- ・所有形態：国有林立木販売ほぼ100%
 - ※ただし、宮崎はどんどん伐っていて、いつ伐る山が無くなるか分からないため、民有林も土地ごと買って、10～20年後に伐るために取ってある。
 - ※民有林は、地籍調査が終わっていない、相続が終わっていない等の山ばかりが残っていて、誤伐・盗伐のリスクが大きくなかなか手が出せない。
- ・施業形態：皆伐100%
- ・樹種：スギ100%
- ・施業システム：車両系が主だが、作業班5セット中2セットは架線集材も可能(集材機、スイングヤーダ1台は持っていて技術者もいる)。サイズは0.45m³。
- ・林業機械：ベースマシンはコマツ・CAT、プロセッサはKETO・イワフジ・バルメット、フォワーダはイワフジ(全てU-6)、本当は8t・10t積みが欲しいくらい。

2.使用しているトラック・トレーラー等のサイズ、仕様、保有・運用の自社・外注等を教えてください。

- ・自社外注別：すべて自社(グループ会社含む)。
他社の山からの運送も請け負っており、工場土場受入の8～9割は自社系列の運送会社。
- ・サイズ、仕様：10t車は全て後部に車載グラップル付き
10tショート→4m×1連=約4.5m 約12台
(内フルトレーラーヘッド5台)

10t ロング→3m×2 連=約 6.2m 約 38 台

(内フルトレーラーヘッド 20 台)

フルトレーラー台車→4m×2 連 約 25 台

チップ車 約 14 台

※ショートボディはメーカーが標準では作っておらず改造車になってしまう。

3.土場およびトラック運材の運用はどのようにされていますか。

- ・親会社製材工場の隣に土場を持っている。概ね土場より片道 2 時間圏内に山があるため、基本的に山土場から工場土場に直送する。
- ・選木機のある土場と、ない土場があり、40 上は選木機に通らないため、無い土場にもっていく。
- ・現場の近くに積み替えができる中間土場があれば、そこで外部販売用をトレーラーに積み替えることもある。
- ・フルトレーラーは、ヘッドのみで山土場に入っていく、広い場所で台車に積み替えて 3 連で運ぶ使い方ができる。

4.土場での具体的な作業について教えて下さい。

- ・工場土場の選木機に掛ける材は、検知はなし。40 上は選木機通らないので手検知。
- ・AB 混載（長さは分ける、40 上も分ける）と C 材で仕分
- ・運転手がトラックの車載グラップルで積込。
- ・出荷伝票は、トラック毎に、どこの山から、何を、いつ、だれが、どこに下ろしたかを紙に書く。選木機検知なので、寸面・本数・材積は不要。自社の山も、他社の山も、工場土場で受け入れるものについては、やり方は同じ。

5.納入先(製材工場、木材市場)での積下の方法を教えてください。

- ・工場土場での積下は、運転手がトラックの車載グラップルで自分で降ろす。積下は現状 30 分程度、早い人では 10 分位で降ろせる。積込はもう少し時間がかかる。
- ・毎日 4-50 台のトラックが入ってくるため、工場土場に入ってきた材は、翌日には製材・販売に回り、無くなるようにしている。自社製材の分も基本的には、翌日までには製材するようしており、もし大径材などでダブつきがあれば、販売に回して土場を空けるようにしている。
- ・宮崎県の場合、住宅部材の全てをスギで賄うが、あらゆる寸法の材を全て自社工場で挽ける。一番回転が速い部材は 3~4 日分しか在庫を置いていない。

6.現状の m3 あたりの運材コストや、トラック 1 台での 1 日の運材量を教えてください。

- ・片道 2 時間圏内、2~3 台/日
- ・トラック個別の売上をみるとショートボディはほぼ赤字

7.普段走行されている林道の規格や路面状況、距離等の状況を教えてください。

- ・宮崎県は林道密度日本一であるが、実際に 10t 車が入れる林道は半分くらい。半分の中でも、ロングボディが入れるのはその半分の 25%くらいか。どんどん伐っているため、ショートボディしか入れない現場が増えている。
- ・使用するのは国有林林道が主。ほとんど未舗装、幅員 3 m。カーブの拡幅はされているが、法面や路肩の崩落が多く、そのままでは通れない。国有林は最低でも幅員 4 m で開設してほしい。
- ・直近で国有林の立木販売や生産請負があった場合には、直してから出ていくのがルールのため、整備された状況になっていることが多い。
- ・国有林林道内は原則関係者以外立入禁止。他の現場と共同使用になることはある。
- ・公道と林道の間、地元の管理道が問題で、舗装を壊すと地元から直せという苦情が入る。鉄板 2~30 枚敷いて養生することもある。昔は国が舗装修復費用見てくれたが、今は立木価格に含まれているという整理。
- ・民有林の林道は、使いつばなしで荒れた状態になっていることがよくある。

8.運材トラックの走行にあたり、普通車や一般道と比べて特に注意するところはどこですか。

- ・道が悪く、砂利や割栗石を入れる必要があるが、買受者で対応している。
- ・トラックは全て、2 デフ・板バネで悪路走行性を確保。

9.フォワーダや土場運用等も含め、運材工程にどのような課題を感じていますか。

- ・林業機械は非常に良いものが出ている一方で、運材の機械・技術・インフラは変わらない。
- ・トラック用車載グラップルは、ログリフト(ヒアブ)が主で、パルフィンガーを少し入れだしたが、いずれ海外製で高価なのが悩み。国産でもっと安いものは出来ないのか。
- ・燃費向上の関係で、フロントバンパーが低くなって行って山に入れない。

10.トラック運転手の人材確保、人材育成、技術レベルについての課題はありますか。

- ・大型免許とったばかりで実務経験がない人や、長距離乗っていたけど山の経験はない人が入ってくる。1 週間位は助手席に同乗させて山の様子を見させる。その後、1~2 ヶ月くらいは土場の横持ちをさせて、グラップルと短距離の運転を覚えさせる。一人前になるには 1~2 年くらいかかる。

- ・長距離から入ってきた人で、助手席に乗せた段階で、こんな所走れないと辞めた人もいた。
- ・林道を走るのは技術力が必要で、かつ皆恐怖心を持ちながら運転している。自動化は簡単には行かないだろうと思うが、一方で無人にできればこんないいことはないと思う。
- ・過去は、自衛隊教育隊上がり(高卒後6年間、24歳)を多く採用した。現状、社員の半分が自衛隊教育隊OB。普段から山の中を歩き回っていたので、山の仕事に抵抗がない。しかし、最近は人数が減っており、採用できない。
- ・トラック業界全体として、慢性的に運転手が不足している状況で人が集まらない。昔は稼ごうと思えば夜中でも走って稼げたが、今は残業・休日の規制が強くなり、稼げない業界になってしまった。
- ・営業ナンバーの場合、陸運支局の規制を受ける。残業規制が、現状は猶予期間で月60時間(3時間/日*20日)だが、今後もっと厳しくなることが決まっている。監査が入って規制オーバーしていると、即営業停止になってしまうため、規制を厳格に守る必要がある。
- ・小規模な素材生産業者が、自前のトラック(白ナンバー)を持つケースが増えてきており、そちらの方が仕事量と給料を出せるため、運転手が引き抜かれていくこともある。
- ・朝は早く出る分、帰りは早い。家に帰れない長距離トラックと違い、毎日家に早く帰れるため、そこが魅力で入ってくる人もいる。

11.トラック自動運転のレベル4(無人運転)を運用する場合に、緊急停止時には遠隔復帰や遠隔運転操作が必要になりますが、人員配置等どのような形で対応できますか。また、24時間稼働の必要性や、実現にあたっての課題を教えてください。

- ・信頼性がしっかりしていれば、24時間稼働も考えたい。
- ・工場土場は、現状朝7時より受入開始だが、夜中も受入要員を置いて、その要員がトラックの遠隔監視を行うようにすることも可能。1人で3台動かせればペイすると思う。
- ・中間土場まで、夜中小出しをして、朝からフルトレーラーを動かすというパターンも良い。

12.土場での積込、積下の遠隔化・自動化についてどのように行うのが良いと思いますか。

- ・車載グラップルの運転席からの遠隔操作も、現物を見たことはあるが良いなと思った。若い人たちほど手と足を使う機械操作の覚えが早い。そういう意味で、そのような新しい技術を導入すると、若い人たちが入ってくるのではないかと思う。
- ・受入土場が固定なので、グラップルが自動化にならなくても、積下専門のオペレータを配置することができる。その人が、山土場での積込や、中間土場での積下の遠隔操作を行うことも可能。

13.運材トラックの自動運転や土場での積下の遠隔・自動運転について、期待する点や懸念する点がありますか(安全性、コスト、生産量等)。

- ・レベル3の自動運転や、隊列走行の後続車有人については、運転手が運転をしないとは言え、運転席にいたのであれば運転すればよいという話になる。
→レベル3は通過点だと思うので、結果的には無人にしたい。
- ・安全性の向上は期待する。
- ・ドローンを使っているが、故障が多く、まだ機械が完成しきっていない印象。林業機械もコンピュータ化されているが、故障時の修理費が高い。トラックの自動運転についても、ランニングコストがどの位かかるかが懸念。機械やトラックを買う基準として、償却終了後の5年以降にどれだけ修理費が掛かるかと、メーカー・代理店の対応・レスポンスの良し悪しがある。そのあたりの対応もどうできるか。
- ・自動車保険がどこまで対応してくれるのかも、実際の運用にあたっては大きな課題。
- ・4~5年前に鹿児島県の森連がフォワーダで無人化実験を行ったのは話を聞いた。事務所で操作をするとのことで、これは良いなと思った。ただ一つ問題は、GPSを使うと思うが、林道を走ると上の方に木の枝とか被っている状況で繋がるのか。

14.もし自動運転トラックや土場での積下の遠隔・自動運転が実用化された場合、通常のトラックに対して、どの程度の投資増であれば導入を検討してみたいですか。

- ・現状：グラップル付トラック3,000万円、グラップル付フルトレーラー4,000万円
- ・もちろん安い方が良いが、5年償却なので、5年で投資回収できれば良い。

15.その他

- ・山の林業機械にはお金をかけて、良い機械がたくさん入ってきた。製材工場も加工施設も良いのがたくさんできた。しかしこれをつなぐトラック輸送と林道整備にみんな目を向けておらず、変わっていない、進んでいない。ヨーロッパの山も見ているが、トレーラーがどんどん入っていく。無人のトラックが走ることはとても良いことだが、林道がないと話が始まらない。宮崎県は林道密度が日本一だが大型トラックが入っていける道がどれだけあるか。この案件と合わせて、林道インフラの整備もぜひ進めてほしい。

7. 林業事業体②（岡山県）

カテゴリ：林業事業体

日時：令和3年11月16日 14:00～16:00

方法：Webexによるオンライン実施

1.御社の素材生産量、施業森林の所有形態(自己所有林・民有林・公有林・国有林等)、伐採種別(皆伐・択伐・間伐等)、林内での作業システム(車両系・架線系、使用機械等)を教えてください。

- ・素材生産量：14,000m³(R2) (うち、チップの生産・販売 3,000t)
- ・所有形態：私有林 9割(施業面積は平均 4～5ha(場所により 1～10ha)、1筆当り 1ha弱)
- ・契約の流れ：国土調査が終わっていないことが多く、境界明確化の後に、立木調査を行って立木を買い取る。
- ・施業種：皆伐 8割、間伐 2割(材積比)
列状間伐(2残1伐、4残2伐)が基本、以前に搬出間伐を終えた現場の皆伐もある
- ・樹種：スギ・ヒノキ半々くらい
- ・向先：市場・直販(製材用材・合板用材)・バイオマス用チップ(自社製造)
スギ・ヒノキともに 3・4m造材が基本。チップ用材は長さはまちまち。
- ・作業システム：0.45m³ クラスの車両系。平均傾斜 30度で、路網密度は間伐で 200m/ha程度、皆伐だと枝道が少し増える。道が入るところは基本的に直取りしたいが、最上部斜面はウインチ木寄になることが多い。

