
令和2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予備調査)

-事業報告書-

2021年3月12日

株式会社シード・プランニング



Market Research & Consulting

SEED PLANNING



目次

1. 調査概要	2
1.調査目的・調査内容	3
2.調査期間・調査方法	4
2. 調査結果	5
1.一般的な自動運転技術の現状の整理	6
2.一般的な自動運転技術の現状の整理	28
3.林道や土場における自動運転の方向性	47
3. まとめ	51
1.調査結果の総括	52
2.次年度以降検討すべきこと	54
3.おわりに	55
4. 略語のまとめ	56
1.略語のまとめ	57



1.調査概要

1-1.調査目的・調査内容

➤ 調査目的

我が国の森林面積のうち約4割は人工林であり、森林蓄積は人工林を中心に年々増加している。人工林の半数が一般的な主伐期である50年生を超えており、資源を有効活用すると同時に、循環利用に向けて計画的に再造成することが必要である。また、森林は、木材の生産以外に、国土の保全、水源涵養、地球温暖化の防止等、公共性の高い多面的機能を持つ。森林を適切に整備・保全し、健全な森林を維持することは、これらの機能を持続的に発揮させるために必要である。

一方で、林業従事者数は、長期的に減少傾向で推移するとともに、平均賃金は他の産業と比較して低い。このような状況にあつて、ICT等の技術を利用して、林業の安全性、効率性を高めていくことが必要である。しかし、木材生産は年間約2600億円（2018年）と小さな市場であるため、林業分野の技術開発が民間主導で積極的に行われることは難しい。

以上の背景を踏まえ、林道における運材トラックの自動運転や、土場作業の自動化の実現性について調査を実施し、林道の特殊性等を踏まえた自動運転の課題整理を行い、今後の実証事業や実用化に向けて、施策立案に資する課題のとりまとめを行うことを目的とし、以下の調査を行う。

➤ 調査内容

1.自動運転技術の現状の整理

一般的な自動運転技術の現状について整理した。

2.林道の特殊性等踏まえた自動運転の課題の整理

1.で明らかになった現状を踏まえ、林道と土場作業の環境等を考慮した時に課題となる点を整理した。

3.林道や土場における自動運転の方向性の整理

上記1.、2.の結果を踏まえ、林道や土場作業で自動運転を行うための方向性について検討整理した。

1-2.調査期間・調査方法

- 調査期間：2020年9月～2021年3月
- 調査方法：文献・Web調査およびヒアリング。ヒアリング先を以下に示す。

	ヒアリング対象先	属性	実施日	場所	ヒアリング内容		
					1.一般的な自動運転技術の現状の整理	2.林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題	3.林道や土場における自動運転の方向性
1	名古屋大学 イノベーション戦略室 未来社会創造機構 モビリティ社会研究所 教授	自動運転有識者	2020/09/23	来社	✓	✓	✓
2	森林総合研究所 林業工学研究領域、森林路網研究室長 林業工学研究領域長	林業有識者	2020/10/07	訪問		✓	✓
3	東京大学 生産技術研究所 次世代モビリティ研究センター機械・生体系部門 教授	自動運転有識者	2020/10/21	訪問	✓	✓	✓
4	測量・三次元地図計測事業者	位置認識	2020/10/23	訪問	✓	✓	✓
5	通信事業者 研究開発部門	情報通信	2020/10/26	Web	✓	✓	✓
6	トラックメーカー	車両	2020/11/13	Web	✓	✓	✓
7	山梨県 森林環境部 治山林道課	地方自治体	2020/11/17	訪問		✓	✓
8	北海道 水産林務部 林務局 森林整備課 路網整備係	地方自治体	2020/11/19	来社		✓	✓
9	林業機械メーカー	林業機械	2020/11/20	Web		✓	✓
10	徳島県 農林水産部 農林水産基盤整備局 森林整備課	地方自治体	2020/11/25	訪問		✓	✓
11	測量・LBSセンシング事業者	位置認識	2020/11/27	Web	✓	✓	✓
12	林業機械メーカー	林業機械	2020/12/21	Web		✓	✓
13	自動運転車両運行プラットフォーム事業者	情報通信	2021/01/15	Web	✓	✓	✓
14	ロボット・自動運転・自律移動技術開発ベンダー	自律移動ロボット	2021/02/18	Web	✓	✓	✓



2.調査結果

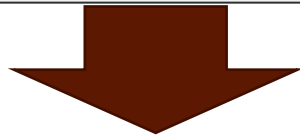
2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

①クルマ社会および社会構造の課題と、自動運転への取り組み

現在、クルマ社会においては、「事故削減」、「混雑緩和」、「環境負荷低減」などが課題とされている。また、社会全体の構造的な課題として、「過疎化と高齢化」、「労働力人口の減少」がある。これらを解決する手段として期待されているのが「自動運転」である。

■クルマ社会の課題および社会構造の課題

- ・交通事故による人命に関わる課題
- ・交通渋滞による経済損失（生産性の非効率さ）や環境負荷の課題
- ・過疎化と高齢化による移動困難者問題
都市部での人口集中によるクルマ利用の利便性や快適性低下の問題
- ・労働力人口の減少による輸送事業の担い手（ドライバー）不足の課題
ネットショッピングの拡大による輸送物の小口化、多頻度化による輸送事業への負荷増大



■課題に対して・・・

- ・事故や渋滞といった社会的負荷ゼロを目指す挑戦
- ・自由な移動、効率的な物流を追求し、社会を支えるクルマの進化への限りない挑戦

⇒この挑戦目標は、「自動運転技術」だけで達成するものではないが、達成に向けて重要な役割を担う技術である。

- ・事故や渋滞の原因である「ちょっとした不注意」や「車間距離や速度維持のムラ」といわれる事象に対して、ADAS*が有効である。ADASは、渋滞解消に向けた、道路利用や運行効率の向上にも有効である。
- ・自由な移動や効率的な物流に対しては、運転に対する不安・苦手の意識や不便さの解消、また長距離運転の負荷軽減、省力化など運転操作の自動化を含めた技術の進化で対応すべきと考える。

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

②自動運転の実現による効果

クルマ社会および社会構造の課題に対して、自動運転の実現によりもたらされる主な効果として、以下の内容が考えられる。

効果	内容
①渋滞の解消・緩和	渋滞時に自動で最適な車線や車間を選んでくれるのでスムーズに走行できる。
②交通事故の削減	自動で周辺車両や前方の状況を確認して、危険を回避してくれるので安心。
③環境負荷の低減	運転がスムーズなので、燃費がよく環境にやさしい。
④高齢者等の移動支援	自動運転のおかげで、遠出も可能になり、行動範囲も広がる等高齢者の安全な移動手段の確保。
⑤運転の快適性の向上	疲れにくくて、長距離移動も快適にできる。

上記①～⑤の効果に加えて、特に林業分野で期待される効果。

担い手不足（特にドライバー）への対応

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

③自動運転を取巻く背景と、今後の展望/ CASEトレンドとMaaS社会の実現

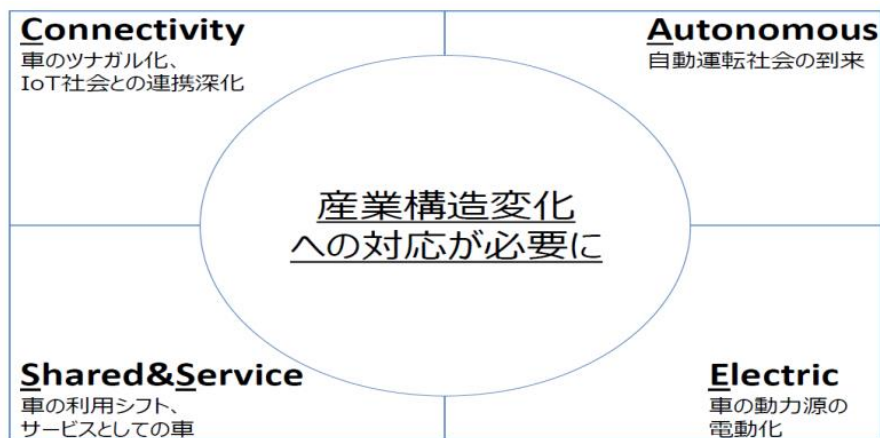
IoT*、ビッグデータ、AIの技術進展により、産業・分野の壁を超えたデータの利活用によるビジネスモデルの変革ならびに第4次産業革命による技術の革新を踏まえて、「Society5.0*」を実現していくため、様々な繋がりによって新たな付加価値の創出や社会課題の解決が目指す取組みが展開されつつある。

第4次産業革命の波はモビリティの分野にも到来し、コネクティッド・自動運転技術と、新たなIoT、AIを活用した新しいモビリティサービスが拡がると予測できる。今後の10年間の動きが重要であり、移動の形態から都市の機能デザイン、関連産業の在り方まで、社会全体が大きく変わる可能性が高い。

自動車業界では、今100年に一度のパラダイムシフトが到来しており、「CASE」（ケース）トレンドといわれる。米国フォード・モーターが、1908年に自動車の大量生産を始めて以来のインパクトである。

「CASE」（ケース）は、Connectivity（つながる）、Autonomous（自動）、Shared & Service（所有から利用やサービス）、Electric（電気・電動化）の頭文字をとったものである。

◆CASEトレンド（クルマの未来が変わる）



出典：経済産業省製造産業局自動車課資料

*IoT（アイオーティー）：Internet of Thingsの略。多種多様な「モノ」がインターネットに接続され、相互に情報をやり取りすること。

* Society5.0：狩猟社会（Society 1.0）、農耕社会（Society 2.0）、工業社会（Society 3.0）、情報社会（Society 4.0）に続く、新たな社会を指すものでサイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）のこと。

2-1. 一般的な自動運転技術の現状の整理

③ 自動運転を取巻く背景と、今後の展望/ CASEトレンドとMaaS社会の実現

モビリティは広義には、人やモノの移動から、情報の移動まで広く用いられるが、クルマによる人の移動にフォーカスした場合、都市部での交通渋滞や、バス・トラック・タクシーなどサービスドライバーの不足、環境負荷低減対策が課題であり、地方における交通自動弱者の増加などの課題解決が急がれるが、これらの課題解決に繋がるサービスとして、MaaS（マース）への注目が広がっている。

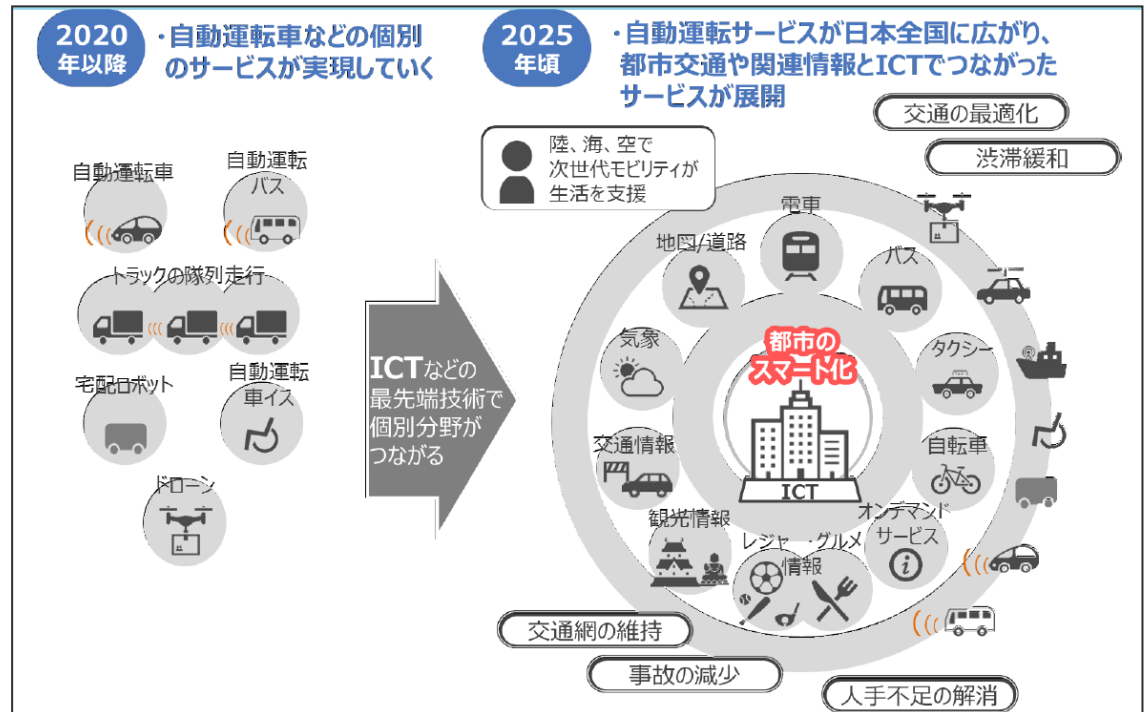
◆ MaaS（Mobility-as-a-Service）について

MaaSとは、スマートフォンから、電車やバスはじめカーシェア、レンタサイクルなどの移動手段を検索し、予約から支払いまでスムーズに行えるため、ユーザーの利便性向上や移動の効率化が図られる移動サービスのこと。ICTの進化により新しく出現したサービスと定義付けられる。

