

林業機械の自動化・遠隔操作化に向けて

2023年3月15日時点

林業イノベーションハブセンター（森ハブ）において作成
(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/morihub/morihub.html>)



林業機械の自動化・遠隔操作化に向けて

目次

第1章 林業機械における自動化・遠隔操作化の目的と現状

- 1 林業機械における自動化・遠隔操作化の目的と現状

第2章 林業の各作業工程における課題とその解決に貢献する

自動化・遠隔操作化

- 1 林業機械の自動化・遠隔操作化に必要な要素技術
- 2 林業機械の自動化・遠隔操作化に必要な通信技術
- 3 林業の各作業工程ごとの自動化・遠隔操作化フロー
 - 3 - 1 伐採
 - 3 - 2 集材
 - 3 - 3 造材
 - 3 - 4 運材
 - 3 - 5 造林（植栽）
 - 3 - 6 造林（下刈）
- 4 林業機械の電動化に向けて

第3章 林業機械の自動化・遠隔操作化に向けた要素技術

- 1 通信技術
- 2 情報収集・認知・判断・行動

第4章 林業機械の自動化・遠隔操作化による将来の作業システム例

- 1 車両系作業システム-緩傾斜地
- 2 車両系作業システム-中・急傾斜地 -
- 2 架線系作業システム-タワー-ヤ-ダー
- 3 造林作業

第5章 林業機械の自動化・遠隔操作化の事例集

- 1 伐採/遠隔操作
- 2 集材（架線系）/遠隔操作化
- 3 集材（架線系）/自動化
- 4 集材（車両系）・運材/遠隔操作化
- 5 集材（車両系）・運材/自動化
- 6 造林（植栽）/遠隔操作化
- 7 造林（下刈）/遠隔操作化
- 8 造林（下刈）/通信システムを活用した遠隔操作化

第 1 章 林業機械における自動化・遠隔操作化の目的と現状

林業機械における自動化・遠隔操作化の目的と現状

林業機械における 自動化・遠隔操作化 の目的

- 近年、ICTやロボット技術、AI等の発展が目覚ましく、このような先端技術が社会や経済を変えつつある。他産業の取組と同様、国内林業においても新技術の開発から普及に至る取組を効果的に進め、林業現場への導入を加速化することを目的として、令和元年12月に「林業イノベーション現場実装推進プログラム」が策定され、林業機械開発においても自動化・遠隔操作化を進展させることが示されている。「林業イノベーション現場実装推進プログラム」は、森ハブでの検討やデジタル田園都市国家構想基本方針等を踏まえ、令和4年7月にアップデートされている。
- 「林業イノベーション現場実装推進プログラム」においては、林業イノベーションにより、自動化機械等の普及による省力化・軽労化、生産性・安全性の向上や国内林業全体のコストダウン・労災事故数低減の実現、3K林業（きつい、危険、高コスト）からの脱却等を目指しており、林業機械の自動化・遠隔操作化はまさにその実現のための重要な要素として位置付けられる。
- また、日本国内の林業施業地の中には傾斜・地質等の諸条件により林道・作業道の開設が容易ではないなど条件が厳しいエリアは多い。主に素材生産事業の生産性を高めるためベスマシンの大型化も進展しているが、道が細い林業施業地ではそもそも機械の大型化が困難であるという課題がある。このようなエリアにおいても、自動化・遠隔操作化技術が活用され、生産性・安全性の向上が目指される。

林業機械における 自動化・遠隔操作化 の現状

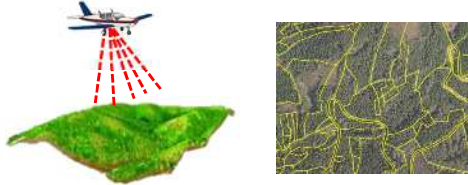
- 我が国の林業機械開発においては、労働人口減少対策、生産性や安全性向上といった目的から、自動化・遠隔操作化に関する林業機械開発が進められている。
- 林業機械の自動化・遠隔操作化については、その将来像を「林業イノベーション現場実装推進プログラム」等において提示しており、毎年それらの実現に向けた機械開発・実証事業が展開されている（P5以降参照）