2.使用しているトラック・トレーラー等のサイズ、仕様、保有・運用の自社・外注等を教えてください。

- ・自社外注別：トラック保有は自社。運転手は、1人直営で 8t に乗務、1人外注でチップ車に乗務。チップ用原木が溜まったら呼んで、チップパーの運転とチップ車での運搬をしてもらう。長距離のトレーラー等は外注。
- ・サイズ、仕様：4t 増トンユニット(積載 8t) 荷台 5m 2軸の 2WD グラップル無
4t 増トン深ダンプ(積載 7t) チップ車・タンコロの運び出し
3.5t 高床平ボディ 4WD 冬場用
※8t車が入れるギリギリの林道が多く、他社もこのサイズがスタンダード

3.土場およびトラック運材の運用はどのようにされていますか。

4.土場での具体的な作業について教えてください。

6.現状の m³あたりの運材コストや、トラック 1台での 1日の運材量を教えてください。

- ・山土場での仕分は①市場出し、②直販、③バイオマスの荒分けのみ。
- ・山土場での積込はグラップルによりトラック運転手が実施。

①市場出し

- ・ヒノキが中心。岡山県では、ヒノキを取り扱う市場・製材所が多く、それなりの値段で売れる。細物が多いため、手で検知・仕分をすると、手間もかかるため、混載(スギ・ヒノキ、3・4m混載)で市場に持っていき、選木機に掛けて省工程化する。また、ヒノキについては、直販では100%売り切ることができない事情もある。
- ・市場での競り売りは、実感として、半分くらいは残っている。一方、並材の競り売りは、購買力のある製材所が競りに参加しない時点で、競りの意味がなくなってくる状況にある。
- ・市場まで3~40分で行けるので、4~5往復/日、8m³/台→32~40m³/日

②直販

- ・スギが中心。中間土場までトラックで小出しし、土場用グラップルでトラックから下ろして選木。外注のセミトレーラーか10t²連に積み替えて直販する。検知はチョーク。出荷伝票は、トラックの運転手が紙に記入。
- ・スギは小さな山でロットが作れない場合以外は、基本的に直販。スギは岡山県では高く売れないので、県外に直販する。直販先が製材、合板等で4~5社ある。
- ・中間土場までは走行5分程度、10往復/日、8m³/台→80m³/日

③バイオマス

- ・自社でチップにする。原木は2~5m(スタンションに掛ければOK)で中間土場に運搬。所有する牽引式切削チップパー(アメリカ製)でチップングし、チップ車で納入する。枝葉にも対応するために、諸岡の破碎・切削機(MCシリーズ)を新規導入した。
- ・市内のバイオマス発電所は30分程度で持っていくことができるが、切削チップのみの受入。隣の市のバイオマス発電所は、バークや土付き枝葉の破碎チップを受け入れているため、なるべく切削チップを作りながら、最終的には破碎して売り切りたい。
- ・現場は2班動かしているが、例えば両方スギの皆伐だとトラックのキャパシティを超えるため、市場に行けなくなるため、中間土場にする等の判断をしている。それでもあふれる場合は外注する。現状、トラックのキャパシティが現場の組立のネックになっている。

5.納入先(製材工場、木材市場)での積下の方法を教えてください。

- ・市場のグラップル(市場仕様)で降ろしてくれる。自分で降ろしても、市場が降ろしても手数料は取られない。
- ・地域性なのか、車載グラップル付のトラックはほとんどいない。フォワーダもグラップル無。小回り、価格、積載量を優先して考えている。グラップルが芋づる式に増えていくのがデメリット。古くなった機械は土場に下ろして使い切る。

7. 普段走行されている林道の規格や路面状況、距離等の状況を教えてください。

- ・ 未舗装、幅員 3m、拡幅 3~4m。拡幅が必要な場合には地権者の了解を得て行っている。
- ・ 石灰岩の産地なので、安価な石(不均等だが粒は大き目の割栗石のようなもの)を買ってきて、林道に敷きグリップを高めている。
- ・ 2,000m近く石を敷いたこともある(半分程度は市に負担してもらった)。その現場からは20,000m³程度は搬出した。
- ・ 岡山県北地域は林業地ではあるが、林道整備はあまり進んでおらず、林道が入っていないので到達できない山もある。
- ・ 林道が無い場合、手前側の現場から伐り進め、作業道に石を撒いて私設のトラック道にしながら、奥の現場を目指すケースもある。作業道として補助金はもらう。石を撒く市の補助金(現物支給)もあるが、予算がごくわずかですぐ使い切ってしまう。
- ・ 行政で林道を新設する作る動きは今のところない。
- ・ 公道~山土場の距離は 1km 程度、大規模な林道があまりなく、林道の一番奥まで行ってもその程度。沢筋に一本走らせて、いけなくなったら終わりという程度で、作業道に石が撒いてある位のイメージ。終点の転回場はあるが、そこまでたどり着ければ…という感じ。待避所は必要に応じて作る。
- ・ 管理がほぼされていないため、始める前に重機をもって行って、排水、路肩締固めから入る。側溝は無い、横断工・ヒューム管は詰まっているか潰れており、表面洗掘されているという状態が多い。直すくらいならフォワーダで出そうか悩む現場もある。
- ・ 1km の林道を直すのに、ひどい場合 20~30 人工かかる場合もある。そういう場合は、災害復旧の予算を付けてもらうこともある。簡単な場合は、2~3 人工で済む。
- ・ 林道が少ないため、作業道をフォワーダで 1km 程度走らせる場合もある。

8. 運材トラックの走行にあたり、普通車や一般道と比べて特に注意するところはどこですか。

- ・ 石を入れるため、一度直してしまえばトラックは走りやすく安定した道になる。土質としては、黒土や粘土系でぬかる所もあるが、石をいれれば安定する。

9. フォワーダや土場運用等も含め、運材工程にどのような課題を感じていますか。

- ・ グラップル付きトラックを入れるべきかは、地域としての長年の検討事項。
- ・ 市場が近く、売り方には困らないので、スピードやサイズ感にそれほど不満はない。
- ・ 中間土場の活用で、なんとか 8t 一台で回しているが、ギリギリの状況で、ボトルネックになり得る。

10. トラック運転手の人材確保、人材育成、技術レベルについての課題はありますか。

- ・ 運転手は社歴は 5 年だが、木材運搬の経験は長く、高齢になられている。後継者を立て

ようとはしているが、まだ手が回っていない。

- ・優先順位としては、山の作業員の確保の方が高くなる。作業員の中に、トラックを志望する人もいるが、なんでもできる人なので、トラックに回すのも悩ましいところ。
- ・地域の特性として、石灰岩運送が多く、10台位は保有している大き目の運送会社が、石灰岩部門・生コン部門・木材部門と持っているケースもある。

11.トラック自動運転のレベル4(無人運転)を運用する場合に、緊急停止時には遠隔復帰や遠隔運転操作が必要になりますが、人員配置等どのような形で対応できますか。また、24時間稼働の必要性や、実現にあたっての課題を教えてください。

- ・現状やるとすれば、出材量のバランスから、現状と同様に1台のトラックを日中のみ動かす、高齢となったトラック運転手の後任とする形。緊急時の対応は、現場で行う。

12.土場での積込、積下の遠隔化・自動化についてどのように行うのが良いと思いますか。

- ・土場用グラブの遠隔化・自動化。固定式なので、揺動式よりはやりやすいか。

13.運材トラックの自動運転や土場での積下の遠隔・自動運転について、期待する点や懸念する点がありますか(安全性、コスト、生産量等)。

- ・積極的にトラック運転手を雇ってほしい訳ではないので、人が減るのは助かる。フォワーダにしても、トラックにしても人の寄与するところはハンドル操作のみなので、自動化することには賛成。ハーベスタの材積集計から、一気通貫で人を介在させずに材を出せるのが理想。
- ・自動化によりトラックのボトルネックが解消されれば、現場が増やせる可能性もある。
- ・林道やアクセス道は一本道が多いので、確実に稼働してくれるかが重要で、事故や故障により、立ち往生してふさがってしまうのはリスク。
- ・夜も走れることには期待したいが、民家の目の前を入っていくことは多い。石灰の工場は24時間稼働しているところもあるが、公害協定で民家がある地域の運送は、5~6時スタートになっており、そのような運用になると思う。

14.もし自動運転トラックや土場での積下の遠隔・自動運転が実用化された場合、通常のトラックに対して、どの程度の投資増であれば導入を検討してみたいですか。

- ・回収年数5年程度

15.ワラタのICTハーベスタについて

- ・材積集計、バリューバックング、カラーマーキング機能により、直販を進めようかと導入したのが3年前。
- ・ハーベスタオペレータが見た目で判断し、カラーマーキングをした曲がり(A・B材)の

判断が、後から見直すと違っていることが多かった。そこで、はいの積みなおしをした瞬間に材積集計の紐づけが切れてしまう。海外は、ある程度径級や品質基準が寛容で、一はい丸ごと買ってもらえるが、日本の製材所は欲しい径級のみを選別しないと買ってもらえない。

- ・材積集計の精度：海外の材積の計算方法は体積法といい、10cm ごとで直径を取り、その円柱体積の総和を材積とする方法のため、ハーベスタでの材積算出と合いやすい。日本は末口二乗法であるが、末口の最小直径はハーベスタでは分からず、かつ 2cm 括約のため、差異が生じやすい。海外では、数日に一回ハーベスタのキャリブレーションを行い、材積誤差が 2%以内であることを確認するとともに、サンプルのはいに対して、製材工場側でも材積測定を行ってチェックをすることで、この業者のこのハーベスタが集計する材積は信頼できる数値であるという確認を取った上で取引を行っている。末口二乗法だと、誤差が 10%程度になってしまい、現状そのまま適用することは難しい。
- ・機械としての直径・材長の検出精度は問題ない。エンコーダの摩耗に対しても、材長のキャリブレーションを行うので、常に精度を保てる。
- ・現状の商習慣は、手検知を前提に、末口二乗法による正確な材積を算出する出荷証明であるが、ハーベスタ等の別の材積集計方法によって、±数%の誤差を持つ出荷証明を行い、手検知省略のコストメリットを売買両者で分けるように、商習慣を変えなければ実用化できない。
- ・国の会議などでも、度々この話をするが、先は長そうである。レーザー検知等の仕組みを持つ受入工場と共同して、ハーベスタデータとのすり合わせを重ね、実績を積み上げていくしかないか。合板等の曲がりの規格が緩く、受入径級も広い出荷先から始めていくのも良いと思う。
- ・選木機やレーザー検知・写真検知等の仕組みを持つ受入工場側で材積を出してもらうのも一つの手であるが、海外では、出荷元も一定の材積証明をすべきという流れ。また、小規模な受入先では、出荷元の情報によるしかない。
- ・市場に混載で持っていて選木機を掛けるのも、自動化には近い。しかし、目指す方向としては、なるべく物を動かさずに情報を動かすようにしていきたい。

8. 木材センター(木材市場) (長野県)