すでにヨーロッパでは本格的な取り組みがスタートし、日本でも、鉄道会社などが中心となって取組まれつつある。

従来から、例えば「箱根フリーパス」のように、箱根登山鉄道や箱根登山バス、ケーブルカーやロープウェイ、芦ノ湖遊覧船など、多様な乗り物が乗り放題で、箱根周辺の温泉や観光施設などのスポットが優待や割引料金になるお得な切符があるが、これに、スマートフォンアプリを連動させて、経路案内、乗換え時刻表の検索、観光施設の予約や決済をシームレスに実現させる付加価値を付け、最適な移動手段を提供を実現することが、「MaaS」の展開例と言える。

◆ 自動運転とモビリティサービスの融合、MaaS社会の実現



出典：経済産業省製造産業局自動車課資料

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

④自動運転レベルの定義とロードマップ

自動運転レベルは、SAE*（米国の自動車技術者協会 Society of Automotive Engineers）が以下のように定義している。レベル1、2は、ADAS（先進運転支援システム）として、現状 ACC*機能（定速走行・車間距離制御装置）、縦列駐車アシスト、自動緊急ブレーキ、レーン・キープ・アシスト（車線維持支援）がすでに導入されている。今後、2030年に向けて、高速道路での自動運転や、地域限定の移動サービスなどバス・トラック・タクシーなどの「サービスカー」を中心にレベル4の実用化が進む見通しである。一般公道を含むマイカーの自動運転のロードマップはまだ不透明と言える。

◆自動運転レベルの定義 SAE J3016（Sep2016）

SAEレベル	適用	概要	安全運転に係る監視、対応主体
レベル0	運転自動化なし	運転者が全ての操作を行う、一般的な自動車。	運転者
レベル1	運転支援	ハンドル・アクセル・ブレーキ操作のうち、1つを自動化したもの。車線逸脱時のステアリング補正機能、あるいは先行車との距離を一定に保つための自動スピード調整機能のいずれかが備わっており、一般的には「安全運転支援システム」と呼ばれている。	運転者
レベル2	部分運転自動化	ハンドル・アクセル・ブレーキ操作のうち、複数を自動化したもの。車線逸脱時のステアリング補正、先行車との距離を一定に保つための自動スピード調整の両機能が備わっており、レベル1同様「安全運転支援システム」と呼ばれている。	運転者
レベル3	条件付運転自動化	高速道路など特定の場所で全ての運転を自動化するが、緊急時は運転者の操作が必要となるもの。実際に「自動運転」と呼ばれるレベルで、緊急時やシステムの動作が困難となった場合以外、全ての操作を自動で行う。	システム（作動継続が困難な場合は運転者）
レベル4	高度運転自動化	一定の環境や条件下で、全ての運転を自動化したもの。基本的にはレベル3と同じだが、緊急時にもシステムが自動対応し、運転者の操作は必要ない。	システム
レベル5	完全運転自動化	全ての運転を自動化したもの。条件に関わらず運転に関わる全ての操作を自動で行う。	システム

* ACC : Adaptive Cruise Controlの略、アダプティブ・クルーズ・コントロール 車間距離制御装置のこと。

* SAE : 米国の自動車技術者協会 Society of Automotive Engineersのこと。1905年設立。航空宇宙、自動車、商用車業界の12万人を超える技術者や研究者で構成されており、学会や展示会の開催、標準化や規格の制定などを行う。

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑤ヒアリング結果

一般的な自動運転技術の現状について、ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- やれる所で、使える技術を選択して、実証実験を行っている段階。
- 現時点では、人が入ってこないとか、信号がないということが基本となる条件。今後技術が進歩するにつれて、少しずつ走らせる環境を複雑にしていくことは考えている。
- レベル5といわれる「どこでもどんな時でも自動運転できる」状態は、人工知能が人間の知能に匹敵するようにならなければ難しいのではないかと。
- ODD*（運行設計領域）といって、自動運転ができる条件を定めて、その中で自動運転を行っている。ODDは技術オリエンテッドで定められていて、ニーズから定められるわけではない。
- この度道路交通法が改正されて、レベル3の自動運転車が市販で公道を走ることができる。今年中に型式認定がとれるといわれている。ODDの制限は、高速道路の低速・人や障害物がない・センサの性能から50～60km/hであり、渋滞時がこの条件に当てはまる。
- 現状走らすだけなら走れる。サービスできないレベルではないが、トラブルやリスク対応が重要であり、保険等の組み立ても必要。
- 自動走行は2種類あり、一つは自動車会社が行っている自動走行車両を販売すること。もうひとつは、タクシー会社やバス会社が行おうとしている、サービスとしての自動走行。サービスの方は先行して始まっている。ここまで5-6年かかった。
- 通信は遅延もあるし、品質が悪くなったりもする。通信は元々もしも、はいはい、のためのもので、遠隔自動運転に使われるような設計にはなっていない。そういったものがどれぐらい使えるのか、今後どうしていかなくてはいけないのか、というところを研究している。
- 自動運転は、持って来てぼんと走っていると思われがちだが、スムーズに運転しようと思ったら、そこそこ準備がいる。例えば、走行経路を設計しておく。何回か走って、カーブの曲がり方やどれぐらいのスピードで曲がるか、一番スムーズになるようにチューニングする。そういった事前の準備が必要。

* ODD : Operational Design Domainの略。運行設計領域のこと。自動運転システムが作動する前提となる走行環境条件で、自動運転システムごとに条件を設定し、すべての条件を満たす際に自動運転システムが正常に作動する。

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑥技術要件

自動運転システムは人が運転する時と同じ様に、以下のとおり「認知」「予測・判断」「操作」を繰り返す。

認知

自車の位置、挙動、周辺環境を認知する。
環境センシング（センサ）と地図（マップ）が
2大要素である。

- 自車の位置を認知する（自己位置推定）
 - ・GNSS*で座標として認識する。
 - ・周辺環境のマップと、走行中にセンサで撮影した周辺の様子を照らし合わせることで、自車がマップの中のどこにいるのか認識する。
 - ・走行中にマップ作成と自己位置推定を同時に行う技術をSLAM*（Simultaneous Localization and Mapping）という。
- 自車の挙動を認知する
x,y,z軸の加速度と角速度を計測する6軸センサ（IMU：Inertial Measurement Unit（慣性計測ユニット））で計測する。
- 周りの環境を認知する（障害物認識）
 - ・センサで測量した結果、地図にないものは障害物と認識する。
 - ・センサを用いて、周辺にある障害物の形状や距離を把握する。

予測・判断

認知結果から、次に何をすべきか予測・判断する。

- 予測アルゴリズム
周辺を走っている他の自動車等の障害物の動きを予想する。
 - 意思決定アルゴリズム
予測に基づいて、適切な経路を選択しどのような操作をするのか決定する。
- これらの結果から、経路計画と追従を行う。

操作

車両を制御する。

- 計画された経路に沿って走るために、車両への制御信号を生成。
- アクセル・ブレーキ・ステアリングをプログラムで動かす。

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑥技術要件

センサとは、自動運転において外部の環境を認識するために車両に搭載されているもので、現在様々な種類のセンサが利用されている。

自動運転に使用するセンサを以下に示した。

各センサにはそれぞれ長所と短所があり、どのセンサをどこに使用するか、どのような組み合わせで使用するかが、自動運転の条件によって異なる。

	測定原理	測定できるもの	現在の利用用途
ミリ波レーダ	ミリ波（周波数帯が30GHz～300GHzの電磁波）の発信した電波と返ってきた電波の差分	対象物までの距離と方向 光を自分から発するため、外乱に強い。 直線性が強いので、雨や雪が降っている悪天候に強い。 光源や天候に左右されず良好な検出特性を維持できる。 物体の識別は困難。 電波の反射率の低い物体の検出が難しい。	先進運転支援システム（ADAS : Advanced Driver-Assistance Systems）の前者追従
LiDAR	赤外線レーザー光の往復時間	対象物との距離を計測する。 光を自分から発するため、外乱に強い。 電波の反射率が低い物体も検出できる。 豪雨、豪雪、霧などの悪天候時に検出性能が低下する。	周辺の物体の検出 マップのどこにいるのか、自車位置の推定
超音波センサ	音波の往復時間	対象物との距離。ミリ波レーダに比べて直進性が低いので、計測距離は10m程度まで	自動駐車など低速域における周辺の距離センサ
カメラ （可視光）	光（色）	取得画像から物体を認識 ステレオカメラを使った場合、距離の計測が可能 直射日光や対向車のヘッドライトが直接カメラに当たる場合、画像の白飛びや逆に明るいところに焦点をあてるとその周りが暗くなってしまい画像が取れないなどのケースがある。	障害物認識 画像認識にも使用できる。
GPSセンサ	衛星から受信する信号からセンサの緯度・経度を計測する	自己位置の座標	単独のGPSセンサを使った自己位置の推定 より高精度な補正情報を加味したRTK方式やGNSSという衛星受信方式もある。
加速度・ジャイロセンサ・IMU	加速度センサは、3軸（x,y,z軸）における加速度を、ジャイロセンサは、3軸における角加速度を計測するセンサ		デッドレコニングと呼ばれるような、加速度やジャイロセンサの計測値から移動経路を推定する手法に活用されている。

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑥技術要件

センサについて、ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- 障害物の認識は、ライダー、カメラ、ミリ波、超音波など、色々なセンサがあり、それぞれ特徴がある。一長一短で、ひとつのセンサでは十分ではない。自動ブレーキで実用化しているものも、カメラか、ライダーか、ミリ波かという話がある。あくまで安全運転支援装置で見落としはあると割り切っているので、ひとつのセンサでやっている。無人運転がやりたいなら、複数のセンサを使う必要がある。
 - 測定できる距離は、ミリ波が一番遠くまで認識できるが、価格が高い。
 - カメラは安いし汎用性があるが、逆光や夜間に弱い。
 - 今は、ライダーが一番使いやすいと言われているが、遠くまで飛ばない。反射物なら認識できるが、認識できないものがある。
-
- ライダーはレーザー光の反射の時間差で読んでいる。雨や雪で、散乱され、エラーになることがある。
 - 必要なところは高額なセンサーを付けるが、同じ行程をぐるっとまわるようにして、バックすることがないようにするなら、後ろのセンサは省く、もしくは安いものにすることができる。
 - センサは一台一台に複数乗せなければならないので、価格が重要である。

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑥技術要件

マップについて、ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- 自動運転に使用するマップには、道路やその周辺環境の3Dマップ、高精度3Dマップに道路交通に関する情報を付加した「ダイナミックマップ」などがある。GNSSの座標で記録した走行ルートも広義のマップといえる。
- 地図の国際的な基準は統一はされていない。戦国時代。国家の安全保障の面もあるので、国際的な統一は難しいのではないか。
- 日本の高速道路はすべて地図ができています。高速道路の構造物の地図を作っている。高速道路の構造物以外のものは考えていない。高速道路の保守メンテナンスの必要性から整備された。
- 自動運転車が増えれば、保持している地図と比べて変化したところを発見した車がフィードバックするような仕組みを作ろうという動きもある。
- 地図のフォーマットは、地図会社によって違う。自動運転をしたい企業は、地図会社から地図を買い、必要に応じてデータを追加したり、フォーマットを変えて使用する。
- 地図の更新を何年にすべきか、議論がある。地図は公共性が高いから、国の予算でやるのがよい。しかし、予算が付いた時に整備しても、更新の費用も出るのか、どこが責任をもつのか、という問題がある。

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑦課題のまとめ（技術の課題）

自動運転の方式は、車載カメラやセンサーで周辺環境の認識を行う「自立型」と、路車間通信などを利用して、周辺や広域情報と連携し環境認識を高度化させた「協調型」に区別できる。

レベル4、5の実現に向けて、一般的な自動運転の技術課題は以下の通りである。

技術の課題

- 周辺環境認識の高度化
カメラ等の各種センサの機能強化およびITS*の進化により、自動車単体の機能強化に加えて、路車間・車車間・路路間・歩車間の通信システムの導入が求められる
- 高精細3D地図の整備と高精細測位衛星（準天頂衛星システム）の運用
交通事故を防ぐ上で人工知能（AI）と並び、次世代の高精度な3D地図の整備と高精細測位衛星による自己位置認識精度の向上が求められる
- 無線通信ネットワークの高度化
コネクテッドカーなどクルマのIoT化の進展に向け、超高速大容量、超低遅延、超高信頼性の特性を有する5Gネットワークの構築が必要である
- 危険予知AIの高度化
現時点のAIでは、ボールが道路に飛び出しても、続いて子供が飛び出してくることは予測できないため、突発イベントに対する次の予測が求められる
- 信号識別技術の確立
カメラによる信号機の識別では、制御が間に合わない可能性のあり、信号機の情報を事前に取り込み制御判断する仕組みが求められる
- 電子部品の発展
カメラ、Lidar、ミリ波レーダーなどの小型化・低価格化およびセンサの測定可能距離の拡大、解像度向上が求められる
- 自動運転とマニュアル運転の切り替え警告のシステム化
高速道路から一般道へ移る際のシフトチェンジのあり方の検討が必要である
- サーバーセキュリティ対策の整備
自動運転システムの通信ネットワークへのサイバー攻撃を防ぐため、ジュネーブの「国連自動車基準調和世界フォーラム」で、国際的なサイバー対策の基準の策定について、自動運転技術の開発が進む日本とドイツが主導して検討されつつある