林業イノベーションの展開方向（全体像）

- 日本の厳しい地形条件等に起因するきつい・危険・高コストの3K林業や、記憶・経験に頼る林業から脱却するため、ICT等を活用し資源管理や生産管理を行う「スマート林業」や、自動化機械の開発、エリートツリー等の育種などの技術革新により、伐採・搬出や造林を省力化・軽労化
- 日本固有のスギから製造する「改質リグニン」などの木質新素材により、林業の枠を超える新たな産業を創造

Point1 記憶から、デジタル記録の森林管理へ

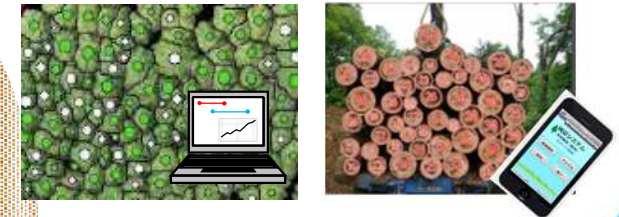
- 資源・境界情報をデジタル化することで、人手と時間をかけることなく、森林を管理・利用
- レーザ計測、ドローン、ICT機器を使用し、路網を効率的に整備・管理



経験から、ICTによる生産管理へ

Point2

- 経験則に頼る木材の生産管理にITを導入
- 資源・境界の管理、生産計画の策定、木材生産の進捗管理、事業の精算を効率的に運営



Point3 3K林業からの解放（生産）

- 伐採～運搬作業を自動化することで、林業生産性をアップ
- 人による作業を少なくし、労働災害の発生しやすい作業を根絶やしに



収穫50 30年へ Point4
林業の時間軸を変える
早く育てて収穫できる林業の実現



エリートツリー、コウヨウザンなど
早生樹の活用

3K林業からの解放（造林）

Point3

- 一貫作業、低密植栽、ドローン等により、造林作業を省力化・軽労化し、コストも削減
- 人力に頼る造林作業、特に、夏場の過酷な下刈り作業から解放



Point5 丸太オンリーからの脱却

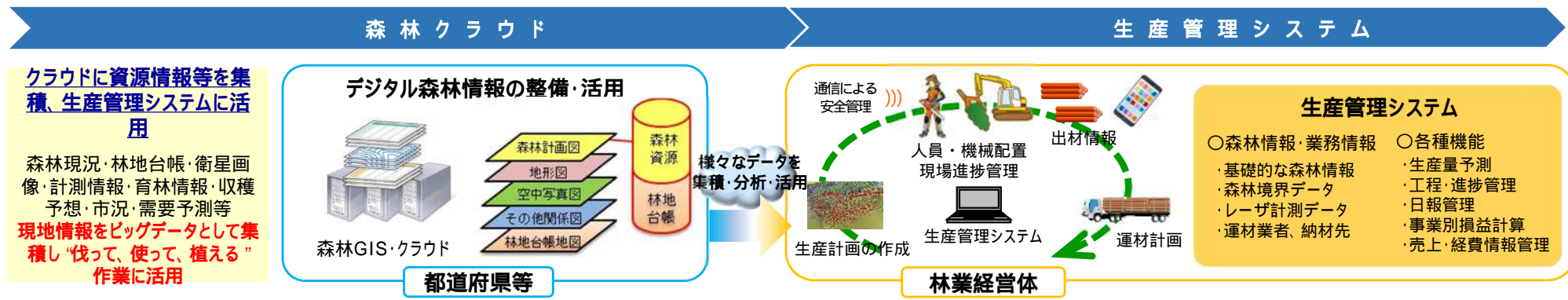
- 従来の木材利用に加え、改質リグニン、CNF(セルロースナノファイバー)等の開発・普及により、新たな利用を推進
- 「林業」の枠を超える産業・価値を創出するとともに、プラスチック代替製品として身近に利用