カテゴリ：木材流通

日時：令和3年10月13日 15:00~17:00

方法：先方への訪問

1.御社の素材取扱量、出荷者の形態別(森林組合、民間事業者、個人等)、民有林・国有林別のおおよその割合を教えてください。

- ・素材取扱量：143,832m³/年
- ・出荷者形態、民国別：森林組合(民有林)4万 m³、民間事業者(民有林)6万 m³、国有林システム販売4万 m³

2.センター持込・配車してセンターに集荷・山土場直送・中間土場直送(他にも形態があれば)のおおよその割合を教えてください。

- ・近場の業者はセンター持込(検知不要、混載)が多く、遠方はトレーラーやトラックを配車して、直送(検知必要)が多い。
- ・センター持込の数量：システム販売(低質材除く)2万+他6万=8万 m³/年。
残りの6万 m³/年が直送。

3.センター配車および出荷者のトラック・トレーラー等のサイズ、仕様にはどのようなものがあるか教えてください。

- ・センター配車：10t1連(4m)、10t2連(4m×2)、フルトレーラー(4m×3)、セミトレーラー(4m×3)
- ・出荷者のトラック：4t~10t2連、フルトレーラーまで様々
10t1連、6mボディ、車載グラップル付が主流
- ・ほとんどは車載グラップル付きだが、一部ユニック車や平ボディもある(5%程度)。降ろすまでが出荷者責任のため、付いていない場合はフォークリフトを貸し出す。

4.センター土場での具体的な作業について教えてください。

- ・持込の場合は検知無、混載出荷。ただし、長さは下ろすときに分けてもらう。
- ・カラマツ4mは選木機にかける。
- ・矢板の3m、2m、カラマツ以外は手検知。これらも出荷者は検知無でよい(はい積料のうち)。
- ・持込の場合は、出荷者名等を記載した紙伝票(内容は無くて良い)を提出し、選木機にかけた後、受入伝票をトラック単位で出荷者にFAXしている。
- ・山土場や中間土場から直送の場合の出荷伝票の流れは下記の通り。

①出荷者が、紙伝票(出荷者→センター)に記入したものを運転手に渡す。

- ②運転手が、受入各社指定様式の紙伝票(センター→工場)に転記し、工場に渡す。
- ③合わせて、運転手がセンターに電話をして出荷番号を採番してもらうとともに、数量を報告して複写の代わりとする。工場からサインをもらった伝票が本物であるが、運転手は数週間～1ヶ月センター又は自社に戻らないため、その間の集計のため、電話の数量情報を使っている。
- ・保有機械は、フォークリフト 13～14 台、ログローダ(グラップル)2 台。材の移動・はい積み・積込ともに、基本的にフォークリフトで行う。ログローダは、近いはいから旋回範囲で積込む場合や、2m の横積み、高く積む場合に使う。
 - ・合板の受入工場は、受入時に本数は数えることもあるが、寸面は数えていない。選木機の場合は、寸面は書かれないので、信用の上で成り立っている。最初は選木機も寸面を書いてくるようにと言われ、印字機械の検討をしたが、印字時間が掛かって選木能力が下がるためやめにし、お互いに材積の確認をした結果、合っているということで書かなくてよくなった。
 - ・現在の所、写真検知は相手方に認められていないが、選木機と同じ流れなので、例えば林野庁が精度検証をして、ソフトの認定をするなどすれば使えるようになるのではないか。
- 5.センター配車について、現状の m3 あたりの運材コストや、トラック(トレーラー)1 台での 1 日の運材量を教えて下さい。
- ・運送会社により、帰り荷の有無や、何往復できるかによって運賃が決まるため、何 km でいくらという運賃体系ではない。
 - ・センター～合板工場：トレーラーで 1 日 1 台
 - ・センター・山土場～管内：10t2 連で 1 日 4 台程度
- 6.トラック運転手の人材確保、人材育成、技術レベルについての課題はありますか。
- ・丸太を運べる人を作らなければいけない。現在主力の運送会社も最初は鉄を運んでいて、丸太を運べなかった。できれば山で検知も自分でとれる運転手を育てたい。本当はノースジャパンのように協同組合の中にトラック組合を入れて、人材育成を進めていきたい。
 - ・センターとしては仕事のボリュームを確保できているので、運送会社もそれに応じてくれている。山に入れるトラックが少ないので欲しいと要望したら、ヒアブ付きのトラックを買ってくれた。
 - ・このように仕事量を確保し、トレーラーの帰り荷を用意して運転手の待遇を向上できるようにすることで、人材不足の業界であるが、運転手の確保・育成に成功している。
 - ・長距離のトレーラーだと 2 泊、3 泊になってしまうので家に帰れない。家に帰りたい運転手は山に入る 10t 車を選ぶ。10t 車の場合、林道の走行や、ヒアブの扱いなどのハードルはあるが、これまでトレーラーに乗ってきた運転手であり、基本的な運転スキルが

高いため対応できていると思う。

7.仮に、自動運転トラックが実用化した場合、センター側(外注先含め)でトラックを保有し、配車運用するということは考えられますか。その場合、通常のトラックに対して、どの程度の投資増であれば導入を検討してみたいですか。

- ・自動運転化しても配車の対応はできると考える。
- ・投資回収期間は3~5年程度ではないか。

8.トラック自動運転のレベル4(無人運転)を運用する場合に、緊急停止時には遠隔復帰や遠隔運転操作が必要になりますが、人員配置等どのような形であれば対応できるでしょうか。

- ・夜中の管制業務は可能。

9.自動運転(運転手不在)のトラックが土場に来た時に、積下や出荷情報の受け渡しはどのような方法が考えられますか。

- ・伝票のスマホ等での電子化は技術的にすぐできると思われるので、自動運転に関わらず導入を進めて、もっと簡潔にした方が良い。
- ・積む量をあらかじめ決めておくか、はい積み単位で購入することで、事前に伝票を作ったのやり取りが可能。

10.土場での積下について、自動運転を考える場合、現状の方式にこだわらず、どのような方法が考えられますか。

- ・定尺、下ろし場所を決めて、自動のフォークリフトで降ろす。
- ・自動化できる単純な方法として、昔であれば、ダンプや戸田式ステッキの一発下ろし。周りに住宅があり、騒音の苦情が多かった。コンテナで降ろすとか、ピットを掘るとかはどうか。下ろすときに音さえ出なければ、その後の仕分けは問題ない。

11.運材トラックの自動運転や土場での積下の遠隔・自動運転について、期待する点や懸念する点がありますか(安全性、コスト、生産量等)。

- ・安全性の確保を懸念する。トラブルで止まっているときに、入った人に対して動き出して事故を起こしてしまう等が怖い。

12.自動運転化が進むに応じて、在庫情報・出荷情報のICT化等を含め、木材市場の役割はどう変わっていくと思われますか。また、自動運転に限らず、未来の木材流通について考えていることを教えて下さい。

- ・山側がもっと安心して生産できるように安定化させたい。現在の生産量のネックは再造林人工の確保。生産する人が造林もしなければならぬので、生産能力が落ちる。

- ・ウッドショックで、外材に頼っていた人たちが、国産材を欲しがっているが、「あるのに使えない」状態にある。国際市場はもうそれほど下がらないと思う。これがまた外材に戻るのではなく、日本は外材を使っていたおかげで山に木がある。もう日本は買い負けていて、木が入ってこない状況にある。使うべき時代に来ていて、林道や造林など様々なネックがあり、木材が出てこない状況にある。外国から見て、日本の木は良い木だと言って輸出が増えるようになるかもしれない。
- ・「木が欲しい」と国として明確に言った方が良い。今(ウッドショック下)の欲しいは、「外材が高くなってきたのでもっと安いものないか」という意味での欲しい。貿易にはこういうリスクがあるので、やっぱり国産材を大事にしようという流れにしたい。

林業関係者のニーズ・課題把握 まとめ

1. 各社のまとめ

No.	ヒアリング先	所有形態	トラック(荷台長、車載グラップル有無)	運送経路(積込・積下機械※1)	林道幅員(※2)	林道管理者
2	社有林所有者	社有林	10t(7.3m、有無)	山土場(車固)→工場(先)、中間土場(車固)	4m	自社
3	自伐林家	所有林下請	2t ダンプ(無)	現場(固)・山土場(固)→市場(先)	2.3m(作) 3m	自社(作) 市町村
4	森林組合①	私有林 国有林	10t(4~8m、有)	山土場(車)→工場(先)、港(車)、中間土場(車)	3m	市町村 国
〃	〃	私有林	2t ダンプ(無)	現場(固)→中間土場(固)	2.5m	市町村
5	森林組合②	私有林	10t(6m、有無)、 8t(4m、無)	現場(車固)→市場(車先)	3.5m(作) 3.5m	自社(作) 市町村
6	林業事業体①	国有林	10t(4.5~6.2m、有)、 フルトレーラ	山土場(車)→自社工場(車)、 中間土場(車)	3m	国
7	林業事業体②	私有林	8t(5m、無)	山土場(固)→市場(先)、中間土場(固)	3m	市町村

※1 車：車載グラップル、固：固定式グラップル、先：先方の荷役機械

※2 作：作業道

2. 山土場・中間土場での積込・積下

- ・車載グラップル付トラックの場合は、運転手が積込・積下を行う
- ・車載グラップル無トラックの場合は、土場用グラップルを配置して、山側オペレータまたは運転手が積込・積下を行う

3. 市場・工場等向先での積下

- ・車載グラップル付トラックの場合は、運転手が降ろすことが多いが、備え付けの荷役機械を使う(使える)場合もある。
- ・車載グラップル無トラックの場合は、大型のグラップル、フォークリフト、フォークローダー等で降ろす。

4. 検知・仕分・出荷伝票

- ・工場直送の場合には、手検知してチョークで寸面を書き、向先ごとに仕分け、紙の出荷

伝票を発行することが一般的。

- ・市場、工場土場などに選木機がある場合には、検知をせず混載で出荷。出荷伝票には、出荷元の情報のみを記載する形が一般的。
- ・検収システムを整備し、寸面・数量をスマホで入力することで、紙の出荷伝票をなくした事例がある。
- ・選木機に掛けた場合、合板用材では丸太に寸面を記入しないため、写真検知やハーベスタ材積集計の精度検証とある程度の誤差を許容するように考え方の変更がなされれば、同様に寸面記載不要で扱える可能性がある。

5. 運材コスト

- ・地域、距離、会社によって様々だが、日当たりの運賃で整理すると下記の通り。

10t 車車載グラップル付 8万～10万/日程度

トレーラー 10万～11.5万/日程度

6. 林道の状況、走行上の課題・注意点、運材工程の課題

- ・未舗装、幅員 3m が主
 - ・公設林道の整備は全国的に不足しており、自力で開設しているケースもある。インフラ整備を進めてほしいという要望は多い。
 - ・林道の走行上の注意点として、わだちや水たまり等で路面状況が悪いし変化する、待避所・転回場が少ない、勾配がきつい、R がきつく内回りしすぎると脱輪する、枝の張り出し、軟弱な路肩などがある。
 - ・現場に入る前に、拡幅や路面整備、排水施設の修復、割栗石の投入等を行っている。
 - ・国有林道、私有林道であれば、他者は入ってこない。
 - ・段々と現場が山奥になり、走行距離が伸びたり、トラックサイズが制約されてきたりしている。
 - ・公道と林道を結ぶ、集落内のアクセス道が、幅が狭い、壁や軒にさえぎられる、線路の下をくぐる、橋が小さい等でトラックが通れず、林道が活用できない
 - ・アクセス道に大型車を走らせると舗装の修復が発生したり、場合によっては通行禁止される場合もあり、事前の折衝には苦勞している。
- ⇒10t2 連が余裕を持って入れる幅員 4m の高規格な道を整備してくれという意見と、道は仕方がないので、自動化によりトラックサイズを小さくしてはどうかという意見がある。