* ITS : Intelligent Transport Systemの略。高度道路交通システム

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑦課題のまとめ（技術以外の課題）

自動運転の課題について、前述の技術課題以外に、制度面、企業（ビジネス）面、運用面において、以下のような検討すべき課題が考えられる。

制度の課題

- 道路交通条約に基づく道路交通法の規定
ドライバーの義務などを決めた国際的合意として、ジュネーブ道路交通条約（1949年）、ウィーン道路交通条約（1968年）があり、日本はこれをもとに道路交通法が制定されている。「あらゆる走行中の車両や連結車両には、運転者がいなければならない」と規定されて、レベル3以上の自動運転を実現するための制約条件となっている。
- 事故時の責任所在の明確化
SAEレベルでは、レベル0からレベル2は、安全運転に係る監視や対応主体は、「運転者」と規定し、レベル3では、基本は「システム側」で作動継続が困難な場合は「運転者」、レベル4、5では「システム」と規定しているが、「システム」について、自動車メーカーか、システム開発側か、事故原因の特定や責任所在を明確化すべきである。

企業の課題

- 競争領域、共通領域いずれにも取り組むことが必要
- 国際標準化が必要
- 自動車メーカーとICT業界等の異業種との連携
- 自動車保険制度の変更
自動運転の車が事故を起こした際の責任の所在と保険でカバーできる範囲を検討することが必要
- 新ビジネスモデルの構築
自動運転を実現する前提となるインフラ整備のコストをどこが負担するのか

運用の課題

- 自動運転の社会からの受容性
移動時間を有効に使いたい人や運転する楽しさが減少することを許容する人の増加が必要
- プライバシーの問題
自動運転車が周辺環境認識に用いる歩行者、自転車、周囲の住宅等の情報の取り扱い
- 交通体系での位置づけ
自動運転専用車線を設ける等の対応や道路インフラの整備
- 運転免許証の発行や運用基準

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑧実証事業の取り組み

2030年に向けて、地域限定の移動サービス、バス・トラック・タクシーなどの「サービスカー」を中心にレベル4の実用化が進む見通しであり、現在、実証事業が多数行われている。その一例を下表に示し、それぞれの概要を次頁から記載した。

サービスカー	実証事業
フォワーダ	森林総合研究所 遠隔操作機能と自動走行機能によるフォワーダの操作支援技術の開発（2017年）
林業用クレーン	助手席でVRゴーグルの3D映像を見ながら、クレーンを操作でき、作業者の安全性や快適な作業環境の確保する。カーゴテック・ジャパンが提供（2019年12月）
小型カート・小型バス	国土交通省「ラストマイル自動運転」車両技術の開発の推進（2020年度）
トラック	UDトラックス、日本通運、ホクレンが、国内初、一部公道を使用した大型トラックによるレベル4技術の自動運転実証実験を北海道で実施（2019年8月）
ダンプカー	ダム建設現場で大型ダンプトラックを自動運転、日野自動車と大林組が実証実験（2020年11月）
路線バス	自治体×自動運転バス、定常運行「国内初」は茨城県境町、BOLDLYとマクニカが協力。（2020年11月）
無人フォークリフト、AGVなど	ZMPが、物流支援ロボCarriRo・無人フォークCarriRo Fork、バース管理システムと連携 トラック入出庫と倉庫・工場間の無人搬送を実現（2021年1月）
貨物運搬牽引車	ZMPが、成田国際空港における自動走行貨物牽引車の実証実験、貨物運搬の自動化への取り組み。（2020年11月）

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑧実証事業の取り組み（フォワーダ）

◆森林総合研究所 遠隔操作機能と自動走行機能によるフォワーダの操作支援技術の開発（2017年）

積載型集材機械であるフォワーダの運転と操作は、車両からの振動・騒音が激しく、長時間にわたることから運転手への負担が大きい作業であり。作業道にはガードレールもなく、道からの逸脱、転倒した場合に重大災害へ直結する危険もある。

このような作業環境下におけるフォワーダ運転手の労働負担を低減させるため、フォワーダに人が搭乗せずに快適な屋内から運転と作業のすべてを遠隔操作できる技術を開発した。さらに、フォワーダに自動走行する機能を付加することで、運転操作からも運転手を開放した。ただし、自動走行機能は、全球測位衛星システム（GNSS）を利用しているため、森林内では利用可能な場所が限定される。そのため、GNSSによる測位精度が十分に確保できる場所では自動走行し、測位誤差が大きい場所では遠隔操作と切り替えてフォワーダを操作。開発したフォワーダを用いて実証試験をした結果、遠隔操作は搭乗操作に比べ作業能率が半分程度に落ちるものの、快適性、安全性等に関して被験者から高評価が得られた。また、自動走行試験では、車幅の半分以上の制御誤差が確認され、作業道の幅員を広くとる必要があること、幅員が確保されれば、搭乗運転時と同じ走行速度で自動走行が可能であることが分かった。これらの結果から、遠隔操作および自動走行機能を有するフォワーダは運転手の労働負担を低減させる効果が十分にあり、その導入は集材作業に有効と考えられる。



写真：遠隔操作と自動走行機能が付加されたフォワーダ

出典：森林総合研究所HP <https://www.ffpri.affrc.go.jp/research/saizensen/2017/20170405-01.html>

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑧実証事業の取り組み（林業用クレーン）

- ◆助手席でVRゴーグルの3D映像を見ながら、クレーンを操作でき、作業者の安全性や快適な作業環境の確保する。（2019年12月）

本来木材運搬を目的とした林業用クレーンはトップシートで操作するものであるが、このHiVisionはトラックキャビンの助手席へ移動し、そこにあるVRゴーグルの3D映像を見ながら手元にある2本のジョイスティックでクレーンを操作して、原木の積み降ろし作業ができる。カーゴテック・ジャパンが提供している。

作業者の安全性や快適な作業環境の確保は、林業界全体で考えていかねばならない問題であり、この製品を通して、クレーンへの昇降時の転落、蜂などの虫や野生動物との遭遇、真夏や真冬の過酷な気候条件から林業従事者を開放し、エアコンの効いたトラックキャビン内での快適な労働環境を用意することができる。

林業のスマート化は日本林業における共通の課題として、IoT、ICT技術を活用した山林、木材情報のデジタル化や生産性向上に向けた研究がされている。『HiVision』の技術を更に発展させれば、カメラ映像の解析と数種のセンサーからの情報により、運搬する原木の直径や重量等の情報をデータとして自動収集する事ができ、大幅な省力化、生産性の向上が図れると考えられる。



車動するクレーンをトラックキャビンの助手席から操作する。トラックから出ることなく原木の積み込みが完了する。



積み込み作業時は、ジョイスティック型のコントロールで直感的なオペレーションが可能。

出典：フォレストジャーナル <https://forest-journal.jp/tools/23645/>

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑧実証事業の取り組み（小型カート・小型バス）

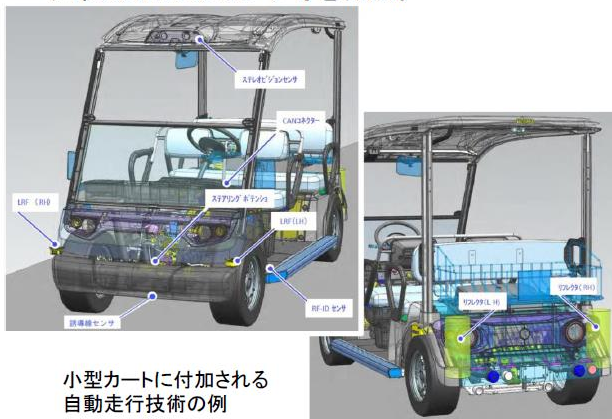
◆国土交通省「ラストマイル自動運転」車両技術の開発の推進（2020年度）

最寄り駅から自宅や病院までの最終目的地を自動運転による移動サービスでつなぐ「ラストマイル自動運転」の実現に向けて地元の運行事業者による6か月程度の長期のサービス実証を進めている。

- 2020年度にラストマイル自動運転による移動サービスを実現するため、経済産業省と連携し、**車両技術の開発を推進**。
- あわせて、**車両技術の開発状況に応じ、安全性を検証**（保安基準への適合性の確認、基準緩和措置における安全性確保の検証等）。

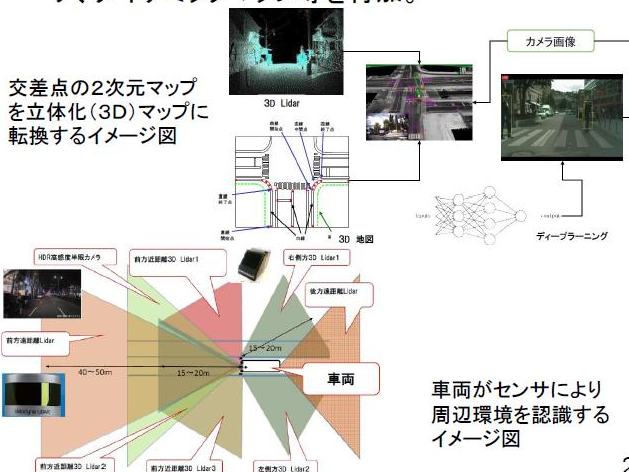
小型カート

- 既存の電動カートを改造し、自動走行に必要な技術を付加。
- 具体的には、誘導線検知、障害物対応、前走車追従のためのセンサ等を付加。



小型バス

- 既存の小型バス車両を改造し、自動走行に必要な技術を付加。
- 具体的には、周辺を広範囲に認識するためのセンサ、ダイナミックマップ等を付加。



2

出典：国土交通省資料 <https://www.mlit.go.jp/common/001178889.pdf>

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑧実証事業の取り組み（小型カート・小型バス）

◆国土交通省「ラストマイル自動運転」実証実験の実施

●ラストマイル自動運転に必要な**車両技術**について、**地域特性・車両の種類に応じた実証実験の実施を通じて検証**を行う。

①【市街地モデル】石川県輪島市
（小型カート利用）



②【過疎地モデル】福井県永平寺町
（小型カート利用）



③【観光地モデル】^{ちやたん}沖縄県北谷町
（小型カート利用）



④【コミュニティバス】茨城県日立市
（小型バス利用）



出典：国土交通省資料 <https://www.mlit.go.jp/common/001178889.pdf>

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑧実証事業の取り組み（トラック）

- ◆UDトラックス、日本通運、ホクレンが、国内初、一部公道を使用した大型トラックによるレベル4技術の自動運転実証実験を北海道で実施（2019年8月）

UDトラックスは、レベル4技術を用いた大型トラックによる自動運転の実証実験を公開した。本実証実験は、ホクレン中斜里製糖工場において、砂糖の原料となるてん菜の運搬業務を想定した走行を、5段階の自動運転レベルにおけるレベル4（特定条件下における完全自動運転）技術の自動運転トラックで再現することで、物流の現場で深刻化するドライバー不足の解消に向けたソリューションの一例を提示することを目的として実施した。また本実験では、実際の運搬に近い環境を再現するため、国内初となる公道を一部含むルートでの試験走行を実施、自動運転トラックの実用化へ向け一歩前進した。

本実験ではUDトラックスの大型トラック「クオン」をベースに開発された車両を使い、RTK-GPS（リアルタイムキネマティック全地球測位システム）や3D-LiDAR、ミリ波レーダー、操舵アクチュエーターなどの自動運転技術を駆使し、およそ1.3キロの運搬ルート（公道、舗装道路、未舗装道路を含む）を時速20キロで自動走行した。UDトラックスは2018年、次世代技術ロードマップ「Fujin & Raijin（風神雷神）——ビジョン2030」を発表。自動化の取り組みをロードマップの柱の1つとして位置づけ、2030年までに完全自動運転トラックと大型電動化トラックの量産を目指している。



出典：日本通運ニュースリリース <https://www.nittsu.co.jp/press/2019/20190829-1.html>

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑧実証事業の取り組み（ダンプカー）

◆ダム建設現場で大型ダンプトラックを自動運転、日野自動車と大林組が実証実験（2020年11月）

日野自動車と大林組は、大型ダンプトラックによる自動運転（レベル4相当）の実証実験を川上ダム（三重県伊賀市）建設現場で11月1日から1か月半実施。建設業界では、現場作業員の高齢化や就労人口の減少による労働力不足、夜間や単調作業の生産性向上などの課題を抱えている。日野自動車はこれらの課題解決に向け、車両の自動化などのCASEを活用したソリューションの実現をめざしている。一方、大林組は省人化や生産性向上といった課題を解決すべく、建機の自動化や自動建機群を一元管理するプラットフォームの構築をめざし、建設現場のロボティクスコンストラクションを推進。今回の実証実験では、夜間の建設現場で稼働する現場内の搬送ダンプに、自動運転車を1台導入。

使用車両は大型トラック、日野『プロフィア』をベースとした自動運転技術搭載モデル。約1.3kmを最高30km/hで走行する。走行位置や経路は、GNSSデータ、カメラ、LiDARで把握し、前走車がいる場合は全車速ACCで安全な車間距離を保ち、人および障害物を検知すると停止。実証実験では安全を最優先し、システム監視者が乗車する。