林業イノベーション現場実装推進プログラム（令和4年7月アップデート版）から抜粋

林業イノベーションによる作業オペレーションの将来像

ICT等の導入により徹底した自動化を追求することで、生産効率の劇的な向上と労働災害の根絶を実現



日常的な管理・点検業務にドローンを活用

令和2年11月16日開催林政審議会資料から抜粋

機械開発事業の現状

3K (危険、きつい、高コスト) からの解放

労働人口減少対策

- ・女性、高齢者の活用
- ・入職障壁、技能習得障壁の低減

女性、高齢者でも作業が容易。
機械操作に技能、経験を問わない。

+ 先端技術



ロボティクス



AI



通信



センシング

制御工学

テクノロジー

作業の自動化・無人化

省人化

効率化

生産年齢人口の減少

遠隔操作化



作業の省力化・軽労化



作業の高度化・効率化



～2014

2015～これまで

現在

これから

主施業：間伐



皆伐・**再造林**

大径木の増加、急傾斜地、路網未整備地での作業の増加

作業量は今後増加する。
作業（環境）の質も、
きつく、厳しくなる。

過去事業で開発した主な林業機械やソフトウェア等

伐採・搬出

伐採

遠隔操作伐倒・搬出作業機械



遠隔操作により傾斜地に進出し、伐倒から搬出までを行う林内作業機械を開発。伐倒・搬出作業の省人化、軽労化及び安全性の向上を図る。製品化に向けて改良・実証中。

集材

遠隔操作架線集材システム



架線式グラップル

(電子制御)油圧集材機



遠隔操作が可能な架線式グラップルと油圧集材機による「新たな架線集材システム」を開発。架線集材作業の省人化及び生産性、安全性の向上を図る。令和3年度より販売開始。集材自動化に向けたAI技術等を活用したシステムを改良・実証中。

運材

遠隔操作ICTフォワーダ



3D-LiDAR

センシング技術等を活用して路網形状等のデータ記録を行い、遠隔操作で走行及び材積込作業等を行うフォワーダを開発し、作業の省人化、効率化、安全性の向上を図る。製品化及び将来的な自動運転に向けた技術等の開発・実証中。

機械の自動化・遠隔操作化を支援するシステム機器等

森林スマートナビシステム



(スマホ装着型)林内位置検出センサ

立木情報
立木ID、胸高直高等

スマートナビ表示画面

機械の自動走行や遠隔操作に必要な立木デジタル情報や目標地までのルート情報等をスマートグラス等で提供するシステムを開発。森林管理及び施業の省人化、軽労化及び安全性の向上を図る。(令和5年度市販化予定)

地拵え

多目的造林作業機械



地拵え用アタッチメント
(乗用操作タイプ)

植栽用アタッチメント (遠隔操作タイプ)



アタッチメントを交換することにより、1台で地拵えや下刈りなどができ、傾斜地でも走行可能な造林用作業機械を開発し、作業の軽労化、効率化及び安全性の向上を図る。令和元年度より乗用操作タイプの機械を販売開始。植栽用アタッチメント及び遠隔操作技術を改良・実証中。

植栽

造林作業支援システム



植栽計画自動生成アプリ

植栽箇所ナビシステム装置



GNSSアンテナ

AI画像解析により地形や伐根などを識別し、苗木の植栽位置を自動的に決定してGNSSにより誘導を行うソフトウェア等を開発し、植栽や下刈り作業の省力化、効率化を図る。製品化に向けて改良・実証中。

下刈り

遠隔操作下刈り作業機械



急傾斜かつ根株や末木枝条が残る凸凹な植栽地況でも下刈り作業が可能な遠隔操作式の下刈り作業機械の開発し、下刈り作業の省人化・軽労化、安全性の向上を図る。(令和5年度市販化予定)