7. トラック運転手の育成・確保の課題

- ・運送業界全般に運転手が足りていない。残業規制が強まり、稼げなくなってきたことも影響している。
- ・林道の走行は特殊技能で育成には時間が掛かる。

- ・運送業界の中では、林業用トラックの日中のみの仕事という条件に魅力はある。
- ・業務量と給料を十分に確保することが、人材確保の対策として重要。

8. 遠隔監視、24時間稼働に対する考え方

- ・必要なら、遠隔監視することには抵抗がない。実施主体によって、配車をしながら、土場運用をしながら、現場オペレータが対応などで兼任できる。
- ・24時間稼働については魅力的だが、民家付近のアクセス道や土場における騒音問題が課題。

9. 土場での積込・積下の自動化について

- ・揺動式の車載グラップルの現段階での自動化は困難と思われる。固定式のグラップルの方が自動化しやすくはあるが、はい積みや仕分方法の規制は必要であるし、いずれにしても開発には時間が掛かると思われる。
- ・向先での積下は、車載グラップルではなく、フォークリフトや大型グラップルなど専用の荷役機械を自動化するか、コンテナ車やダンプで降ろすなどの単純な手法が良いのではないか。
- ・作業道に直接トラックが入って積込む現場では、積込の自動化は無くても良い。
- ・山土場や中間土場での積込・積下は自動でなくても遠隔操作すれば人が行かなくて済む。
- ・受入土場が固定であれば、受入側のオペレータが有人で積下対応できる。

10. 自動運転に対する期待・懸念

- ・基本的に、レベル3の有人監視が必要な段階には興味がなさそうであった。
- ・スピードより、事故やトラブル、故障を起こさない信頼性を重視。新しい技術なので、ランニングコストに不安。
- ・労働安全性の向上に期待。
- ・自動運転であれば、転回せずにフルバックできるのでは。
- ・自動車保険や法的課題の解決が必要。
- ・トラックがボトルネックになっている場合は、現場を増やせる可能性がある。
- ・木材のロジスティックスをどう変革していき、その中に自動運転をいかに組み込むかが重要。

11. 投資回収、資本投下の考え方

- ・各社、償却期間に合わせて概ね5年で投資回収したい。
- ・人件費が回収できるのであれば、積極的に検討したいという会社が多い。
- ・現状は外注であっても、運転手不要であれば直営で資本投下を考えられるという意見や、商社や工場等に資本を出してもらってはどうかという意見がある。

(3) 実証実験にむけた要件整理

①具体的な導入技術と作業システムの組み合わせの整理

1)トラックの自動運転・隊列走行に必要な要素技術と林地における特徴・課題の整理

(2)のヒアリングから、車両としては2t~10tトラック、自動運転等技術としては自動運転(レベル4の無人化)・隊列走行ともにニーズがあることが分かった。(1)の事例収集および(2)のメーカーヒアリングより判明した、自動運転・遠隔走行に必要な要素技術と林地における特徴・課題を下記に整理する。なお、それぞれの要素技術は、運転の3要素であるI. 認知、II 予測・判断、III. 操作に分類して整理する。

<トラック自動運転>

【I. 認知】

a.)自己位置推定(マッピング)

- ・SLAM等：林地では特徴点となる樹木が多くあるため、位置推定精度は高いと考える(※)。皆伐地では特徴点が少ないため精度低下する。なお、今年度の林野庁開発案件にて、事前に測量した林道のレーザーデータを用いて、簡易なLiDARで自己位置推定する技術開発を行っており、その適用も考えられる。
- ・GNSS：上空視界が取れない林地で高精度に受信することは困難。皆伐地などでは可能。⇒2つを組み合わせることで、様々な環境に適応できると考える。

※R2年度の予備調査におけるヒアリング(報告書P29)では、自己位置推定の課題として、SLAMによる3Dマップの作成が困難であるとされ、「樹木のみが連続していると、単調な繰り返しパターンとなって累積誤差が出やすいのではないか」というコメントが多かった。これに対し、今回の事例収集およびヒアリングにおいては、自動運転分野②の山梨県産業技術センターによる森林作業道における自律移動の事例、海外分野②のLinköping大学による林道におけるSLAMの精度検証、またトラックメーカー、林業機械メーカーへのヒアリングにおいても、林道におけるSLAMでの自己位置推定は可能であるという結果、意見が得られている。樹木は自然物であり、全くの同一・等間隔のものはないため、特徴点として認識されやすいと考える。なお、伐採や落葉、降雪などによる環境変化がある場合に、自己位置推定とマップの更新をどのように行うかはアルゴリズムの工夫が必要だと考える。

b.)自転車挙動の認知

- ・車両からの情報取得：速度、ギア、操舵角等
 - ・IMU(慣性計測装置)：3軸の加速度・角速度を検出
- ⇒自己位置推定にも適用

c.) 周辺環境認識(センシング)

- ・ ポール等：センサでは分からない軟弱路肩等の走行危険箇所を予め明示する。
- ・ RGBD カメラ：幅員や線形、路面状況、人や他車、野生動物、落石などの障害物、上述のポール等の認識に使用。草が伸びていると路肩が分からないため、走行前の環境整備が必要である。
- ・ LiDAR(3D・2D)：カメラと合わせて幅員や線形、路面状況や障害物、上述のポール等の認識に使用。SLAM を使用する場合は 3D-LiDAR が必須であるが、事前測定のレーザーデータを使用する方策であれば、LiDAR のランクを落とせる。草が伸びていたり、枝が張りだしていると、過検知・誤検知の原因になるため、走行前の環境整備が必要である。
- ・ バンパセンサ：障害物への接触時や、誤作動による法面等への接触時に緊急停止させる。

【II. 予測・判断】

- ・ 操舵角の決定：SLAM 等で作成したローカルマップより道路線形、幅員を導出し、操舵角を決定する。
- ・ 位置情報に基づく速度・ギアのフィードフォワード制御：事前の有人走行時に、地図に速度やギアの指示を登録し、それに従って制御する。
- ・ センサ状況による減速・緊急停止：危険があるときには、緊急停止する。路面状況が悪い場合には、指示速度よりも減速して走行する。

【III. 操作】

- ・ アクチュエータ：車体が油圧等の機械制御式であれば、II. の結果をアクチュエータに入力して、機械的にペダルやハンドルを操作する。
- ・ 電子制御：車体が電子制御式であれば、II. の結果を直接、制御装置に入力する。
- ・ 通信技術：異常停止時は遠隔復帰や遠隔運転が必要である。車両を動かさずに、自動制御に戻す復帰操作のみであれば、4G で可。道を外れた場合などに遠隔運転を行う場合、シビアな操作が求められる場合には、低遅延の 5G が必要となる可能性もある。もしくは、現場に行って有人で復帰させる考え方もある。

これら要素技術は実用化済みであり、その組合せとしての自動運転も実現可能性はあると考える。トラックサイズとしては、小型車の方が、道幅に対する車幅の余裕がある、内輪差が小さい、慣性が小さい等の理由から実現可能性は高いと考える。

<トラック隊列走行>

【I. 認知】

- a.) 自己位置推定：有人車に追従するため不要

b.) 自車挙動の認知

- ・ 車両からの情報取得：速度、ギア、操舵角等
 - ・ IMU(慣性計測装置)：3軸の加速度・角速度を検出
- ⇒ 後続車に自車挙動を通知

c.) 周辺環境認識(センシング)

- ・ 車車間通信：b.)の情報や下記センシングの結果を各車両にリアルタイムで通知。
- ・ 先行車の認識：下記技術の組合せ、取捨選択による。どの程度のセンサ類で実現可能かは実験を要する。
 - * 伸縮式ワイヤ：車両同士を連結し、前車との車間距離・相対角度などの情報を得る
 - * 車両後方マーカ：先行車の位置を正確に認識するために、車両後方に設置。
 - * RGBD ステレオカメラ：車両後方マーカを撮影し、前車との車間距離や相対角度を認識。
 - * LiDAR(2D・3D)：前車との車間距離や相対角度を認識。SLAM は不要のため、ワイヤやカメラ、または2D-LiDARで要件を充足すれば、3D-LiDARは要しない。
- ・ 道路幅員、走行危険箇所の認識：先行車への追従精度が悪く、道路幅員からの逸脱が考えられる場合には、自動運転と同様に道路幅員、走行危険箇所の認識が必要となる。その必要性や、どの程度のセンサ類で実現可能かは実験を要する。
 - * ポール等：センサでは分からない軟弱路肩等の走行危険箇所を予め明示する。
 - * RGBD カメラ：道路幅員、上述のポール等の認識に使用。草が伸びていると路肩が分からないため、走行前の環境整備が必要である。
 - * LiDAR(2D・3D)：道路幅員、上述のポール等の認識に使用。先行車にのみ3D-LiDARを搭載し、その情報を後続車に通信で伝えることにより、センサを削減できる可能性もある。草が伸びていたり、枝が張りだしていると、過検知・誤検知の原因になるため、走行前の環境整備が必要である。
- ・ バンパセンサ：野生動物や落石等への接触時や、誤作動により先行車や法面等へ接触した時に緊急停止させる。

【II. 予測・判断】

- ・ 先頭車追従制御：2. (1)自動運転分野①の豊田通商の事例では、3D-LiDAR、ステレオカメラ、RTK-GNSSの組合せによる先頭車追従制御を実現している。80km/h 走行時の横位置の制御精度は±50cm とのことであり、そのままの精度では林道においては道路を逸脱する恐れがあるが、林道においては走行速度が極端に遅い(5km/h～20km/h 程度を想定)ため、制御精度は高められると思われる。
- ・ 道路幅員の認識：上述の追従制御の制御精度が悪く、道路を逸脱する恐れがある場合には、カメラ・LiDAR等により道路幅員を認識し、外れる場合には緊急停止させる機能を

持つ必要がある。

- ・ 追従不能時の緊急停止・先頭車への通知：追従不能時に、自分が緊急停止しつつ、先行車に緊急停止をさせる。また、先頭車の運転手にも通知する。

【III. 操作】

- ・ アクチュエータ：車体が油圧等の機械制御式であれば、II. の結果をアクチュエータ入力して、機械的にペダルやハンドルを操作する。
- ・ 電子制御：車体が電子制御式であれば、II. の結果を直接、制御装置に入力する。

隊列走行についても、使用する要素技術は実用化済みであり、その組合せとしての隊列走行も実現可能性はあると考える。自動運転に対して、自己位置推定が不要である点は明確なメリットである。センサ類の種類やランクを自動運転より省略できる可能性もあるが、先頭車追従制御の制御精度がどの程度になるかにより不確定である。

以上から、検討対象の自動運転等技術を下表にまとめた。制御種類として自動運転・隊列走行、車両サイズとして 10t・2t を想定し、それぞれの組合せ 4 パターンの実現可能性と想定開発費を示した。A.の 10t 車の自動運転が最終目標であるが、2t 車の B.自動運転・D.隊列走行に比べると第一段階での実現可能性は低い。また、C.10t 車の隊列走行については、10t 車 1 台の転回場確保も困難な中で、複数台の転回が可能な広大な転回場が必要となるため現実的ではない。よって、実証実験に向けた具体的な運材作業システムの検討には、B.2t 車の自動運転、D.隊列走行を適用する。また、A.10t 車の自動運転については、第一段階での開発は困難と思われるが、将来展望を示すために参考として検討を行う。