走行ルートは、日々採取先が変わるコンクリート骨材ヤードの位置に応じて設定する。狭いカーブや悪路、急勾配も含み、有人ダンプと混在した現実的な環境下での実証実験を実施。運行への影響を検証し、全車自動運転車だけの運用を検討するとともに、建設現場の自動化に向けた建機連携のためのデータ取得を行う。

両社は今回の実証実験の結果を踏まえ、今後は荷積み・運搬・荷降ろしまで一貫したオペレーションや、複数台の自動運転車を活用した現場における運用の新たな構築をめざし、開発や導入に向けた実証を検討。



出典：日野自動車株式会社ニュースリリース <https://www.hino.co.jp/corp/news/2020/20201027-002717.html>

*この成果は、狭いカーブや悪路、急勾配も含み、林道に自動運転への展開に活かせる実証実験と考えられる。
周辺の環境等にもよるが、林道を敷設する際の土砂の運搬を自動化することで、工事費削減の効果が期待できる。

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑧実証事業の取り組み（路線バス）

◆自治体×自動運転バス、定常運行「国内初」は茨城県境町！BOLDLYとマクニカが協力（2020年11月）

茨城県境町では自動運転バスとして仏Navya（ナビヤ）社製の「NAVYA ARMA」が使用されている。NAVYA ARMAはNavyaの国内総代理店であるマクニカを通じて3台導入したもので、当初はうち1台で、平日の午前10時から午後3時半まで8便を無料運行するという。

定常運行でBOLDLYは、自動運転車両運行プラットフォーム「Dispatcher」を使い、複数の自動運転車両の運行を遠隔地から同時に管理・監視する。ちなみに同社は運行開始に向け、ルートを選定・設定や3Dマップデータの収集、センサーや車両の設定も担当した。

マクニカはNAVYA ARMA導入の橋渡し役となっただけではなく、今後の車両やシステムのメンテナンスなども担い、技術面から自動運転バスの安全運行を支援する。

移動に関するさまざまな課題を抱える自治体は多い。高齢化地域では免許返納後の住民の足が課題となっているものの、頼りの公共バスも赤字続きで廃止となるケースもある。こうした課題の解消につながると期待されているのが自動運転バスである。



出典：BOLDLYプレスリリース https://www.softbank.jp/drive/set/data/press/2020/shared/20201125_01.pdf

2-1.一般的な自動運転技術の現状の整理

⑧実証事業の取り組み（無人フォークリフト、AGV*など）

- ◆物流支援ロボCarriRo・無人フォークCarriRo Fork、バース管理システムと連携 トラック入出庫と倉庫・工場間の無人搬送を実現（2021年1月）

株式会社ZMPは、物流ロボットのCarriRo®シリーズとバース管理システムを連携し、トラックの入出庫と倉庫・工場間の無人搬送を実現。その一環として、物流効率化ICTソリューション「LogiPull®（ロジプル）」を提供する株式会社シーイーシーと、バース管理システムの連携に関する新サービスの開発で協業。今後両社は物流現場の人手不足解消のため、ICTを活用した省人化や自動化に向けた共同開発に取り組み、随時サービスを提供していく。

ZMPは物流ロボットとして、台車型物流支援ロボットCarriRo、無人フォークリフトCarriRo Fork、無人けん引車CarriRo Tractorを展開し、共通のクラウドプラットフォームであるROBO-HI®（ロボハイ）ロジマネで一元管理することで、倉庫・工場内におけるあらゆる搬送シーンを無人化するソリューションをワンストップで提供している。



出典：ZMPプレスリリース https://www.zmp.co.jp/news/pressrelease_20210114

2-1. 一般的な自動運転技術の現状の整理

⑧ 実証事業の取り組み（貨物運搬牽引車）

◆ 成田国際空港における自動走行貨物牽引車の実証実験、貨物運搬の自動化への取り組み。（2020年11月）

丸紅株式会社とZMPの合併会社であるAiRO株式会社が国土交通省航空局主催の「空港制限区域内の自動走行に係る実証実験」に参加、ZMPが開発した自動運転EVけん車CarriRo® Tractor 25Tを用い、成田国際空港第2ターミナル本館からサテライトおよび駐機場までの区間を、運搬用コンテナ4台を牽引して自動走行。さまざまな業界で課題となっている労働者不足の解決策として、また昨今の人手を介さずに業務を行うニーズの高まりに対し、貨物運搬の自動化についても期待が高まっているという背景がある。ZMPはコンピューター制御が可能な自動運転EVけん引車CarriRo Tractorを開発し、ZMPの自動運転の頭脳となるIZACを搭載、無人の状態でも最大25tの貨物けん引を行う自動運転車両として提供している。

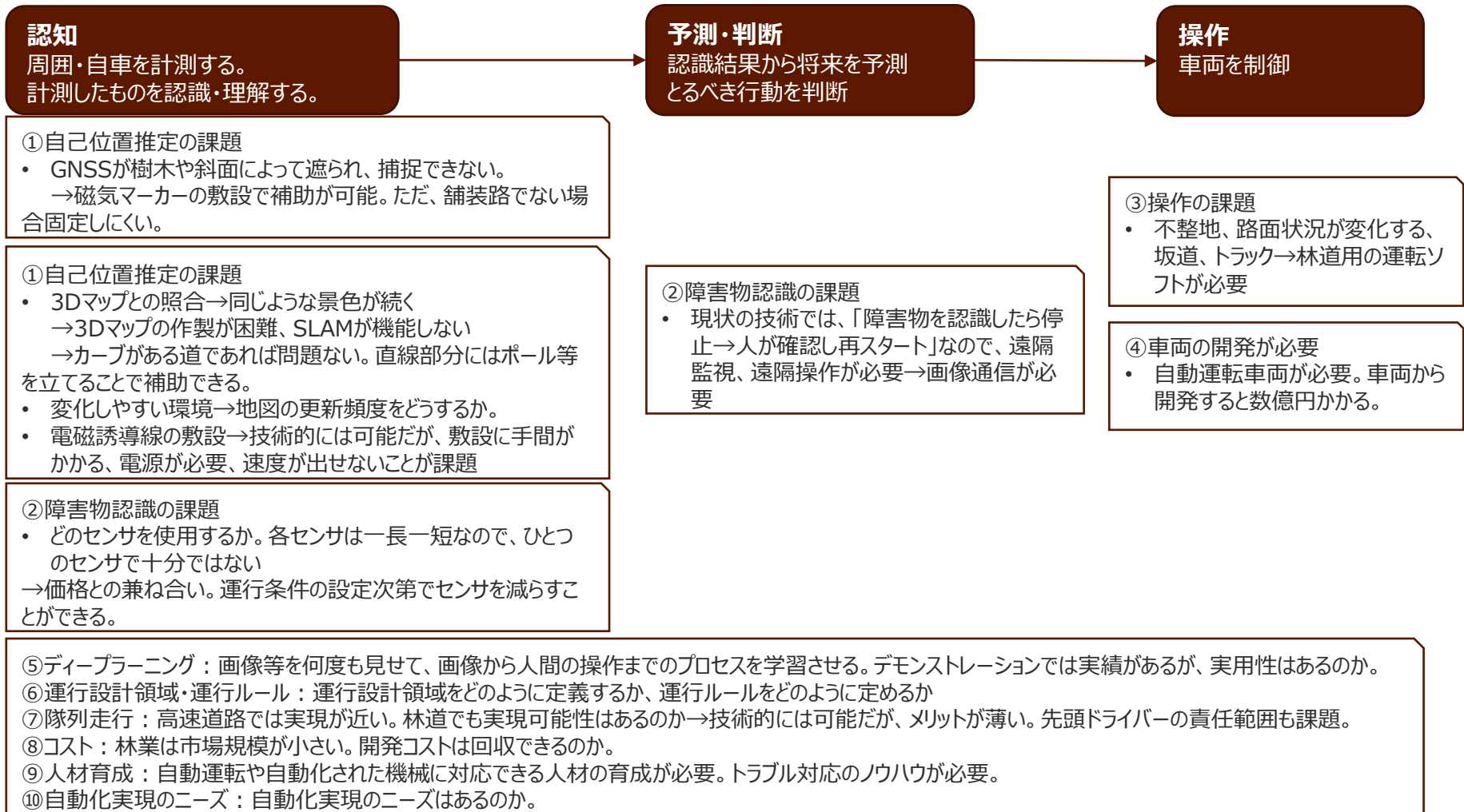


出典：株式会社ZMPホームページ <https://www.zmp.co.jp/case/izac/airport4>

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

①まとめ

ヒアリングから明らかになった、各段階における林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題を下図に示した。また、各課題を抽出したヒアリングの詳細を次頁以降に示した。



2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

① 自己位置推定の課題

ヒアリングでは、「3Dマップの作成が困難」という課題について、以下のコメントが得られた。

- 林道で高精度3D地図が作れるか。基準となる人工物がなく、厳しいのではないかと。街中でも、街路樹の成長や季節変化は、地図が苦手なところ。
- SLAMで林道を走れるかというと、かなり大変だと思う。位置情報の把握が難しいと考える。曲がりくねった道は、位置を常に把握しながら走っていこうと思うと、くねくねしているので、こまめに位置を合わせないとどんどん累積誤差がたまっていく。SLAMだよりでいこうとすると、樹木のパターンがずっと一緒の場合、識別が難しい。特に途中で木を切ったりとか環境変化が大きい。
- SLAMの弱点は同じ風景が続くこと、似たような状況が続くことが苦手。電柱と木の区別をつけることもできないことがある。特徴点がないと弱い。
- 森林では、おそらくSLAMだけでいくのは無理だが、アスファルト路に限定すれば、ほぼ普通の道路と同じで、周りの木が同じパターンで識別がつかないと考えられるが、定期的にマーカーを置くなどの工夫すればやれると思う。常にマーカーが見える状態にしたいので、林道の直線は100mもないだろうから、カーブ毎にポールを立てる等が考えられる。
- 自己位置推定には景色にある程度特徴が必要で、単調な景色ではうまくいかないことがある。どこにあわせていいか分からなくなり、マッチングの精度が悪い。曲がりくねった道ならば問題ない。フィンランドでは、自動運転のために、直線が長く続く林道では、路肩にポールを立てていると聞いた。
- 白線以外では、法面の角度が変わったところや、ガードレール、デリネーターを利用できる。試験をやるとしたら、そういったものが何かあるところでやるか、目印となるものを置くか。どれぐらいの間隔で目印が必要かについては、速度と処理能力によるのか、連続しているものでないと難しいのか、分からない。
- 林道であれば3Dマップを作製し公道と同じシステムで走行できると思う。季節変化は、若干影響があるが、走行できなくなるほどの影響はない。まわりの木々が伐採によってなくなって行くとマップとの差ができるので、そうなると違う方法をとらなくてははいけない。
- 木が連続しているような環境は確かにやりにくいけど、複合的な問題である。まったくの直線道路で、左右に木が少なく、他に何も無い環境では、繰り返しパターンが現れてしまうので、信頼性が非常に落ちてしまう。くねくね道とか崖があるとか、土地自体の形状に違いがあれば、森のなかでも違う形状として見れるので、マップは作りやすい。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

① 自己位置推定の課題

ヒアリングでは、「樹木や斜面に遮られ、GNSSが捕捉できない」という課題について、以下のコメントが得られた。

- 樹林内で実験をしたことはないが、ビルとビルの間では、GPSからの信号がビルで反射して、実際の位置とずれてしまうことがある。樹木でも同様のことが起こるのではないかな。
- 電子基準点を埋めることで、精度が向上する。
- 初期位置の算出は、車両のGPSを使っているため、オープンスカイなら大丈夫だが、山の中だと難しい。初期位置の算出後、SLAMを使って場所を合わせる。入力された情報から地図情報を読み出して、地図情報とレーザースキャナで見ているまわりの状況を合わせて自己位置を最終確定する。だから初期位置の入力は数メートルずれていても、呼び出す地図が分かればよい。初期位置の算出自体は、数mの精度があれば十分。手入力でもよい。
- この課題の解決策として期待しているのが、準天頂衛星のL1CやL5といった新しい信号。これらによってどこまで改善できるかは、調査段階。
- 準天頂衛星について、L5という信号は、先端突破の能力が高い信号なので、樹木を抜けてくるのではないかと期待がある。L5のアンテナを試作して実験したいというところから始まって、林業をやっているところで場所を借りて実験を行っている。
- L1C、L5は、水分に吸収されにくい周波数帯なので、樹冠を抜けて来やすい。測量業界では20年前から話は出ていて、ただL5の測量は、まだ国土院が認めていない。
- 2023年に準天頂衛星の整備が終わり、GPSが増えてくるので、2024年が衛星測位のパラダイムシフトになる。
- 樹木を抜けてくる時の減衰だけでなく、山の斜面の遮蔽による衛星数の確保も課題。南側が開いていれば衛星が見えやすいので問題ないが、都市部のアーバンキャニオンと同様に、崖も問題となっている。ビルは歩道とかがあるので、斜度的に45度ぐらいで済むが、山の中は道のすぐ横が崖なので、60°ぐらいの斜度がある。
- 衛星測位システムを使用したフォワードについて、山の中で実験を行った。皆伐すれば走行できたが、間伐の状態ではほとんど走ることができなかった。
- オープンエリアでGNSSが捕捉できても、1mぐらいのずれがあるため、GNSSだけで自動走行する場合は1mぐらいのずれを許容できる状況に限られる。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