造林

林内通信システム



通信システム機器セット

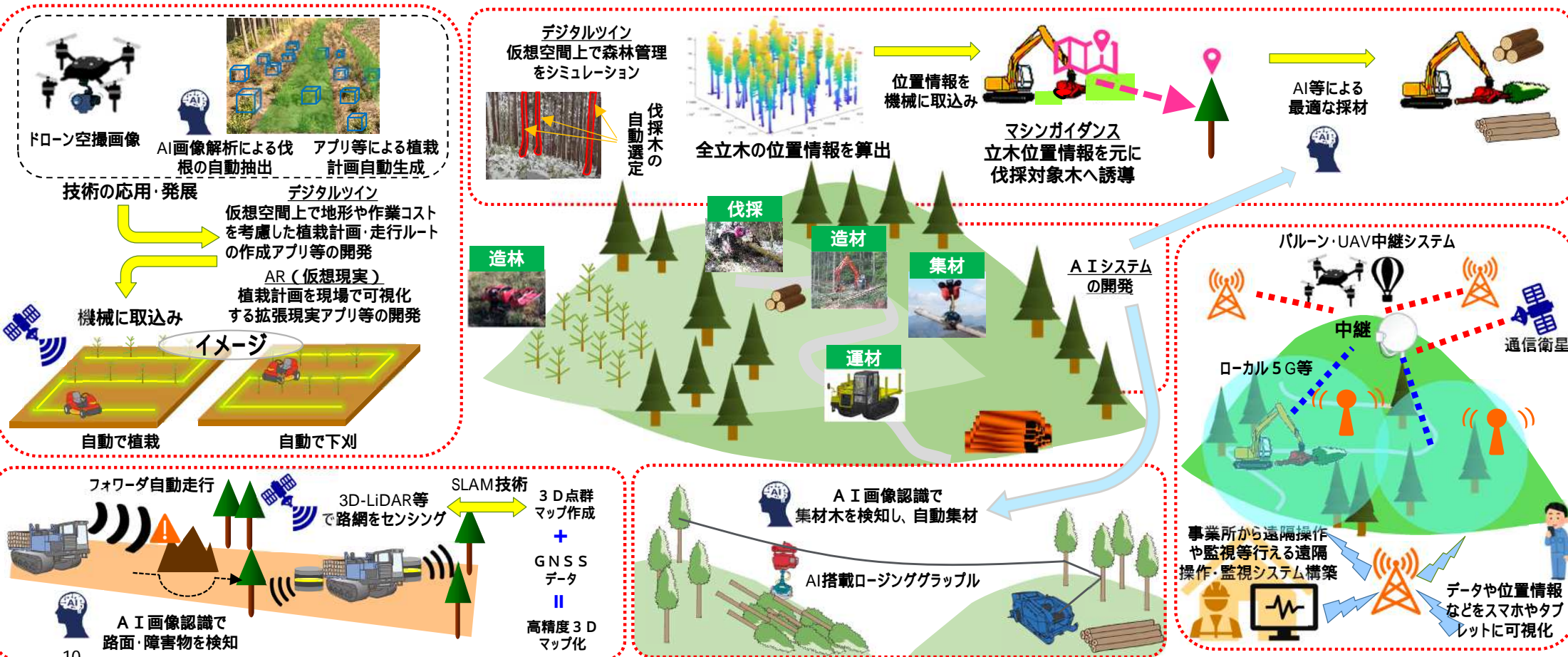
LPWAを活用して携帯電波圏外の森林内でも作業者同士がデータ通信を行う通信機器及びアプリを開発。令和2年度より販売開始。