	制御種類	車両サイズ	車幅	対象 林道級別	林道 全幅員	余裕 幅	第一段階での 実現可能性	想定開発 費(※)	次 段階
A. 最終 目標	自動運転	10t	2.5m	2 級 1 級	3.25m ~3.5m 4.25m ~4.5m	0.75m ~1.0m 1.75m ~2.0m	△~×	6 億~ 12 億	△ (参考)
B.	自動運転	2t	1.7m	3 級 2 級 1 級	2.25m ~2.5m 3.25m ~3.5m 4.25m ~4.5m	0.55m ~0.8m 1.55m ~1.8m 2.55m ~2.8m	○~△	2 億~ 4 億	○
C.	隊列走行	10t	2.5m	A.と同じ ただし、広大な転回場が必要			×	5 億~ 15 億	×
D.	隊列走行	2t	1.7m	B.と同じ			○	1.5 億~ 4.5 億	○

(※)想定開発費は ARAV による超概算

2) 土場での積込・積下に必要な要素技術と林地における特徴・課題の整理

(2)のヒアリングから、土場での積込・積下については、対象とする機械が様々考えられることが分かったため、要素技術の検討に先立って対象機械を検討する。各機械を自動化・遠隔化する場合の特徴や課題を下記に示す。

・固定式グラップル(建設機械ベース)

山土場、中間土場、納入先のいずれでも汎用的に使用される。揺動式グラップルに比べると、ヘッドの振れが無いため制御しやすい。

⇒自動化・遠隔化について要素技術を検討する。

・揺動式グラップル(トラックに付属)

使用場所は固定式と同様に汎用的に使え、トラックに付属するため機械回送が不要。ヘッドが固定されておらず振れるため、自動制御には不向き。

⇒遠隔化については、固定式グラップルと同様の技術であり検討に含める。

・コンテナ車(フックロール車、アームロール車)

木材のハンドリングが無いため、自動化実現のハードルは低いと考えられる。しかし、自動化されずとも生産性が上がる仕組みではあるが、コンテナフォワードについては、イワフジ、諸岡の両社とも販売数が少なく生産中止している。コンテナの脱着に広い土場が求められること等がネックと思われる。

⇒適用可能な土場に限られ、市場ニーズが小さいことから検討から外す。

・納入先の荷役機械(グラップル・大型グラップル・フォークリフト等)で有人対応

又はダンプによる自動・遠隔積下

納入先には、基本的に木材をハンドリングする要員がいるため、自動運転トラックからの積下を有人対応してもらうことも可能。また、盤台やピット等を整備すれば、ダンプにより自動・遠隔の積下も可能と考える。

⇒技術検討は不要であり、作業システムの検討に含める。特に、土場を介さずに現場で直接トラックに積込む作業システムでは、積込・積下に関する技術検討が一切不要となる。

以上より、固定式グラップルの自動化・遠隔化、揺動式グラップルの遠隔化について、要素技術の実現可能性を検討し、それらの結果と「納入先での有人対応」を含めて、作業システムを検討する。

<固定式グラップルの自動運転>

【I. 認知】

a.)自己位置推定

- ・ 3D-LiDAR により、有人走行を行ってマップを事前作成する
- ・ GNSS：土場内の自己位置を認識する

b.)自車挙動の認知

- ・ 機体からの情報取得：各アクチュエータの動作情報
- ・ IMU(慣性計測装置)：3軸の加速度・角速度を検出

c.)丸太・トラック位置・周辺環境の認識

- ・ RGBD カメラ
- ・ 3D-LiDAR

【II. 予測・判断】

- ・ 丸太の掴み位置の認識・判断：丸太の隙間に爪を差し込むため、隙間の認識とピンポイントの位置決めが必要。積み方によって、重心付近を掴むべき場合と、端付近を掴むべき場合がある。
- ・ はい積み・荷台への積み方のプランニング：隙間を少なく、安定して積むために、どの太さ、曲がりの材を、どこにどの順番で積むのかのプランニングが必要。
- ・ モーションプランニング技術：前述の 2 技術により決まった目標位置に対して、どのアクチュエータをどう動かせばよいかをプランニングする。
- ・ 異常時の緊急停止：カメラや LiDAR で接触などの異常を認識した場合に緊急停止する。

【III. 操作】

- ・ アクチュエータ：車体が油圧等の機械制御式であれば、II. の結果をアクチュエータ入力して、機械的にペダルやハンドルを操作する。
- ・ 電子制御：車体が電子制御式であれば、II. の結果を直接、制御装置に入力する。

これら要素技術の中で、II. 予測・判断の丸太の掴み位置の認識・判断や、はい積み・荷台への積み方のプランニングは人間でも熟練を要する技術であり、林業機械メーカーへのヒアリング結果や ARAV の見解から、グラップルの自動運転は現段階では困難であると考えられる。

<固定式・揺動式グラップルの遠隔運転>

【I. 認知】

a.)自己位置推定

- ・GNSS：土場内の位置を認識して運転者に表示

b.)自転車挙動の認知

- ・機体からの情報取得：キャビンの計器類の情報を取得して運転者に表示

c.)丸太・トラック位置・周辺環境の認識

- ・RGBD カメラ
- ・マイク

d.)通信技術

- ・4G：ARAV のバックホウの遠隔運転では、映像の遅延が往復で 0.3s 程度であり、最初は多少の違和感はあるが慣れるとのことで、5G までは不要と考えている。
- ・無線 LAN：4G 圏外の場合は無線 LAN の構築が必要である。遠隔操作を無線 LAN 圏内で行う場合(山側から山土場のグラップルを操作する等)は、4G を使用せずに低遅延で操作可能。遠隔地で操作する場合には、4G 圏内の場所まで無線 LAN でつなぐ必要がある。

【II. 予測・判断】

- ・ディスプレイや VR ゴーグル等により人間が判断して、ジョイスティックなどで操作。

【III. 操作】

- ・アクチュエータ：車体が油圧等の機械制御式であれば、II. の結果をアクチュエータ入力して、機械的にペダルやハンドルを操作する。
- ・電子制御：車体が電子制御式であれば、II. の結果を直接、制御装置に入力する。

遠隔運転については、各要素技術は実用化されているものであり、組み合わせのシステムとしても、ARAV はバックホウの遠隔運転を実現しており、ヒアブは車載用揺動式グラップルのトラック車内からの遠隔運転を実現していることから、実現可能性は非常に高いと考える。

以上より、検討対象の積込・積下方法を下表にまとめた。A.の固定式グラップルの自動運転が最終目標であるが、現段階での実現可能性は低い。よって、B.固定式/揺動式グラップルの遠隔運転と C.納入先での有人運転にて、具体的な運材作業システムの検討を行うこととする。

	機械	制御種類	第一段階での 実現可能性	想定 開発費	次 段階
A. 最終 目標	固定式グラップル	自動運転	×	不明	×
B.	固定式/揺動式グラップル	遠隔運転	◎	0.6 億	○
C.	納入先の荷役機械	有人	◎	0	○

3) 林業現場における具体的な運材作業システムの組み合わせ

1)2)で検討候補に挙げた自動運転等技術を組み合わせることで実現できる、具体的な運材作業システムのパターンを下表に 4 案示す。これらについて、次の②にて導入可能な林業現場の条件整理を行い、林業現場における実現可能性と費用対効果の観点から評価を行い、実証実験の検討パターンを決定する。

	トラック	積込場所	積込方法	積下場所	積下方法	第一段階での 実現可能性	想定 開発費
A.	10t 平ボディ (自動運転)	現場	固定式 グラップル (有人)	木材市場等 (選木機等有)	納入先の 荷役機械 (有人)	×	6 億～ 12 億
B.	10t グラッ プル付 (自動運転)	山土場	揺動式 グラップル (遠隔運転)	中間土場	揺動式 グラップル (遠隔運転)	△～×	6.6 億～ 12.6 億
C.	2t ダンプ (自動運転)	山土場	固定式 グラップル (有人)	中間土場	固定式 グラップル (遠隔運転)	○～△	2.6 億～ 4.6 億
D.	2t ダンプ (遠隔運転)	山土場	固定式 グラップル (有人)	中間土場	固定式 グラップル (遠隔運転)	○	2.1 億～ 5.1 億

② 導入可能な林業現場の条件整理

1) 各運材作業システムの条件整理と費用対効果算出

① 3)で示した具体的な運材作業システムのパターン 4 案について、導入可能な林業現場の条件整理を行い、実現可能性と費用対効果の評価を行う。なお、全てのパターンにおいて、トラック本体の購入費用は、走行距離での償却を考えれば、有人運転でも自動運転・隊列走行でも同じであることから、回収年数の考慮から外している。

A.10t 平ボディ自動運転+有人積込・積下

<前提条件>

- ・モデル事業体：森林組合②
- ・トラックサイズ：10t 平ボディ、2 連
- ・林道級別：2 級以上(全幅員 3.25m 以上)
- ・林道状況の条件：
 - * 未舗装・舗装：白線やガードレールのない未舗装路にも対応
 - * 路面の整備：
 - ・草が刈られていること：センサの誤作動を防ぐため、事前の草刈りを行う
 - ・障害物が除去されていること：落石等の障害物を避ける動作は困難であり、緊急停止の原因となるため、出退勤時に人間が障害物を除去すること
 - ・積雪がないこと：積雪時はタイヤのスリップが発生し特殊な運転操作が必要なことから、現段階では積雪時の対応は困難であると考えている
- ・林道内走行速度：有人 10km/h⇒自動 5km/h（トラックメーカーヒアリングより、自動運転時の走行速度はおおむね有人運転の半分とのこと）
- ・積込場所：現場(2 級相当の作業道沿い)
- ・積込方法：グラップルでの有人積込
- ・積下場所：木材市場等
- ・積下方法：納入先の荷役機械による有人積下
- ・公道走行：林道出口～木材市場等までは公道走行。公道走行時は、別で開発される公道走行モード(レベル 5 相当が必要か)に切り替えるものとする。ただし、公道の自動走行(レベル 5)の実現のメドは現段階では立っていないため、本ケースは将来的な目標としての参考ケースとする。
- ・想定販売価格：本体 2200 万円+林道自動運転機能 1300 万円(開発費相当額含まず)
= 3500 万円

※ARAV による超概算

※公道走行の自動運転機能分の価格を含んでいない。センサ類は共用可能。

<費用対効果計算式>

【メリット】

a.) 有人積込時間を除く運転手人件費[円/日] = 運転手人件費[円/日] × (8 - 積込時間) / 8

【追加コスト】

b.) 教示・調整コスト[円/現場] = 技術員人件費[円/日] × 教示・調整時間[日/現場]

c.) ポール設置コスト[円/現場] = 運転手人件費[円/日] × ポール設置時間[日/現場]

d.) 自動運転機能維持コスト[円/年] <ソフトウェアのアップデート、センサ等修理費>

【年間効果】

a[円/日]×有人からの代替可能年間運材日数[日/年]
−(b+c)[円/現場]×年間現場数[現場/年]−d[円/年]

<費用対効果試算>

・運転手人件費：19,000[円/日]×運転手(一般)高知県>×1.41<必要経費>=26,790[円/日]

※「令和3年3月から適用する公共工事設計労務単価」による

・市場までの往復回数(有人)：3[回/日]<ヒアリング>

・市場までの走行時間(有人)：8[時間/日]／3[回/日]

−(30[分/回]<積込>+20[分/回]<積下>)=1.833[時間/回]

・市場までの走行時間(無人)：1.833[時間/回]×2<走行速度半分>=3.666[時間/回]

・市場までの往復回数(自動)：8[時間/日]／(3.666[時間/回]+30[分/回]+20[分/回])

=1.8[回/日]

・有人積込時間：1.8[回/日]×30[分/回]=0.9[時間/日]

・有人からの代替可能年間運材日数：245[日/年]×(1.8/3)<往復回数比率>=147[日/年]

・技術員人件費：24,200[円/日]×測量補助員>×1.25<必要経費>=30,250[円/日]