① 自己位置推定の課題

ヒアリングでは、「林道は環境変化が大きく、地図の更新頻度をどの程度にするか」という課題について、以下のコメントが得られた。

- 環境変化が大きな場所なので、地図の更新頻度が非常に高くなる可能性がある。地図の維持管理費がかかる。アシストぐらいならいいが、自動走行レベルになると地図更新のコストはばかにならないと思う。それほど更新しなくていいような仕組みをつくれるか。
- 自動車の場合は、GNSSを使用したルートマップがあるが、林業の場合は、地図もなければGNSSも使えない。道の情報が必要であれば独自に測量しなければならない。
- 街中でできていることが、山でできない理由はない。ただ、マップをつくるために、林道を何回走るのかということを考えると、コストに見合わないのではないか。その林道を通って膨大な量の木材を出すことになれば経済的にペイすると思うが、日本でできるような道はないと思う。長期的に見れば、一度伐採したところを50年後にまた伐採するというようなことになればペイするのかもしれないが、ここ数十年で何立方メートルの材を運び出すのかということを考えると、その道の奥に膨大な山がなければコストに見合わないのではないか。ただ、マップが林業以外の人にも共有できれば可能性はある。
- 車に搭載しているセンサーで測量して、この測量した情報と地図情報でマッチングし、地図上にないものだと、障害物と認識する。また、今どの方向でどの姿勢でどうなっているか、を常にバーチャル空間上で把握している。林道での運転が難しいのは、静的な地図をつくっても、雨が降って風がふいて、台風が来たら、道路の環境が変わってしまうし、道もあつという間に凸凹になるところ。
一般道は工事等があるものの、緯度経度や深さは変わらないが、林道は道がくずれたらそのあたりが変わる。そういうものが保てない環境を走行するのが難しいと考える。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

① 自己位置推定の課題

ヒアリングでは、「電磁誘導線等を使用した方式」の課題について、道に線を引く手間がかかる。走行コースの変更が大変。断線への対応。速度が出せない。等のコメントが得られた。

- 電磁誘導線は、電磁誘導線と車体のセンサとの距離を一定にする様に走る。最近、この方法が見直されている。国交省の道路局は、道路交通法を改正して、磁気マーカーや電磁誘導線は道路付帯物として位置付けた。電磁誘導線より磁気マーカーの方が設置にフレキシビリティがあって良いと思っている。ただ、砂利道に磁気マーカーを埋めるのは難しいだろう。
- 電磁誘導線はコストはかかるけど、一番実現スピードは早いだろう。可搬性があるように考えれば実用性があるのではないか。
- 電磁誘導線やマーカーレースをやっているところは、予め設定済みの走行コースを変更する作業が大変とのことで、GPSにしたいと相談をうけることがある。3Dマップや衛星は、ハード的な修正がなくてソフトウェアの修正だけで済む。どちらが安い、という話になるのでは。
- 電磁誘導線が、最も安価で実現可能性が高いが、道に線を引くわけなので、手間がかかる。
- 一度引いた誘導電線は現場が終わるまで使い、電線を継ぎ足してさらに奥の現場で使用することもある。線を引く手間賃を試算したら、1週間ぐらいでもとが取れるので、せめて1か月は使用したい。大体の林業の現場は1週間を下回ることはない。
- 人の運転した速度をまねるので、人が運転する以上に速くは走らない。トラブルがあればその分時間がかかる。人がやっていた時と比べて作業量が減るわけではない。しかし、4人で行っていた作業を3人で行えるので、労働生産性は1.33倍になる。
- 途中で止まることもある。なるべく止まらないように、ソフトを詰めていく必要がある。線とフォワーダとの距離が離れて線を見つけられなくなったら止まるように設定している。例えば、道が削れてフォワーダが跳ねると、上下で距離がついて止まる。フォワーダが止まったことを知らせる仕組みは付けていない。荷下ろしを自動化したので、一回フォワーダが行くと、30分後に帰ってくるということがわかっている。時間通りに帰ってこなければ、どこかで止まっているということ。また、止まったことをお知らせする機能が必要であれば、後付けすればすむ話。山の中で電波が飛べば、簡単だし、どのあたりを走っているかということも、ソフトウェアの話で簡単なものでは。GPSにしても、自動走行のためであれば数センチ単位で測れないといけませんが、フォワーダの位置を知りたいだけなら、数メートルずれても問題ない。その位の精度であればGPSも問題なく使用できる。
- 電線自体の価格はたいしたことがないので、電線を引く方式の場合は、手間がかかることが問題（人件費）。長くなった場合、どこかで切れた時に、場所を特定することが難しいので、分割して引く。動物にかじられたりしたら分からないが、引っ張られた場合は、分割しておけばコネクタのところが外れる。ただ、分割する場合は、それぞれの線にバッテリーが必要となる。
- 長さのイメージとしては、作業道は1キロが限度、林専道は10キロぐらい、一級林道は数10キロ。林専道、林道は長すぎて、線を引くことは現実的ではない。また、スピードも作業道走るフォワーダは時速4キロぐらい。林専道走るトラックは時速10キロぐらいで走りたいため、電線では速度的にも難しい。
- 無人フォワーダ機は、電磁誘導線のタイプの実証実験を行った結果、断線や、同じラインばかりを走ることや木を下すときに片側ばかりにおろすことによって土が掘れてしまうことなどが課題として上げられた。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

① 自己位置推定の課題

自己位置推定の補助的な役割をする物として、GNSSを補助する磁気マーカー、3Dマップ作製を補助するポール等の人工物がある。ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- 磁気マーカーは、真上に来た時に磁気マーカーの位置情報を読み取って、GPSが届かないところで代わりにするもの。「この磁気マーカーは、この座標のところにあります」という情報をもっていれば、磁気マーカーを検出した時に自分の位置が分かる。
 - 磁気マーカーとは、2センチ角ぐらいの弱い磁石をアスファルトに埋め込む。実証実験レベルでは2m間隔で埋めている。今は弱い磁石なので、真上を通らないとなかなか検出できない。理屈の上では、10mぐらい離れていても認識できると考えており、路肩やガードレールに埋め込むことができればいいのだが。
 - 最近、この方法が見直されている。国交省の道路局は、道路交通法を改正して、磁気マーカーや電磁誘導線は道路付帯物として位置付けた。
 - 電磁誘導線より磁気マーカーの方が設置にフレキシビリティがあって良いと思っている。ただ、砂利道に磁気マーカーを埋めるのは難しいだろう。
-
- ポールを立てる、というのはあり。色を変えるなどして、林道の直線は100メートルもないだろうから、カーブ毎に置く方法が良い。
-
- 白線以外では、法面の角度が変わったところや、ガードレール、デリネーターを利用できる。試験をやるとしたら、何かあるところでやるか、目印となるものを置くか。どれぐらいの間隔で目印が必要か、については、速度と処理能力によるか、連続しているものじゃないと難しいか、不明である。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

② 障害物検知

障害物を検知した場合、現状の技術では、車両は停止し、人間が安全を確認後、再スタートする。したがって、遠隔監視、遠隔操作等、停車した場合の安全確認と再スタートの方法をどのようにするのか、しないのか、が障害物検知の課題として考えられる。

また、遠隔監視と遠隔操作を行う場合、超低遅延・超高速通信網（次頁「ローカル5G」参照）の敷設が求められる。

ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- 現在実証実験しているものは、落ち葉が舞い上がっても感知して止まる。止まったところで、遠隔監視している人が判断する。
- 通常は複数の手段を用いる必要があるが、林道の環境下ではより少ない手段でできるのではないかと。障害物がない、という前提で障害物検知を行っていないし、海外の鉱山では無人のダンプがGPSだけで走っている。
- 今自動運転では、障害物を障害物として検出するか、陰影として処理するかという画像認識にAIを使っている。同じ画像でも、画像処理の技術で全く違う判断になる。距離は正確にわかるが、材質とかは分からない。水溜まりを踏んでいいかどうか、水溜まりなのか影なのか。
- ディープラーニングも、下手な画像で学習させると性能が悪くなる。
- 狭い道路で対向車が来た時、自動運転車両は止まって、運転者が遠隔操作に任せることになっている。自動で戻ったり避けたりはできない。遠隔監視システムでオペレーターがラジコンのように操作する。障害物を避けるぐらいの操作はできる。自動車教習所を借りて実験している。
- オペレーターが周辺を確認するので、画像通信が必要。実車の画像データをリアルタイムで送信する必要がある。現在は、固定カメラを載せて、映像を切り替えながらみている。遅延すると操作が誤るので、高速通信ネットワークが必要。5Gに期待。ローカル5Gを山に敷設して作業場を覆い、山の麓の作業場から操作するというような形がよいのでは。
- 実証実験では、走っている時に前を何が横切った時は、自動で止まるようにしている。再スタートは外からリモートではできないので、実験車に乗っている安全監視ドライバーが再スタートさせた。現時点で公道で自動運転の実験を行う時にドライバーをのせるのが基本的なルールになっているが、ゆくゆく、誰も乗らないで走ってよいことになった時には、遠隔監視か遠隔操作といったことが必要になる。遠隔操作というのは、ラジコンみたいに外から操作することではなくて、止まった時にどうするか、という意味で必要になってくると思う。何らかの理由で止まったのだから、その理由をしっかりと確認する。電車で非常停止に近いかもしれない。運転士が本部と連絡を取り合っ、電気的なエラーであるとかを確認して、それでスタートさせるのだと思う。
- 遠隔からの安全確認を考える場合、GPSの他にも何かしらの無線通信を考えなくてはならない。林道の場合、通信状況的にどこまで可能なのか。
- 実証実験で、障害物が走行している他の車や横断している人だけであれば、停止し、いなくなったら自動で動く。道幅が十分で端に小さなものがある状態であれば自動で避けて走行できる。

参考 ローカル5Gの概要

山間地域における高速データ通信インフラの整備について、「ローカル5G」の活用が期待される。

ローカル5Gの特徴

- ローカル5Gは、地域や産業の個別のニーズに応じて地域の企業や自治体等の様々な主体が、自らの建物内や敷地内でスポット的に柔軟に構築できる5Gシステム。
- 例えば、通信事業者によるエリア展開がすぐに進まない地域でも、独自に5Gシステムをスポット的に構築・利用することが可能。
- 通信事業者のサービスと比較して、使用用途に応じて必要となる性能を自ら柔軟に設定することが可能であり、また、他の場所の通信障害や災害、ネットワークの輻輳などの影響を受けにくい。
- 自らローカル5Gの無線局免許を取得することも、業者に委託することも可能

ゼネコンが建設現場で導入
建機遠隔制御



建物内や敷地内で自営の5Gネットワークとして活用

建設現場
での活用



建機遠隔制御

インフラ監視

スマート農業

農業
での活用



農家が農業を高度化する
自動農場管理



事業主が工場へ導入
スマートファクトリ



工場での
活用

スマート工場

河川監視

防災現場
での活用

自治体等が導入
河川等の監視



センサー、4K/8K



出典：「ICTを活用した新ビジネス創出フォーラム」[事務局：シード・プランニング]（第3回会合2019年9月20日）総務省説明資料

参考 ローカル5Gの特性が活きる利活用分野について

◆5Gの性能要求と導入メリット

- ・超高速通信（最大10Gbps）⇒超高精細映像の高速伝送と付加情報の提供
- ・超高信頼、超低遅延通信（1ミリ秒）⇒要求条件に応じたリアルタイム伝送
- ・多地点同時接続（100万台/1km²）⇒多様な機械や機器が同時に多数接続できる



◆ローカル5G/自営網の期待とニーズ

- ・外部のネットワークを使わず、データ収集したい
- ・オープンなネットワークに接続しないで、安心/安全に、通信したい。
⇒機密情報の高セキュリティ担保
⇒通信の安定性確保
- ・必要な時にネットワーク環境を構築して利用したい。
⇒柔軟な設備/運用（複雑な現場環境に対応）
- ・地域限定（自営）のネットワークは5Gの重要な構成要素



◆有望なサービス分野・用途

- ・特定の期間/場所→工場、建設・土木現場、物流倉庫、イベント会場
 - ・特定の場所→スタジアム、駅・空港、農場、鉱山、大学研究施設、大規模病院
 - ・特定のエリア→大規模住宅・マンション、ショッピングモール、河川流域、CATVラストワンマイル無線化等スマートシティ
- * 特に、高精細カメラからの映像、4K・8K映像や遠隔制御のやり取り