第2章

林業の各作業工程における課題とその解決に貢献する 自動化・遠隔操作化

林業機械における自動化等の実現イメージ

- ✓ 森林内は、平地と異なり、地形が複雑かつ立木等に遮られ、電波が減衰しやすいため、無線通信が困難な場所が多いことや、GNSS等の測位情報も精度が低下し、位置情報が不安定であるといった、**林業機械の自動化・遠隔操作化にはボトルネックが存在**。
- ✓ 3D-LiDARを搭載した高精度林内位置検出センサにより、全立木の位置情報を算出。立木位置情報を元に自己位置を把握し、マシンガイダンスにより対象木へ誘導。
- ✓ AI等による木の状態から最適な採材の実行。AI搭載機械の画像認識による集材木の検知・集材。
- ✓ 条件が厳しい森林内では、SLAM技術（3D-LiDAR等）で路網等をセンシングし、3Dマップを作成。自己位置を把握し、自動走行。
- ✓ 立木等の影響を受けにくい伐採跡地などは、ドローンを用いて取得した高精度地形データにより、デジタルツイン上で地形等を考慮した植栽計画や機械の走行ルートを作成し、作業現場で可視化。GNSSも活用し自動走行。
- ✓ さらに、デジタルツインによる森林管理のシミュレーションや、AIの活用、自動化に必要な長距離・大容量の通信が可能となる森林内通信システムの構築など、**林業機械の自動化・遠隔操作化を進めるためには、様々な技術や手法を組み合わせる必要がある**。