※「令和3年度設計業務委託等技術者単価」による

・教示・調整時間：

往復5[km]<ヒアリング>×3往復<教示>／5[km/時間]+1[日]<調整>=1.375[日]

※教示のための往復回数、調整時間は試算用の設定値

・ポール設置時間：

片道2.5[km]／1[km/時間]<設置速度>+0.5[時間]<準備>=0.375[日]

※徒歩による設置、準備時間は試算用の設定値

・年間現場(路線)数(有人)：6,600[m3]<1班(≒1台)当り年間生産量>

／(2.5[km]<作業道延長>×100[m]<集材距離>／10000[m2/ha]

×400[m3/ha]<材積密度>×0.3<間伐率>=2.2[現場(路線)/年]

・年間現場(路線)数(自動)：2.2[現場/年]×(1.8/3)<往復回数比率>=1.3[現場/年]

a.)有人積込時間を除く運転手人件費[円/日]=26,790[円/日]×(8-0.9)／8=23,776[円/日]

b.)教示・調整コスト[円/現場]=30,250[円/日]×1.375[日/現場]=41,594[円/現場]

c.)ポール設置コスト[円/現場]=26,790[円/日]×0.375[日/現場]=10,046[円/現場]

d.)自動運転機能維持コスト[円/年]=1,300万[円/年]×2%=26万[円/年]

※自動運転機能販売価格の2%、試算用の設定値

- ・年間効果[円/年]

$$= 23,776[\text{円/日}] \times 147[\text{日/年}] - (41,594 + 10,046)[\text{円/現場}] \times 1.3[\text{現場/年}] - 260,000[\text{円/年}] = 317 \text{ 万}[\text{円/年}]$$
- ・追加投資額 = 1,300 万[円] <林道自動運転機能> + α <公道自動運転機能>
- ・回収年数 = 1,300 万[円] / 317 万[円/年] = 4.1[年] + α

B.10t グラップル付自動運転+車載揺動式グラップル遠隔積込・積下

<前提条件>

- ・モデル事業体：社有林所有者
 - ・トラックサイズ：10t グラップル付、2 連
 - ・林道級別：2 級以上(全幅員 3.25m 以上)
 - ・林道状況の条件：
 - * 関係者以外通行止め：関係者以外が立ち入れる場合、公道扱いで道路 3 法適用となり、レベル 4 の自動運転は認められないため、通行止め措置を取る。社有林内林道については、自社規制で可能。市町村管理の林道については、道路使用許可の提出により通行止めが可能。
 - * 未舗装・舗装：白線やガードレールのない未舗装路にも対応
 - * 路面の整備：
 - ・草が刈られていること：センサの誤作動を防ぐため、事前の草刈りを行う
 - ・障害物が除去されていること：落石等の障害物を避ける動作は困難であり、緊急停止の原因となるため、出退勤時に人間が障害物を除去すること
 - ・積雪がないこと：積雪時はタイヤのスリップが発生し特殊な運転操作が必要なことから、現段階では積雪時の対応は困難であると考えている
 - ・林道内走行速度：有人 10km/h \Rightarrow 自動 5km/h
 - ・積込場所：山土場
 - ・積込方法：車載グラップルでの遠隔運転
 - ・積下場所：中間土場
 - ・積下方法：車載グラップルでの遠隔運転
 - ・公道走行：林道出口～中間土場までに公道を挟む場合は、公道走行有りだが、ヒアリングでは林道内に中間土場が存在する場合もあるとのことなので、そのケースを想定する。
 - ・想定販売価格：本体 2200 万円 + 車載グラップル 800 万円 + 林道自動運転機能 1300 万円 + グラップル遠隔運転機能 800 万円(開発費相当額含まず) = 5100 万円
- ※ARAV による超概算

<費用対効果計算式>

【メリット】

a.)遠隔積込・積下時間を除く運転手人件費[円/日]

=運転手人件費[円/日]×(8-積込・積下時間)÷8

【追加コスト】

b.)教示・調整コスト[円/現場]=技術員人件費[円/日]×教示・調整時間[日/現場]

c.)ポール設置コスト[円/現場]=運転手人件費[円/日]×ポール設置時間[日/現場]

d.)自動運転機能維持コスト[円/年]<ソフトウェアのアップデート、センサ等修理費>

【年間効果】

a)[円/日]×有人からの代替可能年間運材日数[日/年]

-(b+c)[円/現場]×年間現場数[現場/年]-d[円/年]

<費用対効果試算>

・運転手人件費：17,600[円/日]<運転手(一般)北海道>×1.41<必要経費>=24,816[円/日]

※「令和3年3月から適用する公共工事設計労務単価」による

・中間土場までの往復回数(有人)：6[時間/日]÷(往復10[km]/10[km/時間]

+30[分]<積込>+20[分]<積下>)=3.3[回/日]

※現場までの出退勤を控除し稼働時間6時間と仮定

・中間土場までの往復回数(自動)：6[時間/日]÷(往復10[km]/5[km/時間]

+30[分]<積込>+20[分]<積下>)=2.1[回/日]

・遠隔積込・積下時間(自動時)：2.1[回/日]×(30[分]+20[分])=1.75[時間/日]

・有人からの代替可能年間運材日数：245[日/年]×(2.1/3.3)<往復回数比率>=156[日/年]

※ただし、北海道においては積雪期の半年は使用不可。以下【 】内で計算。

【156[日/年]÷2=78[日/年]】

・技術員人件費：24,200[円/日]<測量補助員>×1.25<必要経費>=30,250[円/日]

※「令和3年度設計業務委託等技術者単価」による

・教示・調整時間：

往復10[km]<ヒアリング>×3往復<教示>÷5[km/h]+1[日]<調整>=1.75[日]

※教示のための往復回数、調整時間は試算用の設定値

・ポール設置時間：

片道5[km]÷1[km/h]<設置速度>+0.5[時間]<準備>=0.688[日]

※徒歩による設置、準備時間は試算用の設定値

・年間現場数(有人)：4[現場/年] ※仮定値

・年間現場数(自動)：4[現場/年]×(2.1/3.3)<往復回数比率>=2.5[現場/年]

【2.5[現場/年]÷2=1.3[現場/年]】

- a.)積込・積下時間を除く運転手人件費[円/日]
 $= 24,816[\text{円/日}] \times (8 - 1.750) / 8 = 19,388[\text{円/日}]$
- b.)教示・調整コスト [円/現場] = $30,250[\text{円/日}] \times 1.75[\text{日/現場}] = 52,938[\text{円/現場}]$
- c.)ポール設置コスト [円/現場] = $24,816[\text{円/日}] \times 0.688[\text{日/現場}] = 17,073[\text{円/現場}]$
- d.)自動運転機能維持コスト [円/年] = $(1,300 \text{万} + 800 \text{万})[\text{円/年}] \times 2\% = 42 \text{万}[\text{円/年}]$
 ※販売価格の2%、試算用の設定値

- ・年間効果[円/年]
 $= 19,388[\text{円/日}] \times 156[\text{日/年}] - (52,938 + 17,073)[\text{円/現場}] \times 2.5[\text{現場/年}] - 420,000[\text{円/年}] = 243 \text{万}[\text{円/年}]$
- ・積雪期考慮年間効果[円/年]
 $= 19,388[\text{円/日}] \times 78[\text{日/年}] - (52,938 + 17,073)[\text{円/現場}] \times 1.3[\text{現場/年}] - 420,000[\text{円/年}] = \mathbf{100 \text{万}[\text{円/年}]}$
- ・追加投資額 = $1,300 \text{万円} < \text{トラック自動運転機能} > + 800 \text{万円} < \text{グラップル遠隔運転機能} > = 2,100 \text{万円}$
- ・回収年数 = $2,100 \text{万}[\text{円}] / 243 \text{万}[\text{円/年}] = 8.6[\text{年}]$
 $\mathbf{2,100 \text{万}[\text{円}] / 100 \text{万}[\text{円/年}] = 21[\text{年}]}$

C.2t ダンプ自動運転+固定式グラップル有人積込・遠隔積下

<前提条件>

- ・モデル事業体：森林組合①
- ・トラックサイズ：2t ダンプ(車幅 1.7m 程度)
- ・林道級別：3 級以上(全幅員 2.25m 以上)
- ・通常は 10t トラックでの運材を行っているが、狭い林道や、観光道路・農道等で道を荒らすため 10t 車の使用が不能な場合に、2t ダンプでの小出しを行っている。
- ・林道状況の条件：
 - * 関係者以外通行止め：関係者以外が立ち入れる場合、公道扱いで道路 3 法適用となり、レベル 4 の自動運転は認められないため、通行止め措置を取る。市町村管理の林道については、道路使用許可の提出により通行止めが可能。
 - * 未舗装・舗装：白線やガードレールのない未舗装路にも対応
 - * 路面の整備：
 - ・草が刈られていること：センサの誤作動を防ぐため、事前の草刈りを行う
 - ・障害物が除去されていること：落石等の障害物を避ける動作は困難であり、緊急停止の原因となるため、出退勤時に人間が障害物を除去すること
 - ・積雪がないこと：積雪時はタイヤのスリップが発生し特殊な運転操作が必要なことから、現段階では積雪時の対応は困難であると考えている

- ・林道内走行速度：有人 20km/h⇒自動 10km/h
- ・積込場所：山土場
- ・積込方法：固定式グラップルでの有人積込(運転手→山側の作業員が対応)
- ・積下場所：中間土場
- ・積下方法：固定式グラップルでの遠隔運転(新たに、山側の作業員が対応)
- ・公道走行：林道出口～中間土場までに公道を挟む場合は、公道走行有りだが、ヒアリングでは林道内に中間土場が存在する場合もあるとのことなので、そのケースを想定する。
- ・想定販売価格：本体 600 万円+林道自動運転機能 1000 万円
+グラップル遠隔運転機能 800 万円(開発費相当額含まず)=2400 万円
※ARAV による超概算

<費用対効果計算式>

【メリット】

a.) 有人積込・遠隔積下時間を除く運転手人件費[円/日]
= 運転手人件費[円/日] × (8 - 積込・積下時間) / 8

【追加コスト】

- b.) 教示・調整コスト [円/現場] = 技術員人件費 [円/日] × 教示・調整時間 [日/現場]
c.) ポール設置コスト [円/現場] = 運転手人件費 [円/日] × ポール設置時間 [日/現場]
d.) 自動・遠隔運転機能維持コスト [円/年] (ソフトウェアのアップデート、センサ等修理費)

【年間効果】

a [円/日] × 有人からの代替可能年間運材日数 [日/年]
- (b+c) [円/現場] × 年間現場数 [現場/年] - d [円/年]

<費用対効果試算>

- ・運転手人件費：19,100[円/日]<運転手(一般) 長野県> × 1.41<必要経費> = 26,931[円/日]
※「令和 3 年 3 月から適用する公共工事設計労務単価」による
- ・中間土場までの往復回数(有人)：6[h/日] / (往復 4[km] / 20[km/時間] + 9[分/回]<積込> + 6 分[分/回]<積下>) = 13.3[回/日]
※現場までの出退勤を控除し稼働時間 6 時間と仮定
- ・中間土場までの往復回数(自動)：6[h/日] / (往復 4[km] / 10[km/時間] + 9[分/回]<積込> + 6[分/回]<積下>) = 9.2[回/日]
- ・有人積込・遠隔積下時間(自動)：9.2[回/日] × (9+6)[分/回] = 2.3[時間/日]
- ・有人からの代替可能年間運材日数：245[日/年] × (9.2/13.3)<往復回数比率>
= 169[日/年]