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

③ 操作

林道における自動運転ソフト（慣性力、積載重量、カーブや上り下りでの影響等を考慮したソフト）の準備が必要など、操作について、ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- 木を積んでいると、運転には独特の技術が必要。アップダウンの時にブレーキの当て方でサスペンション沈ませて・・・というように、一般道と違うノウハウが必要になるのではないか。
- オフロードの自動走行は、これまでに誰もやっていないと思う。
- 悪路でも、コンボやキャタピラの車ならばちゃんと止まるので問題ないと思う。しかし、タイヤは滑る。
- 荷物を積んでいると後ろ加重で前が浮くので、ハンドルの効きが薄くなる。さらに砂利でミューが低いので滑りやすい。下り坂なので前加重に入りやすい。今の自動走行とは異なるため、実験して情報蓄積する必要がある。いつかはできると思うが経験値がない。経験値を積まないと難しい。除雪車のように独自のノウハウが必要だろう。
- トレーラーの場合は後ろ側にはブレーキがついていないので、ブレーキやカーブの時に後ろの車両が止まり切れずに前に突っ込むジャックナイフという現象が起こる。山の方が一般道より起こりやすい。速度超過で起きる。
- トラックは、山から下りてくる時はたくさん積んでおりて来たいので、積みすぎが起きやすい。現状積み過ぎても、人が調節しながら運転しているが、自動運転の場合はそうはいかない。
- 坂道を守る時のブレーキが課題となる。下りは慎重に設計した方がいい。
- 重さが変わると力量が変わるので、モーメントや重心位置が変わる。三次元座標上のどこを中心として計算するか、というのが、小型の自動車だと点でいけるが、大型のバスになると点じゃなくなる。そういうところが難しいと聞いたことがある。通常車種ごとにチューニングしている。
- 基本的に人間が運転してトラックで走れるところは、自動運転でも走れると思っている。
- 自動で走らせる場合、タイヤの回転で距離を測っているのですが、タイヤが滑ってしまうとタイヤの回転で測った距離と実際に進んだ距離が違ってしまうとどう補正するのか、という問題がある。
- ハードウェア（車）の形が変わると制御のやり方が変わる。乗用車、一人乗り、トーイングトラクター等。車の特性（大きさ、レスポンスの早さ、操舵の早さ、正確さ等）で制御のモデルを作りなおす必要がある。
- トーイングトラクターの実験では、引っ張っているドーリーによって制御性が変われば、それを吸収するようなモデルをつくるのだが、シミュレーションの結果、前の車が走った後ドーリー部分がそれに沿って走る様に機械的にできたので、フィードバックして制御しなくても走行できた。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

④ 車両

自動運転に用いる車両には、電子制御であること、油圧式ブレーキは不可等様々な条件がある。またオフロードでの自動運転は実績が少ないことから、開発の必要があり、開発するとなれば費用がかかる。

車両の準備について、ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- 自動運転用の車を用意できるのか。自動運転用の車は、電子制御できないといけない、油圧式ブレーキはダメ、等色々な条件がある。電子制御されている車であれば、電子制御されているところにコマンドを書き加えて・・・、とできる。今の車は、アクセル踏んだりブレーキ踏んだりしているが、それは電子信号に置き換わっている。万一の時の場合だけブレーキを力学的に踏む機能はあるが、基本は電子制御。オートマ車であれば、燃料を噴射する量からすべて電子計算されている。そういった車を用意できるか。
- 車の用意の仕方は、福祉用の車は、片手でハンドルを動かしたり、ボタンを押したらアクセルになるといった機能があるので、それを改造する場合がある。
- 双輪駆動（4輪駆動や6輪駆動。除雪車などとして使用）のトラックもあるので、そういうものを自動化するということは場合によっては可能。
- 実証実験で新しく試作品の車を作るとしたら、1億円は超える。
- 連結車を考えるのであれば、一筆書きの経路で、ある程度幅を持ったエリアであれば、あまり後のことを考慮しなくても済むかな、と思っている。トレーラータイプが一番難しいのはバック。後退する時に動きが複雑であるし、トラクターヘッドとトレーラーで開発企業が違う場合は、コミュニケーションをとってセンシングをしなければならないので非常に難しくなる。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

⑤ ディープラーニング

ディープラーニングについて、デモンストレーションでは実績があるが、実用できるかは不明である。ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

-
- 画像等を何度も見せて、画像から人間の操作までのプロセスを学習させる。こういう画像の時はこういう操作をする、という相関関係を学習させる。
 - NVIDIA Corporation（エヌビディアコーポレーション：ゲームコンピューターの会社がGPUをつくっている）がやっている。
 - ディープラーニングのアルゴリズムは世の中にたくさんあるので、模型の車でやろうと思ったら誰でもできる。おもちゃベースのデモンストレーションでは実績があるが、市販車でやるのは理屈が分からないので怖くてできない、という状況。
 - 林道という特殊な環境下でそのようなものが許容されるならば可能性があるのではないか。
-

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

⑥ 運行設計領域、運行ルール

運行設計領域、運行ルールの確立が必要である。ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- 同じ工程の中でぐっつとまわるようにして、バックすることがないようにするなら、後ろのセンサーは省く、もしくは安いものにすることができる。
 - 林道で自動運転をやるにしても、そこをどのような環境で走らせるか、考えなくてはならない。「運行設計領域」は、地理的条件、環境条件、周りに人がいるかいないかという条件など、自動運転を走らせる条件のことで、これを定義しなければならない。
 - 完全に林道を閉鎖して誰も入ってこれないようにするのか、何かしらの作業をする人がそこにいるのか、一般の交通をどういう風にコントロールするのか。一級林道は、道がよくて走りやすくても、一般車両がいると非常にハードルが高くなる。
 - 専用道であっても、例えばキノコ狩りの人が入ってくるかもしれないとか、もしかしたら緊急停止をしてしまうかもしれないので、そういう場合はリモートで監視していかないと止まりっぱなしになってしまう。どういう運行するかという課題は、どこで使うか、どういう環境で使うかを前提に、よく考える必要がある。
- 自動運転時代になっていくと思うが、そういう道づくりを今はしていない。道づくりは数年計画。自動運転用に道を作らなくてはいけないと思う。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

⑦ 隊列走行

隊列走行を林道で行う場合の主な課題として、ヒアリングから次の3点があげられた。

- ・高速道路の隊列走行と比較して、ソフト面の作りなおしが必要。
- ・後続者有人の隊列走行の場合、後続車のドライバーの労働形態をどう扱うかが課題となる。
- ・後続車無人の隊列走の場合、先頭車ドライバーが後続の無人車に対しても安全の責任を負わなければならない。

-
- ・ 隊列走行の方が現実的かもしれない。極端なことをいえば、自己位置認識も障害物検知も必要ない。前の車に追従すればよい。
 - ・ 高速道路の隊列走行は、今年度中に後続車無人で実際に走らそうとしている。林道なら、より低速なのでやりやすいと思う。
-
- ・ 隊列走行は実用性があるのでは。今すぐできるというわけではないが、導入可能性がある。
 - ・ 新東名でやっている実験をそのまま持ってくるわけにはいかない。ハード的な面はいいかもしれないが、ソフト的な面で、例えば滑った時の状態などデータを取り直す必要があるだろう。
-
- ・ 隊列走行といっても2種類ある。トラックメーカーは、後続車有人の隊列走行に取り組んでいる。後続車無人の実証実験には、トラックメーカーは関与しておらず、先進モビリティという東大発のベンチャー企業が行っている。後続車無人で公道を走るとは非常に難しいと考えている。技術開発をしている企業はあるが、製品化は考えていないと思う。
 - ・ 後続有人の場合に、後続ドライバーの労働形態をどのように扱うか、という議論もあわせてやっている。例えばその時間は、休憩時間なのか、待機時間なのか、一日の労働時間の管理において、少しでもメリットが出せるのか。省人化がまったくできないというわけではないが、後続車無人のように単純に人が減る、ということにはならない。
 - ・ 後続車無人の隊列走行では、先頭車ドライバーが後続者の安全の責任もおわなければならない。例えば、うしろの無人トラックの前に何かが割り込んできたらとか、後ろの車がパンクしたらどうするのか等、色々な使い方を考えると解決しなければならないシーンがたくさんある。
 - ・ 高速道路でやろうとしている隊列走行は、前の車で自動でついていくというだけで、道は覚えていない。
 - ・ GPSは隊列走行では通常の自己位置認識とまったく別の目的で使っている。トラックが隊列走行している場合に、自分の位置と車のスピード、車間距離を電波で飛ばしている。一番後ろのトラックは、前のトラック3台分の情報を受け取っている。自分のすぐ前にいる車の信号が3つのうちどれか、ということ特定しなければならない。GPSで測った3台の車との距離と自分のセンサーで前の車を捉えて測った距離を比べて、一致しているものが前にいる車の電波だ、というようにGPSを使っている。GPSに求められる精度も全く違う。
 - ・ 車を自動で走らせる技術、いわゆるロボットカーの技術は、高速道路隊列走行も、下道の自動走行も変わらない。駆動系で自動で制御する、自動でブレーキをかける、等は同じ。
 - ・ 隊列走行のついていくという技術は開発済み？ 高速道路の隊列走行は開発済みだが、林道でそれをそのまま持ってきて走れるか、というそうではない。なぜかという、ステアリングの制御は白線を見てやっている。加減速は前の車を見ながらやっているが、ステアリングの制御の技術はこれからになる。
-

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

⑦ 隊列走行

「そもそも隊列走行を行う必要があるのか」について、ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- 省力化にはなるだろうが、それなら大きなトレーラーでいいという話になるのではないか。
- ひとりで倍運べるようになるという意味で生産性が上がるという考えはある。距離が短い時はいいが、500メートル、1キロと伸びた時に、3リューベしか積めないものでひとりで運んでいると、伐採はプロセッサが1本1分かかるくらいで処理しているのに、運び出すところで生産性が上がらないということになっている。しかし、運ぶところがネックになっているかという、それはケースバイケース。場所によっては循環路網で複数台が走れるようにしているが、そのようにしているのは全国で見ても10カ所もない。
- 後続車有人の場合に、後続ドライバーの労働形態をどのように扱うか、という議論も併せてやっている。例えば、後続車に乗っている時間は、労働時間なのか、休憩時間なのか、待機時間なのか、一日の労働時間の管理において、少しでもメリットが出せるのか。省人化がまったくできないというわけではないが、無人のように単純に人が減った、ということにはならない。
- 後続車無人の隊列走行を実用化すると、高速道路の一般車両がいる混在交通のところで維持しなければならない。となると、相当なブレークスルーが必要となると思う。そのブレークスルーが起きるのであれば、隊列走行にこだわる必要はない。
- 林道で何のために隊列走行するのか。高速道路の隊列走行では、若干2台目3台目の燃費が良くなるというメリットもある。林道はそういうシチュエーションはないと思う。仮に無人で走らせることができるのであれば、隊列にする意味はない。
- 先頭のドライバーが、2台目3台目にトラブルがあった時の保安要員の立場で乗るとするのはありかもしれない。2台のうち後の1台に人が乗らなくて良くなるのは、単純に人が減らせる。また、精度が上がって、2台を3台というようにできるかもしれない。そのような必要性があるのかは分からないが。
- 隊列の先頭車は必ずしもトラックである必要はない。乗用車タイプの林道の管理車が先頭を走るという運用も考えられる。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

⑧ 開発コスト

「開発コストを回収する見込みはあるのか」について、ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- 水産業と、林業を除いた農業市場が5兆円あるのに対し、林業市場が5000～6000億円。日本市場だけでは技術開発は、コスト的に厳しい。海外展開も視野に入れた開発をする必要があるのではないか。
- 林業に自動運転車両を導入するコストをかけられるのか。農業がまさにそうだが、補助金がでないとものを買ってくれない、補助金がきれたらそれでお仕舞ではどうしようもない。まず林業が儲かる形になる必要がある。
- 実用化の予算、展望。誰が金を出し、誰が儲かるのか。
- 自動運転は、ベンチャー企業が多いから、ある程度儲かる話でないと、興味を持たれないかもしれない。
- 林業のICT化には取り組んでいる。しかし、即効性はない。できたから収益があがるという話でもない。設備投資も必要になってくる。
- 例えば自動運転フォワーダーの導入の可能性はあるのか？ → 楽になるのはいいこと。その費用を補助金でみるのであればよい。事業者が費用を出すかという出さない。
- 機械化することによって、人件費の削減、安全性の向上が期待される。一方で、木は高く売れるようにならないが、燃料代などは上がっていく。どこかでコストダウンを図らなければならない。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

⑨ 人材育成・トラブル対応

実用化するには、機械を使いこなせる人材育成や不具合に対処できるノウハウの蓄積が必要である。
ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- 架線集材の機械の自動化に取り組んでいて、令和4年度に販売予定ということになっている。ただ、これが山で使われるかということ、お客さんがそこまで自動化を求めているかという微妙なところがある。技術的にもレベルが高いので、それなりの方じゃないと使いこなせない。また、トラブル対応ができない。現場実証なら技術者が張り付いているので、動くが、これを通常の運転レベルまで持ってくるには、結構時間がかかると思っている。
- 林業のIoT化を進めるために、人材育成も重要。親方主義で知財化されていない。林業の知財化というようなテーマも並行して取り組む必要がある。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