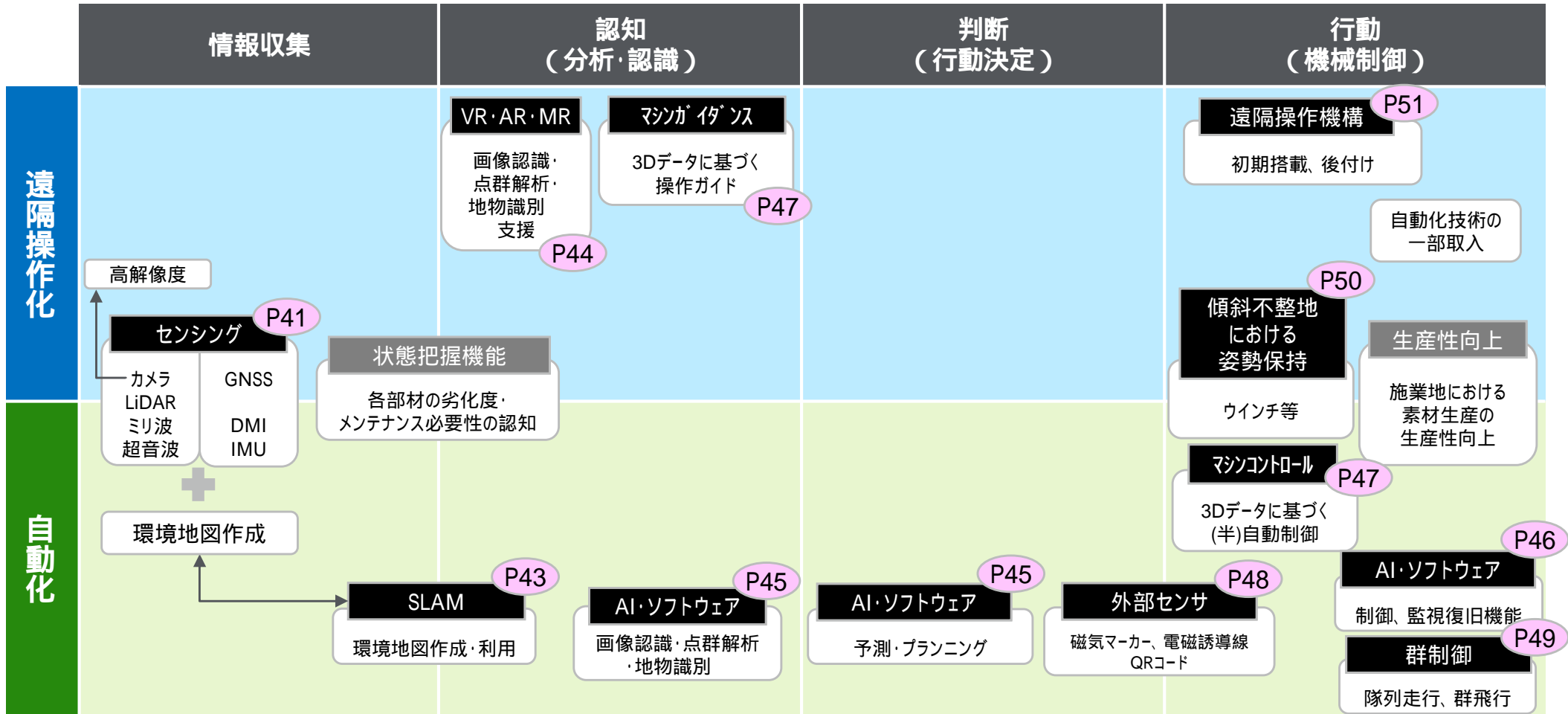


1 . 林業機械の自動化・遠隔操作化に必要な要素技術

林業機械の自動化・遠隔操作化に必要な要素技術

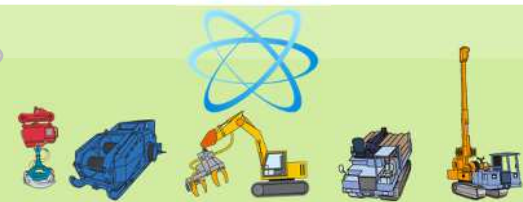
林業機械の自動化・遠隔操作化にあたっては、森林内における通信システムを構築し、各要素技術の開発・実装が必要となる。林業機械の自動化・遠隔操作化に必要な要素技術を機能別に分類すると、下図のように体系化される。

■ : 技術 (第3章に詳細記述) □ : 機能・種類 ▨ : 未開発技術・能力



森林内通信システムの構築

通信技術 P32



2 . 林業機械の自動化・遠隔操作化に必要な通信技術

森林における通信技術活用の方向性

- 森林については携帯電話の不感地帯も多いため、通信の確保に向けて、現場ニーズの高い緊急通報や獣害対策について推進していく必要がある（技術的に確立されたLPWA等を活用）。
- LPWAでは対応が困難な林業機械の遠隔操作や生産データの送信等に向けて、衛星コンステレーション等の新しい技術も含め、森林内の通信への適用可能性について検証・活用を進める。
- さらに、将来的な大容量高速通信を用いた林業機械の自動化・遠隔操作化の実現を目指した技術開発にも取り組む。
- 今後の森林における通信技術活用の方向性としては、広域化・高速化・多重化が挙げられる。