※ただし、実際には一部の現場でしか使用していないため、実際の年間運材日数はこれより少ない。以下【 】内で計算。

【年間運材日数(実績)：1,703[m3/年]<昨年実績>／2[m3/回]／13.3[回/日]=64[日/年]】

・技術員人件費：24,200[円/日]<測量補助員>×1.25<必要経費>=30,250[円/日]

※「令和3年度設計業務委託等技術者単価」による

・教示・調整時間：

往復4[km]×3往復<教示>／10[km/時間]+1[日]<調整>=1.15[日]

※教示のための往復回数、調整時間は試算用の設定値

・ポール設置時間：

片道2[km]／1[km/時間]<設置速度>+0.5[時間]<準備>=0.313[日]

※徒歩による設置速度、準備時間は試算用の設定値

・年間現場数：【3[現場/年]<昨年実績>】

理論上は3[現場/年]×(169/64)=7.9[現場/年]まで拡大可能。

a.)積下時間を除く運転手人件費[円/日]=26,931[円/日]×(8-2.3)／8=19,188[円/日]

b.)教示・調整コスト[円/現場]=30,250[円/日]×1.15[日/現場]=34,788[円/現場]

c.)ポール設置コスト[円/現場]=26,931[円/日]×0.313[日/現場]=8,429[円/現場]

d.)自動運転機能維持コスト[円/年]=(1,000万+800万)[円/年]×2%=36万[円/年]

※販売価格の2%、試算用の設定値

・フル稼働前提年間効果[円/年]

=19,188[円/日]×169[日/年]-(34,788+8,429)[円/現場]×7.9[現場/年]

-360,000[円/年]=254万[円/年]

※フル稼働させるためには、他社への貸出等が必要。

・昨年実績による年間効果[円/年]

=19,188[円/日]×64[日/年]-(34,788+8,429)[円/現場]×3[現場/年]

-360,000[円/年]=【74万[円/年]】

・追加投資額=1,000万円<トラック自動運転機能>+800万円<グラップル遠隔運転機能>

=1,800万円

・回収年数=1,800万[円]／254万[円/年]=7.1[年]

【1,800万[円]／74万[円/年]=24.3[年]】

D.2t ダンプ隊列走行+固定式グラップル有人積込・遠隔積下

<前提条件>

・モデル事業体：森林組合①

・トラックサイズ：2t ダンプ(車幅1.7m程度)×3台隊列走行

・林道級別：3級以上(全幅員2.25m以上)

- ・林道状況の条件：
 - * 関係者以外通行止め：関係者以外が立ち入れる場合、公道扱いで道路 3 法適用となり、レベル 4 の自動運転は認められないため、通行止め措置を取る。市町村管理の林道については、道路使用許可の提出により通行止めが可能。
 - * 未舗装・舗装：白線やガードレールのない未舗装路にも対応
 - * 路面の整備：
 - ・草が刈られていること：センサの誤作動を防ぐため、事前の草刈りを行う
 - ・障害物が除去されていること：落石等の障害物を避ける動作は困難であり、緊急停止の原因となるため、出退勤時に人間が障害物を除去すること
 - ・積雪がないこと：積雪時はタイヤのスリップが発生し特殊な運転操作が必要なことから、現段階では積雪時の対応は困難であると考えている
- ・林道内走行速度：有人と同じ 20km/h
- ・積込場所：山土場
- ・積込方法：固定式グラブブルでの有人運転(現状と同様に運転手に対応)
- ・積下場所：中間土場
- ・積下方法：固定式グラブブルでの有人運転(現状と同様に運転手に対応)
- ・公道走行：林道出口～中間土場までに公道を挟む場合は、公道走行有りだが、ヒアリングでは林道内に中間土場が存在する場合もあるとのことなので、そのケースを想定する。
- ・想定販売価格：本体 600 万円×3+林道隊列走行機能 1800 万円<3 台分>=3600 万円
※ARAV による超概算

<費用対効果計算式>

【メリット】

a.)3 台を有人運転した場合と隊列走行した場合の人件費 m3 単価の差額[円/m3]

【追加コスト】

d.)自動・遠隔運転機能維持コスト[円/年](ソフトウェアのアップデート、センサ等修理費)

【年間効果】

a[円/m3]×隊列走行での年間運材量[m3/年]-d[円/年]

<費用対効果試算>

・運転手人件費単価：19,100[円/日]<運転手(一般)長野県>×1.41<必要経費>
=26,931[円/日]

※「令和 3 年 3 月から適用する公共工事設計労務単価」による

・中間土場までの往復回数(有人 3 台)：6[h/日]／(往復 4[km]/20[km/時間]
+9[分/回]<積込>+6 分[分/回]<積下>)=13.3[回/日]

※現場までの出退勤を控除し稼働時間 6 時間と仮定

- ・一日当り運材量(有人3台) : $13.3[\text{回/日}] \times 2[\text{m}^3/\text{回}] \times 3 \text{台} = 79.8[\text{m}^3/\text{日}]$
- ・運転手人件費(有人3台) : $26,931[\text{円/日}] \times 3 \text{人} = 80,793[\text{円/日}]$
- ・運転手人件費 m3 単価(有人3台) : $80,793[\text{円/日}] / 79.8[\text{m}^3/\text{日}] = 1012[\text{円}/\text{m}^3]$

- ・中間土場までの往復回数(隊列3台) : $6[\text{h}/\text{日}] / (\text{往復} 4[\text{km}] / 20[\text{km}/\text{時間}] + (9[\text{分}/\text{回}] <\text{積込}> + 6 \text{分}[\text{分}/\text{回}] <\text{積下}>) \times 3) = 6.3[\text{回}/\text{日}]$

※現場までの出退勤を控除し稼働時間6時間と仮定

- ・一日当り運材量(隊列3台) : $6.3[\text{回}/\text{日}] \times 2[\text{m}^3/\text{回}] \times 3 \text{台} = 37.8[\text{m}^3/\text{日}]$
- ・年間運材量(隊列3台) : $37.8[\text{m}^3/\text{日}] \times 245[\text{日}/\text{年}] = 9261[\text{m}^3/\text{年}]$
- ・運転手人件費(隊列3台) : $26,931[\text{円/日}] \times 1 \text{人} = 26,931[\text{円/日}]$
- ・運転手人件費 m3 単価(隊列3台) : $26,931[\text{円/日}] / 37.8[\text{m}^3/\text{日}] = 712[\text{円}/\text{m}^3]$

a.) 3台を有人運転した場合と隊列走行した場合の人件費 m3 単価の差額[円/m3]
 $= (1012 - 712)[\text{円}/\text{m}^3] = 300[\text{円}/\text{m}^3]$

d.) 自動運転機能維持コスト [円/年] = $1800 \text{万}[\text{円}/\text{年}] \times 2\% = 36 \text{万}[\text{円}/\text{年}]$
 ※販売価格の2%、試算用の設定値

- ・年間効果[円/年]
 $= 300[\text{円}/\text{m}^3] \times 9261[\text{m}^3/\text{年}] - 36 \text{万}[\text{円}/\text{年}] = 242 \text{万}[\text{円}/\text{年}]$
 ※フル稼働させるためには、他社への貸出等が必要。
- ・昨年実績による年間効果[円/年]
 $= 300[\text{円}/\text{m}^3] \times 1703[\text{m}^3/\text{年}] - 36 \text{万}[\text{円}/\text{年}] = 242 \text{万}[\text{円}/\text{年}]$
 $- 360,000[\text{円}/\text{年}] = \mathbf{【74 \text{万}[\text{円}/\text{年}】}$
- ・追加投資額 = 1,800 万円
- ・回収年数 = $1,800 \text{万}[\text{円}] / 242 \text{万}[\text{円}/\text{年}] = 7.4[\text{年}]$
 $\mathbf{【1,800 \text{万}[\text{円}] / 15 \text{万}[\text{円}/\text{年}] = 120[\text{年}】}$

2)まとめと実証実験候補の選定

1)で整理した費用対効果の試算結果を下表にまとめる。A案の費用対効果には公道自動走行(レベル5相当)のメリットが含まれるため、近い将来での実現は難しいが、公道自動走行の実現を前提とすれば、導入に対してある程度現実感のあるメリットが算出できた。

B・C・D案はいずれも公道走行不要な中間土場までの小出しを想定しているため、現段階でも開発スタートできる。10t車のB案に対し、2tダンプのC・D案の方が、費用対効果が良く、より実現可能性も高いため、実証実験の候補としては、C・D案(2tダンプ)を選定することとする。C案(自動運転)とD案(隊列走行)の比較では、費用対効果はほぼ同じであり、実現可能性はD案(隊列走行)の方がやや高いと思われるが、技術的に未確定

の要素も多いため、実際の開発を始めるにあたり、より詳細な調査・実験を行って決定すべきものであり、本報告書では両論併記とする。

なお、C・D 案はいずれもヒアリング結果における希望回収年数が 5 年を超えているが、ヒアリングにおいて、林道やアクセス道が狭くて入れない、大型車だとアクセス道の舗装が割れるため地域との折衝が困難、幅員ギリギリの林道を大型車が走行するのは危険性が高いなどの理由から、トラックの小型化を求めるニーズを確認できており、2t ダンプの自動運転・隊列走行化にはそれらに対する副次的なメリットがあると考え。また、最終目標である 10t 車の自動運転化に向けても、まずは、2t ダンプから確実に開発を進めていく方が実現可能性が高まると考える。

	トラック	第一段階での実現可能性	想定開発費	想定販売価格(万円)				追加投資額(万円)	年間効果(万円)	回収期間(年)	次段階
				トラック本体	トラック林道自動運転機能	グラッブル遠隔運転機能	合計				
A.	10t 平ボディ (自動運転)	× (公道有)	6 億～12 億	2200	1300	—	3500	1300 + α	317	4.1 + α	×
B.	10t グラッブル付 (自動運転)	△～×	6.6 億～12.6 億	3000	1300	800	5100	2100	243 【100】	8.6 【21】	×
C.	2t ダンプ (自動運転)	○～△	2.6 億～4.6 億	600	1000	800	2400	1800	254 【74】	7.1 【24.3】	○
D.	2t ダンプ (隊列走行)	○	2.1 億～5.1 億	600×3 =1800	(隊列 3 台) 1800	—	3600	1800	242 【15】	7.4 【120】	○

【 】 無の効果値はいずれもフル稼働を前提した結果。【 】 内は、実際のヒアリング対象現場における、積雪期や適用現場数の制約を考慮した結果。

③具体的な導入技術や実証事業地、実施主体の想定の整理

1)C・D 案の実証実験の具体的な想定整理

i.)導入技術

3. ①1)2)の再掲のため、詳細はそちらを参照のこと。

<2t ダンプの自動運転>

【 I. 認知】

- a.)自己位置推定(マッピング)：SLAM、GNSS
- b.)自車挙動の認知：車両からの情報取得、IMU(慣性計測装置)
- c.)周辺環境認識(センシング)：ポール等(走行危険箇所明示)、RGBD カメラ、3DLiDAR、バンパセンサ

【II. 予測・判断】

- ・操舵角の決定
- ・位置情報に基づく速度・ギアのフィードフォワード制御
- ・センサ状況による減速・緊急停止

【III. 操作】

- ・アクチュエータ、電子制御
- ・通信技術：異常時の遠隔操作・復帰操作用

<トラック隊列走行>

【I. 認知】

- a.)自己位置推定(マッピング)：不要
- b.)自車挙動の認知：車両からの情報取得、IMU(慣性計測装置)
- c.)周辺環境認識(センシング)：車車間通信、伸縮式ワイヤ、車両後方マーカ、RGBD ステレオカメラ、LiDAR(2D・3D)、ポール等、バンパセンサ(必要に応じ取捨選択)