⑩ 自動化実現のニーズ

「林業事業者や作業者が自動化をどこまで求めているのか。」について、ヒアリングでは以下のコメントが得られた。

- オペレーターと購入決定権のある人が違うケースが多いため、投資する価値が分かってもらえないこともある。
- 土場作業。トラックの運転手が、トラックについているグラブローダで積み込んで持って行く、というのが一般的。当社では、10年以上前に、脱着装置というものを使って、積み下ろしなしのシステムを構築し販売したが、生産中止になった。一般的に見るような車両だが、脱着コンテナ車というものがある。それに山の上で積み込んでフォワーダに積んでおろして、そのコンテナを脱着装置の付いたトラックがひっかけて、そのまま市場に持って行くというもの。これも国の事業で開発し、実証実験も行って時間をかけて開発した。地方によっては買っていたところもあるが、全体に浸透したかという、そういうかんじではない。積載量と搬送距離の問題。3～4tで積載量が少なかった。他社も同様のシステムを持っているところがあるが、あまり売れていない印象。
- 自動運転は、担い手の問題や、林業従事者は労働災害が多いということがあるので、絶対に必要だとは思う。安全性という観点からも、国交省がアイコンストラクションということで、無人施工にどんどん取り組みはじめているが、そういう世界が林業にもやってくるし、そうしていかなければならない。
- 現在は自動化の段階ではなくて、測量したデータを高性能林業機械に渡して、オペレーターが操縦して切りに行ったり、切った材を運ぶための最適化の計画を立てるとか、何トトラックを持っていか、中間土場をどこに置くかという計画を立てるとか、そういった議論が今ようやくはじまったところ。林業機械メーカーと話しても、自動操縦に取り組んではいるが、色々な課題があるようだ。まず、通信状態。自動運転をするには、車が正確に自分の位置を把握し続けなければならないが、GNSSがとぎれがちとか、自分の位置のデータが時々飛んだりするとか。なかなかそう簡単ではない。また、実際使う林業事業者の方が、まだそこまでは求めていないとも聞く。
- 安全性を高めるという意味で、自動化には価値がある。
- 森林総研の自動走行フォワーダについて、土場から土場、伐採地から土場等の範囲で、リモコンで操作する実験をやりたいと希望したところ、予算が通らなかった。幹部の方に理解を得ないと、県の中では予算の編成でうまくいかない。

2-2. 林道の特殊性を踏まえた自動運転の課題

⑩ 土場作業における課題

土場作業における主な課題として、ヒアリングから次の3点があげられた。

- ・GNSSが入りにくい
- ・グラップルで丸太の中心を掴む時、中心の判断が難しい。→遠隔操作では、グラップルで丸太を掴む研究がされており、実績もある。
- ・トラックに満載にできないと使用されない。

・ 土場は上空が開けているかもしれないが、GNSSを使うなら斜面による遮蔽も問題なので、南側が確実に開いている場所にする必要がある。

- ・ はい積みになっている丸太を、やって来たトラックに自動で積んで・・・という作業を考えると、どれだけのことを解決しなければならないか、正直分からない。
- ・ 荷物が定型の場合は自動化できるかもしれないが、木の場合は、太さも長さも違い、どれが材か、どこを持つか、重心位置がどこかを機械が認識するのが難しい。また、人間の場合は、行先によってカラスプレーで目印を付けておいたりするが、機械の場合はどうするのか。トラックに積む時も、荷崩れしないように効率よく大量に運ぼうと思うと、きれいに積まないといけない。
- ・ アームロールといって、トラックに荷台を積み込むアームがついていて、切り離し式の荷台に木材がたまったら自分の荷台に積んで、目的地まで行ったら荷台ごと下す、という方式は、フォワードで実験されている。ただ、アームロールをひっかけるのは、舗装道路でも難しいので、不整地の土場でできるかどうか
- ・ 土場を工場のようにして、ある程度材を置く場所やトラックが止まる場所を決めてやればできるかもしれないが、整地とか丸太を積む高さを守らないといけないとか、自動化したメリットを打ち消すような手間が発生しそう。
- ・ 土場は林道よりも上が開けているので、GPSは入りやすい。
- ・ 林野庁の事業で、先進的な林業機械等の開発・改進黨業「架線式グラップルによる横取り架線集材の自動化」として、架線集材の機械（ワイヤーで山につるして、クレーンゲームのように木を掴んで持ってくる）の自動化に取り組んでいる。そこで、カメラ技術や、AIの技術に取り組んでいる。こういうものが実用化されれば、その技術を走行装置の方に応用する、ということは考えられる。
- ・ グラップルで掴むことは、単純に油圧の爪で掴むというような形になるので簡単。自動化までいなくても、これがラジコンでできるだけでも、省力化にはなると思う。今年度の目標としては、グラップルで掴むところを、AIで自動制御するところ。令和4年度に発売予定ということになっている。
- ・ （グラップルで掴むところの自動化は難しい？）AIで認識させるにあたっては、木に赤いマーカで印をつけて、ここに木があるよ、と認識させて掴ませる。センターを掴む必要はあまりなくて、確実にがしと掴めば、端を掴んでぶら下げてきてかまわない。逆にセンターを掴むと、材が長い状態になるので振り回しづらく、端の方が取り回しがしやすかったりする。架線集材の場合は、重心を掴む必要はない。
- ・ 土場作業。トラックの運転手が、トラックについているグラップルローダで積み込んで持って行く、というのが一般的。
- ・ 10年以上前に、脱着装置というものを使って、積み下ろしなしのシステムを構築し販売したが、生産中止になった。これは、一般的な車両の脱着コンテナ車というもののように、山の上でコンテナに積み込んでフォワードでおろして、そのコンテナを脱着装置の付いたトラックがひっかけて、そのまま市場に持って行くというもの。これも国の事業で開発し、実証実験も行って時間をかけて開発した。地方によっては買っていたところもあるが、全体に浸透しなかった。積載量と搬送距離の問題。3～4tで積載量が少なかった。
- ・ 新しく路網を作る時に、土場をどこにつくるのがいいか、ということを検討することに取り組んでいる。資源の量をレーザー測量で見当を付けると土場の広さがどれぐらい必要かがわかり、それだけの平坦地がとれるところがどこか、という観点で地形情報が役に立つ。
- ・ 土場が比較的平地で傾斜もないので、自動化はしやすいのかもしれない。

2-3. 林道や土場における運材トラック等の自動運転の方向性

本調査事業は、運材トラック等の自動運転技術の実現性予備調査として、林道の道路環境の特殊性等を踏まえた運材トラック等の自動運転の課題整理に取り組んだ。

ヒアリング調査から、林道や土場における運材トラック等の自動運転の方向性について、一般車両や歩行者の通行を制限することが可能であり、一般道より簡易な構成で自動運転を行えるという利点がある。また、林道における自動運転は、過去試みられたことはなく、課題をより明確にするために実証実験の実施を目指し、今後は、運材トラック等の自動運転の実現に向けて、ロングプランで考える必要がある。

◆ 今後取り組むべき方向性

- 1) 今年度の調査結果を踏まえ、林道での運材トラック等の自動運転に関心のある企業等のネットワーク化
 - ・先進的利用モデルとなり得る実証プロジェクトの構築に向けた協議会等の設立
 - ・運材トラック等自動運転の社会実装に向けて、民間企業や自治体、林業関係者等の参加による情報共有・機運の醸成
- 2) そのネットワークを活かして、技術課題について検証を行う
 - ・自己位置推定について、LiDARやカメラや、GNSSの精度を特定のフィールドでチェックする
 - ・ターゲットとする林道の環境レベルを検討する（舗装路のみか、すべての林道とするか）
- 3) 技術課題の検証結果を踏まえて、実証実験の要件検討
- 4) トラックメーカーとの連携
 - ・自動運転車の準備
 - ・林道での自動運転の走行ルールやロジックの検討
 - ・障害物検知に向けた遠隔監視システムの開発

2-3. 林道や土場における自動運転の方向性 ヒアリング結果

林道や土場における自動運転の方向性について、ヒアリングでは「一般道より簡易な構成で自動運転を行える」など、以下のコメントが得られた。

- 自己位置認識にしても障害物検知にしても、通常は複数の手段を用いる必要があるが、林道の環境下ではより少ない手段でよいのではないか。
 - 実証実験を行うとしたら、ハード（車両、システム）をつくるパートナーが必要であるし、大学だけでは難しい。特殊な車なので、ビジネスとして成立するのか。他の開発とうまく組み合わせられればよいが、新しいことを試す実証フィールドとしての位置づけでとらえられれば、やってみようというところが現れるのではないか。
 - 運行を事前に決めて、すれ違いがないように運用するとよい。
-
- 林道は人が飛び出さないのは大きな利点。自動運転の技術というよりは、保険とか安全性の問題で、運行上の利点。
 - 林道10kmぐらいなら、地図をつくるのに200万～300万円。手作業が多くなるから高くなる。また、ペイントラインがあるところは、周辺を撮らなくてもいいが、林道は周辺をちゃんと撮る必要がある。試しに走らせるだけなら、既存の車をもってきて、全体で数百万円クラスで実証実験はできると思う。ただ、成功するか失敗するかという、課題がすぐでてくると思う。
-
- 現状、自動運転は一般道では事前に何度も走行して丁寧に測量して安全に配慮してやっているが、林道であれば人もあまり来ないということで、もう少し簡易に行うことも選択肢のひとつ。準備として1、2回走行する程度でよい技術を開発する。交差点、中央分離帯、信号、電柱等、たくさんの要素をきれいに付いていると、地図の準備で1か月2か月かかる。地図作成を自動化してある程度早くできるようにすることは、現在技術課題として取り組んでいるところでもある。例えば、お掃除ロボットも地図を用いた自己位置推定をしていて、最初に障害物を検知しながら低速で走って、ライダーで簡単な地図を作っている。ロボットOSという、linuxとROSをベースとしたロボット用のミドルウェアがある。それでは、林道でどこまで簡易にできるのか、判断しなければならない。
-
- 林道で自動運転をやるにしても、どのような環境で走らせるか、考えなくてはならない。「運行設計領域」は、地理的条件、環境条件、周りに人がいるかないかという条件など、自動運転を走らせる条件のことで、これを定義しなければならない。完全に林道を閉鎖して誰も入ってこれないようにするのか、何かしらの作業をする人がそこにいるのか、一般の交通をどのようにコントロールするのか。一級林道は、道がよくて走りやすくても、一般車両があると非常にハードルが高くなる。専用道であっても、例えばキノコ狩りの人が入ってくるかもしれないか、もしかしたら緊急停止をしてしまうかもしれないので、そういう場合はリモートで監視していかないと止まりっぱなしになってしまう。どういう運行するかという課題は、どこで使うか、どういう環境で使うかを前提に、よく考える必要がある。
 - 特にレベル4の自動運転は、カタログに載せてふつうに買っていただくでも自動で走れる、というようには考えていなくて、運行設計領域も含めて、使っていただくお客様の条件に合せて、カスタマイズしていくという形をとっている。テラーメイド。基本技術は確立し、安全は大前提として、ちょっとしたアレンジをお客様向けに加えてより使いやすくなる。レーザーやライダーの数や種類等。
 - 林道は、道路交通法と道路運送車両法の適用される範囲。そういう法律や規制にどうやって対応するかということもひとつの課題かと思う。

2-3.林道や土場における自動運転の方向性 ヒアリング結果

林道や土場における自動運転の方向性について、ヒアリングでは「ロングプランで考える必要がある」など、以下のコメントが得られた。

- 2023年に準天頂衛星の整備が終わり、GPSが増えてくるので、2024年が衛星測位のパラダイムシフトになる。
- SLAMも今は数百万円だが、GPSの受信機は測量用200万円だったのが、20万円ぐらいで数cmの測位ができるものが出始めている。機材の価格、社会的なバックアップも含め、10年ぐらいのロングプランで考えた方がよい。
- 車両構築までやるとすごくお金がかかる。国交省は、準天頂衛星用に除雪車を作った。除雪は道路維持であり国交省の仕事であるが、林業は産業なのでそういうわけにいかないだろう。バスやトラックで専用の車両をつくとそれなりに構築費用がかかるし、そのためにライダーとかの専用機械を買うとまたお金がかかるので、実証実験全体で数千万円かかることになる。したがって、最初は既存の車両を走らせてみる方がよいだろう。順番にやってステップアップする方がよい。
- 自動運転フォワードについては、研究は終了し、販売方法はメーカーにお任せしている状態で、市販化にもっていったらいいと思っている。例えば自動荷下ろし機能は除いて、自動運転の部分だけにするとかでもOK。開発の3年間で追いきれなかったエラーが、実際現場で使うと起こる可能性がある。それにどう対応するか。値段がいくらになるのか、また、山の中でどれだけエラーなしで動くのか、サポート体制がどうなるかということが未知数。
- フォワードは、5年で更新するということで計算した。実際10年以上使う人もいれば、山の中で故障すると大変なので中古で売って早めに更新する人もいる。林野庁のHPを見ると、フォワードが全国で2500台ぐらいある。買い替えのタイミングで10台に1台が自動運転フォワードになるとして、年間20台売ればいいかなあと考える。
- 今後の展開として考えられること。
まずは、森林の資源や路網のデータを、林業機械にうまく使ってもらって、今までの非効率をなくしていく。例えば、皆伐で何リユーベの木がでてくるか、ということが分かるので計画に無駄がなくなる。狙った木だけを切れるようになる。例えば、直径50cm以上のだけをとりに行く、間伐では細く育ちが悪いものだけを抜き切りする。
次にその情報をサプライチェーン全体で共有する。林業の場合、木を切るのが川上、丸太を製材するのが川中、ハウスメーカーやバイオマス発電事業者が川下、というようなサプライチェーンがあるが、その間での情報共有がうまくいっていない。川下からすると、欲しい材がいつ供給されるか分からない。川上からするととりあえず切っただすが、どういふ需要があるのか分かっていない。こういったことを解消したい。
その次に、自動化がある。自動運転は、担い手の問題や、林業従事者は労働災害が多いということがある。絶対に必要なだとは思う。安全性という観点からも、国土交通省がアイコンストラクションということで、無人施工にどんどん取り組みはじめているが、そういう世界が林業にもやってくるし、そうしていかなければならない。ただ、まだまだその手前に、解決すべき課題がある。