【II. 予測・判断】

- ・先頭車追従制御
- ・道路幅員の認識：
上述の追従制御の制御精度が悪く、道路を逸脱する恐れがある場合に必要
- ・追従不能時の緊急停止・先頭車への通知

【III. 操作】

- ・アクチュエータ、電子制御

<固定式・揺動式グラップルの遠隔運転>

【I. 認知】

- a.)自己位置推定：GNSS
- b.)自車挙動の認知：機体からの情報取得
- c.)丸太・トラック位置・周辺環境の認識：RGBD カメラ、マイク
- d.)通信技術：4G、無線 LAN

【II. 予測・判断】

- ・ディスプレイやVRゴーグル等により人間が判断して、ジョイスティックなどで操作。

【III. 操作】

- ・アクチュエータ、電子制御

ii.)実証事業地の条件

- ・トラックサイズ：2t ダンプ(車幅 1.7m 程度)
- ・林道級別：3 級以上(全幅員 2.25m 以上、AMT 車)
ただし、開発の初期段階においては、全幅員 3.5m 以上の 2 級林道からスタートする。
通行止め可能な範囲でより幅員が広い方が望ましい。
- ・林道状況の条件：
 - *関係者以外通行止め：関係者以外が立ち入れる場合、公道扱いで道路 3 法適用となり、レベル 4 の自動運転は認められないため、通行止め措置を取る。市町村管理の林道については、道路使用許可の提出により通行止めが可能。
 - *未舗装・舗装：白線やガードレールのない未舗装路にも対応
 - *路面の整備：
 - ・草が刈られていること：センサの誤作動を防ぐため、事前の草刈りを行う
 - ・障害物が除去されていること：落石等の障害物を避ける動作は困難であり、緊急停止の原因となるため、出退勤時に人間が障害物を除去すること
 - ・積雪がないこと：積雪時はタイヤのスリップが発生し特殊な運転操作が必要なことから、現段階では積雪時の対応は困難であると考えている
 - ・わだち対策：幅員と制御精度に余裕がある場合には、走行位置をずらす制御を組み込むが、わだちが深くなってきたときは機械で整備すること



想定する林道の状況

- ・林道内走行速度：有人・隊列走行 20km/h、自動運転 10km/h
- ・積込場所：山土場
- ・積込方法：固定式グラブブルやフォワーダ等での有人積込
(自動運転では山側の作業員、隊列走行では運転手に対応)
- ・積下場所：中間土場(林道内)
- ・積下方法：固定式グラブブルでの遠隔運転
(自動運転では山側の作業員、隊列走行では運転手に対応)
- ・公道自動走行：林道内に中間土場が存在するケースを想定し、公道自動走行はないものとする。

【以下は自動運転の場合の条件】

- ・走行危険箇所へのポール設置：軟弱路肩・路盤など、全幅員内であっても走行してはいけない箇所には、あらかじめポールを設置すること。



- ・SLAM による自己位置推定誤差のリセットのために、ある程度の間隔でマーカーを設置
- ・基本的に前進走行とし(バックギアでの長距離走行はできないこと、センサが前後に2重に必要なため)、方向転換は十分な転回場を確保して、切り返しまたは U ターンの走行軌跡を地図上に決め打ちすることで行う。必要に応じて、誘導用マーカーを設置する。
- ・現段階では、自動運転車 1 台のみの運用を考えているが、今後の課題として複数運用するにあたっては、上位の運行管理システムを開発し、単線線路の考え方で、待避所で待機⇒システムに待機完了通知⇒車車間通信にてすれ違い認識をシステムに通知⇒システムより発車許可といった形で対応することができると考える。
- ・通信環境：4G 圏内を想定するが、圏外の場合には無線 LAN を設置する

【以下は隊列走行の場合の条件】

- ・隊列走行時は前進走行のみとし、方向転換やバックは隊列走行モードを解除して、手動運転で行う。3 台が方向転換可能な転回場を確保すること。

iii.)実施主体の想定

・実施主体：北信州森林組合(長野県中野市)

通常は 10t トラックでの運材を行っているが、3 級規格の狭い林道や、観光道路・農道等で道を荒らすため 10t 車の使用が不能な場合に、2t ダンプでの小出しを行っている。

・保有する 2t ダンプの諸元

長さ：488cm、幅：188cm、高さ：249cm、最大積載量：2000kg、車両総重量：5305kg



フォワーダによる 2t ダンプへの積込



固定式グラップルによる 2t ダンプからの積下

・実証試験地の候補

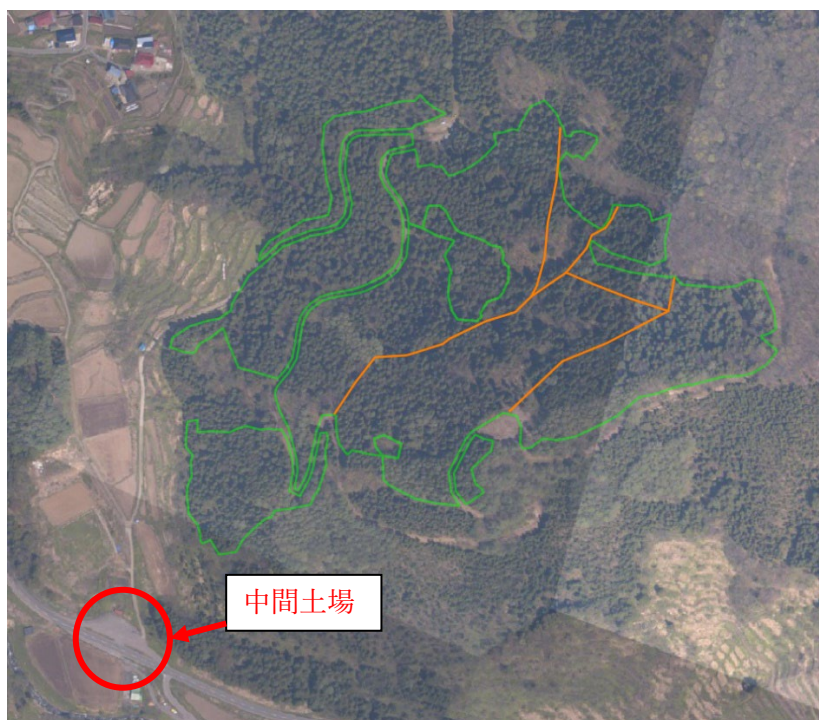
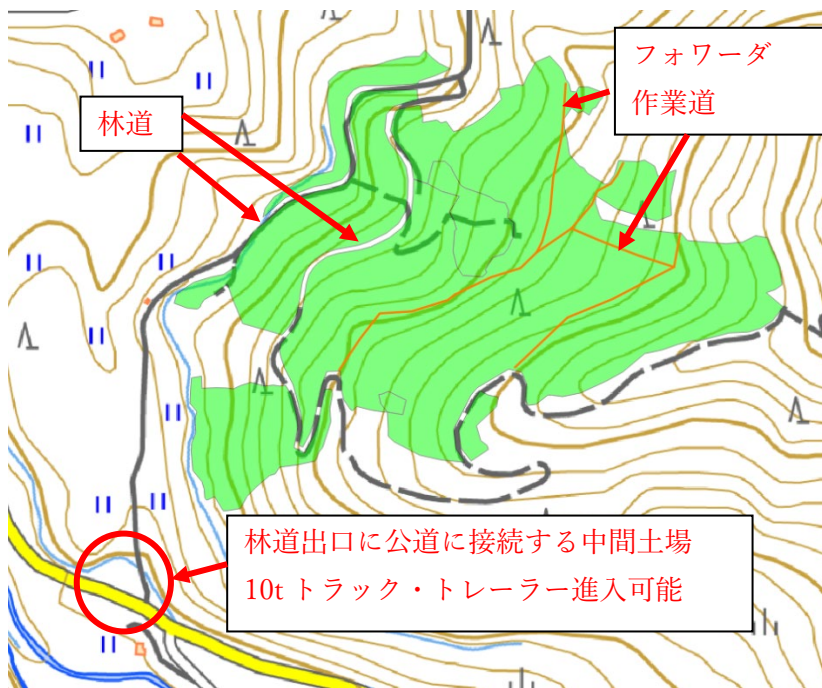
場所：長野県野沢温泉村 施業種：列状間伐 面積：10.97ha 出材量：670m³

施業実施時期：令和3年8月～10月

林道状況：幅員2.5m、大部分未舗装だが路面状況は良い

林道延長：現場までのアクセス370m+最奥部まで1660m=2030m

有人での走行速度：20km/h



3. まとめ

(1)自動運転技術等の導入事例や研究開発事例の収集

農業分野3件、土木分野2件、自動運転分野2件、海外分野3件、計10件の事例収集を行った。特に、林道におけるSLAMや画像認識の適用可能性(自動運転分野②、海外分野②③)、隊列走行における先頭車追従制御(自動運転分野①)、油圧ショベルの自動運転(土木分野①)は本案件を検討する上で重要な事例である。

(2)林業関係者のニーズ把握

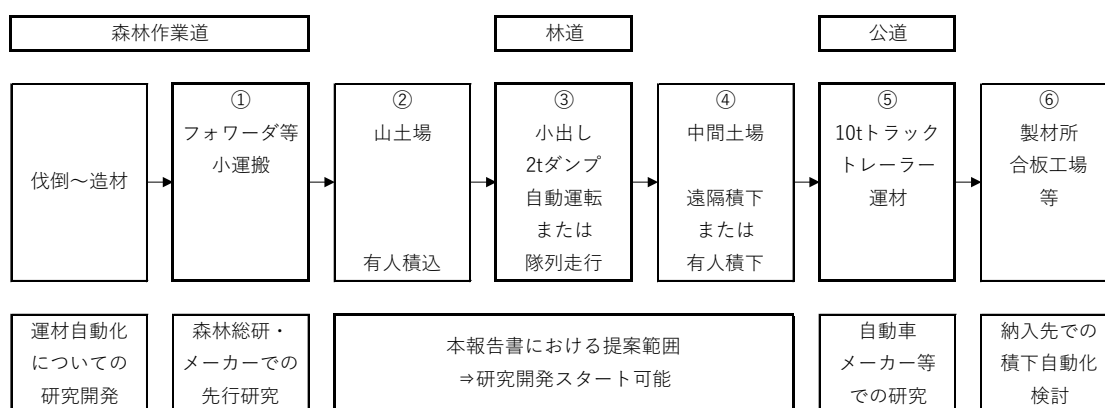
林業有識者1者、森林所有者2者、森林組合2者、林業事業者2者、木材市場1者、機械メーカー2者、計10者にヒアリングを行い、運材トラック等の自動運転・隊列走行及び土場等での積込・積下自動化についての課題やニーズを明らかにした。

特に、運送業界・林業界全体の人材不足や主伐への転換による運材量の増加から、自動化を求めるニーズは非常に強かった。インフラとして、林道やそこに至るアクセス道の拡幅・整備を求める声がある一方、道は仕方がないので、自動化によってトラックを小型化してはどうかという意見があった。投資回収期間としては、各社概ね5年で回収できれば導入を検討できるとのことであった。

(3)実証実験にむけた要件整理

要素技術・システムとしての実現可能性、および実際の現場条件における費用対効果を試算して検討を行った結果、林道～中間土場の小出しを、2tダンプによる自動運転または隊列走行で行う運材作業システムを実証実験の候補とした。

伐倒～納入先までの全体の流れを下図に示す。①～⑥までの運材工程のうち、本報告書では②～④の工程について自動化の提案を行った。この範囲については、現段階においても研究開発のスタートが可能であると考えられる。



運材作業システム自動化の全体の流れ