2-3. 林道や土場における自動運転の方向性 ヒアリング結果

林道や土場における自動運転の方向性について、ヒアリングでは、その他以下のコメントが得られた。

- 自動運転にすることで、夜間の運材が可能になるのでは。
- やれそうなことはたくさんあるが、お金はどうするのか。
- 林道の自動走行は、舗装されているのか、されていないのかで話が違う。一級林道という舗装されているものは、基本的に今の自動車の自動運転技術で問題ないはず。
- どの程度のニーズがあるかどうかで、それに対して開発行為を行うかどうか、ビジネスの観点で検討しなければならない。ごく一部のエリアの限られた用途で、ということになると優先度は低くなる。
- 国の予算の日程は、8月に概算要求が出て、年内にそれが決まって、というスケジュールだと思うが、UDトラックのように海外資本の企業は、年度でなく年の予算管理となっている。例えば、実行費用が国の予算でですとしても、スケジュールによっては対応できない。
- オフロードや私有地で自動で認識、自動で移動するということに新しく取り組もうとしている。農業等を想定。林業はリサーチに引っ掛かってこなかった。
- 公道は平であることや、他の車がルールどおりに走行していることなど、ある程度仮定の上で走行しているところがある。それに対して決められた走行ルートがないようなところや周りの環境が変化することに対してロバスト性が必要になるような環境、例えば、土砂を運んだら周りの形状が変わるとかは、公道よりも若干難しいが、これからはそういう所にも必要になってくるだろうと思っている。
林の中、というような環境だったら、今まで公道で使っている技術がそのまま使える部分もあると思うし、新しい技術開発が必要な部分もちろんある。



3.まとめ

3-1.調査結果の総括 技術面・運用面における課題、及び課題解決に繋がる方策案等について

本調査事業においては、林道における運材トラックの自動運転（隊列走行含む）や、土場でのフォークリフト等による仕分け作業の自動運転の実現性について文献調査やヒアリング調査を実施し、林道の道路環境の特殊性等を踏まえた運材トラック等の自動運転の課題整理に取組み、今後の実証事業や実用化に向けて、施策立案に資する課題のとりまとめを行った。

本調査事業において明らかとなった、林道における運材トラック等自動運転に向けた、①技術面（自己位置推定と周辺環境、障害物検知の高度化）や②運用面（林道の道路環境の特殊性を踏まえた自動運転ロジックの確立）の課題、及びその課題解決に繋がる方策案、関連技術の進展等について、以下のとおり整理をおこなった。

①「技術面」の課題及び課題解決に繋がる方策等

1) 自動運転するために①自己位置認識（推定）、及び②障害物認識（監視）のための技術が求められるが、林道の路面環境が風水雪などの天候で大きく変化する点や、同じ景色が続く、基準となる人工構造物がない山中で、高精細3D地図が作成できるかが課題。

これに対応する関連技術の活用として、ダイナミックマップ作成において、路肩に定点的に磁気マーカやポールを敷設することで周辺の識別をカバーすることが可能である（※令和2年より磁気マーカは道路法上道路付帯物扱いとなっている）。

2) QZSS*など測位衛星システムにより樹木による信号の減衰をどうカバーするか課題である。これに対しては、2024年QZSSの7機体制実現で、複数波の信号による電離圏誤差の改善が期待できる。また、準天頂衛星において利用可能な周波数であるL5信号は、先端突破の能力高い信号で、水分に吸収されにくい周波数帯なので、水分ある樹木を通すことが期待されている。

3) デジタルマップと照合（LiDARやカメラ画像データ）して走行する際に、SLAMにより画像認識精度を高める必要があるが、SLAMは、同じ景色が続くことが苦手であり、その対策が求められる。また、障害物を認識した際に、自動運転車は、避走せずに停止するのみであり、対応するため、遠隔監視・遠隔操作の仕組みが必要である。こうした課題に対しては、自動走行車両に搭載のカメラ・Lidar・ミリ波レーダなどにより障害物などの距離や形状、位置関係を3次元で把握し、その画像情報のAIによる認識と遠隔操作技術の向上と確立に向けて、実証実験結果の蓄積を実施することが必要である。

* QZSS : Quasi-Zenith Satellite Systemの略。準天頂衛星システム、日本及びアジア太平洋地域向けに利用可能とする日本の測位衛星

3-1. 調査結果の総括

技術面・運用面における課題、及び課題解決に繋がる方策案等について

②「運用面」の課題及び課題解決に繋がる方策等

- 1) 林道も一般道と同様に道路交通法等が適用されるが、一般車両や歩行者の通行を規制することが可能であり、運行ルールの確立が必要であり、時間帯別に、一般車両や歩行者の通行規制や、運材トラックの走行を一方通行規制を行うことで、避走やすれ違いを防ぎ、自動運転の走行のルールやロジックを検討する必要がある。
- 2) 遠隔監視・遠隔操作のための、周辺画像情報や制御信号の送信に向けて、超高速・超低遅延の通信網の整備が必要である。この対応策としては、超高速・超低遅延の通信網の整備について、山間地域であり、5G公衆網は未整備であることから、「ローカル 5 G網」の整備を検討することが有効な対応策として考えられる。
- 3) 林道の路面環境を鑑みたカーブやアップダウン、デコボコ、天候による変化へ対応するため、慣性力、積載重量、カーブや上り下りでの影響も考慮し自動走行制御が可能となる自動運転ソフトの開発に向けた検討が必要である。
- 4) 実用化に係るコスト（デジタルマップの整備・更新、自動走行制御ソフト開発、車両の配備など）をどのように分担するか検討が必要である。なお、隊列走行については、自己位置認識も障害物検知も必要なく、前の車両に追従すれば良い一方で、（運用上の選択肢であるが）後続車に乗務員の乗車が必要であり、先頭車運転手の運転上の負荷が大きいなど、運用面で課題が大きいことを考慮する必要がある。
- 5) 市場原理の働く産業構造の構築に向けた林業のIoT化と人材の育成が重要であり、林業の生産流通構造の改革（6次産業化）における運材トラック等の自動運転の果たす役割の深堀と、実用化に係るコストシェアについて検討することが必要である。

3-2. 次年度以降検討すべきこと

本調査事業の結果を踏まえ、今後検討すべき課題について、以下のとおり整理する。

① 林業事業体から見た運材トラック等自動運転の必要性や導入ニーズ等の把握

- ・森林所有者や素材生産業者の視点からの、運材トラックの自動運転や土場作業の林業機械の遠隔操作の必要性の把握。
- ・マーケットインの視点からの、運材トラックの自動運転や土場作業の林業機械の遠隔操作の実現についての導入ニーズの把握。

② 林業の生産流通構造の改革（6次産業化）における運材トラック等自動運転の果たす役割の把握

- ・運材トラックの自動運転や作業の林業機械の遠隔操作が、伐採した材木の搬出作業や運搬の効率化に繋がり、作業コストの低減と収益性の向上に結び付くかの検証。
- ・林業のサプライチェーンにおけるどのステークホルダーが自動運転等を必要としているのかの把握調査。
- ・自動運転等実用化に係るコストを、林業のサプライチェーンで、どのように分担できるかについての分析・調査。

③ 関心のある企業等のネットワーク化及び実証実験に向けた要件検討・整理

- ・本調査事業で明確化した技術課題について検証し、運材トラック等自動運転の実証実験に向けた要件を検討・整理。
- ・運材トラック等自動運転の実証実験に向け、取組み課題の関する情報共有や社会的気運の醸成、パイロット地域に対する事業計画策定や横断的課題の整理等を行う仕組み（ネットワーク化）等について検討を行い、具体のネットワーク化に向けた取組みの実施。

3-3.おわりに

「スマート林業推進における運材トラックなどの自動運転の実現」に向けて (産業構造の変革への貢献)

IoT、ビッグデータ、AIの技術進展により、産業・分野の壁を超えたデータの利活用によるビジネスモデルの変革ならびに第4次産業革命による技術の革新を踏まえて、「Society5.0」を実現していくため、様々な繋がりによって新たな付加価値の創出や社会課題の解決が目指す取組みが展開されつつある。この動きを、DX（デジタルトランスフォーメーション）と定義づけ、教育や医療、行政はじめ、あらゆる産業分野において変革しつつあり、近年新型コロナウイルスのパンデミックが、その動きを加速化している。

この産業構造改革の動きの中、林業の産業構造を変革させる「スマート林業推進」においては、既に関連するICT技術の活用として、

- 高性能林業機械の開発（業務支援ロボット、林業作業アシストスーツ、安全装置用センサ、熱中症対策ウェアラブルシャツなど）
- 通信環境整備（高精細画像処理、高速大容量通信ネットワーク、ローカル5G、携帯電話圏外での緊急連絡システムなど）
- 森林情報の整備（航空レーザ、ドローン、3D測定・画像処理、クラウド、セキュリティ、トレーサビリティなど）
- 鳥獣抑被害対策（カメラ、人感センサ、遠隔操作システムなど）

といった取り組みを見ることができる。

その一方で、2030年の実現を目指す「超スマート社会」の基本戦略である「Society5.0」の実現を支えるIoT、ビッグデータ、5G、AI、ロボティクス、クラウドコンピューティングなどのICT等の先端技術や地理空間情報を駆使し、生産性や安全性の飛躍的な向上、需要に応じた高度な木材生産を可能とする「スマート林業」の推進に向けて、人材の育成、担い手の確保などが求められている。

こうした中、自動運転という最先端技術を、林道での運材トラックや土場での林業機械に適用させようとするチャレンジは、省力化や安全性確保といった直接的な利点にとどまらず、「新しいことへ挑戦する林業」に向けたプレゼンスの向上と若年層へのアピールに結び付き、担い手の確保にも繋がるものと考えられる。さらには、自動運転全般の実用化の「実験場」として産官学のノウハウ集積のフィールドとしても期待されていることから、本調査事業報告書を踏まえた継続的な取り組みが実施されることを期待する。



4.略語のまとめ

4-1. 略語のまとめ

ACC	Adaptive Cruise Controlの略。アダプティブ・クルーズ・コントロール、車間距離制御装置のこと。
ADAS（エイダス）	Advanced Driver Assistance Systemsの略。「先進運転支援システム」「安全運転支援システム」のこと。
AGV	Automatic Guided Vehicleの略。無人搬送車のこと。
CASE（ケイス）	Connectivity（つながる）、Autonomous（自動）、Shared & Service（所有から利用やサービス）、Electric（電気・電動化）の頭文字をとったもの。2016年にメルセデス・ベンツの会長が中長期戦略の中で述べたことがはじまりで、近年の自動車産業の変革のキーワードとして用いられる。
GNSS	global navigation satellite systemの略で、衛星測位システムの総称。米国のGPS（Global Positioning System）、日本の準天頂衛星（QZSS）はGNSSに含まれる。
IMU	Inertial Measurement Unitの略。x,y,z軸の加速度と角速度を計測する6軸センサのこと。
IoT（アイオーティー）	Internet of Thingsの略。多種多様な「モノ」がインターネットに接続され、相互に情報をやり取りすること。
ITS	Intelligent Transport Systemの略。高度道路交通システムのこと。
Maas（マース）	Mobility as a Serviceの略。スマートフォンから、電車やバスはじめカーシェア、レンタサイクルなどの移動手段を検索し、予約から支払いまでスムーズに行えるため、ユーザーの利便性向上や移動の効率化が図られる移動サービスのこと。ICTの進化により新しく出現したサービスと定義付けられる。
ODD	Operational Design Domainの略。運行設計領域のこと。自動運転システムが作動する前提となる走行環境条件で、自動運転システムごとに条件を設定し、すべての条件を満たす際に自動運転システムが正常に作動する。
SAE	米国の自動車技術者協会 Society of Automotive Engineersのこと。1905年設立。航空宇宙、自動車、商用車業界の12万人を超える技術者や研究者で構成されており、学会や展示会の開催、標準化や規格の制定などを行う。
SLAM（スラム）	Simultaneous Localization and Mappingの略。Lidarなどのセンサを搭載した移動体が走行を行いながら周囲の環境をセンシングすることで、自己位置推定と環境地図作成を同時に行うこと。
Society5.0	狩猟社会（Society 1.0）、農耕社会（Society 2.0）、工業社会（Society 3.0）、情報社会（Society 4.0）に続く、新たな社会を指すものでサイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）のこと。
QZSS	Quasi-Zenith Satellite Systemの略。準天頂衛星システム、日本及びアジア太平洋地域向けに利用可能とする日本の測位衛星のこと。