通信の確保

LPWA等の活用により、これまで通信手段のなかった森林を「つながる」化

- 作業員間の通信（チャット通信）
- 災害発生時の緊急通報
- 獣害対策の省力化（ワナの遠隔監視）



獣害対策の省力化
（ワナの遠隔監視）



災害発生時の
緊急通報



・LPWAの活用により、携帯電話圏外でも緊急通報等が可能
・3Gのみのエリアについて、停波後も通信手段を確保



出所：NTT DOCOMOホームページより
<https://www.docomo.ne.jp/area/>

より高度な通信の活用

現場のニーズや技術的可能性を勘案しつつ、求められる技術を実装

- 遠隔操作機械の開発・実証

・Wi-Fi等を活用した遠隔操作機械の開発・実証



- 林内における衛星コンステレーションの実証

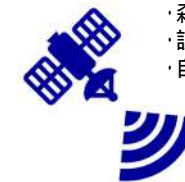
・森林内で接続を確保するための技術的検討
・設備投資についてのコスト的検討



将来的な取組

現場のニーズや技術的可能性を勘案しつつ、求められる技術を研究・開発

- 5G等を活用した遠隔操作機械や自動化機械の開発

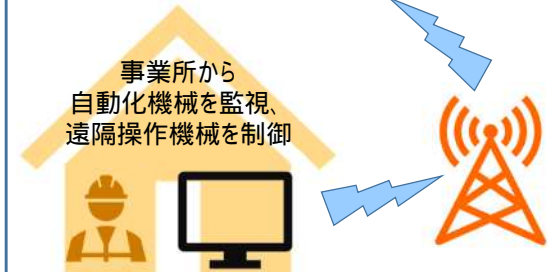


・森林内で接続を確保するための技術的検討
・設備投資についてのコスト的検討
・自己位置把握技術の技術的検討

GNSSにより
位置情報を受信




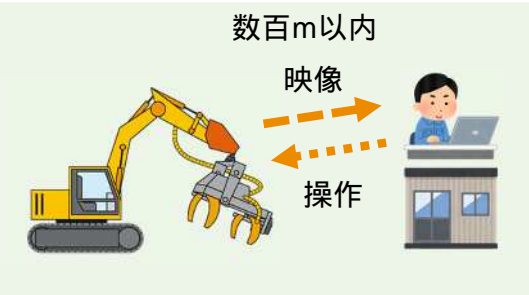
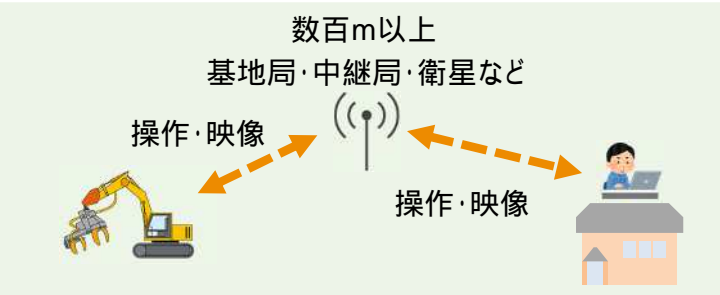
事業所から
自動化機械を監視、
遠隔操作機械を制御



遠隔操作・自動作業監視イメージ図

林業機械との通信方式の現状

森林内通信システムの構築にあたり、機械とオペレーターとの通信方式は、主に以下の3通りに分けられるが、特に非有視界での遠隔通信の実現にあたっては、遠隔の森林外から森林内へのネットワーク接続を確保する必要がある。

接続方式	直接接続方式	映像伝送システムを用いた接続方式	
通信方式	有視界直接通信	非有視界直接通信	非有視界ネットワーク通信
イメージ図			
主な操作用無線	特定小電力無線（429MHz帯、920MHz帯）		小電力データ通信システム（2.4GHz帯、5.6GHz帯） 無人移動体画像伝送システム（2.4GHz帯、5.7GHz帯） 無線アクセスシステム（5GHz帯）
主な映像用無線	不要	小電力データ通信システム（2.4GHz帯）	
免許・資格	免許:不要、資格:不要		小電力データ通信システム 免許:不要、資格:不要 無人移動体画像伝送システム 免許:要、資格:要 無人アクセスシステム 免許:要、資格:要
接続可能距離目安	目視可能範囲（50m程度以内）	数百m以内	数百m以上
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 最も簡易かつ低コスト。 	<ul style="list-style-type: none"> データ量上限及び混信の影響があるため、接続台数（映像本数）に限りがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 中継局等の設置が必要。 複数の機械を接続することが可能。 コストが高く、通信の運用にあたっては専門性を要する。 画質の低下・伝送遅延が発生する。

出所：無人化施工 設計施工マニュアル 平成27年4月 北陸地方整備局 https://www.hrr.mlit.go.jp/river/pdf/H27_mujin_manual.pdf

[ACTEC] 令和4年度先端建設技術セミナー「5Gを活用した現場実証と無人化施工設備計画の考え方」 <https://www.actec.or.jp/seminar/pdf/20220907/2022090703.pdf> を基に作成

(参考例) 林業機械の自動化・遠隔操作化に必要な伝送速度の推定 (作業システム別)

< YouTubeにおける推奨環境 (<https://support.google.com/youtube/answer/78358?hl=ja>) >

伝送内容	映像SD (720×480)	映像HD (1280×720)	映像2K・フルHD (1920×1080)	映像4K (3840×2160)	コントロール
推奨伝送速度	1.1Mbps	2.5Mbps	5Mbps	20Mbps	0.2Mbps (注1)

注1 下記より引用

< 総務省 令和3年度ローカル5G開発実証報告書 No. 4 ローカル5Gを活用した山間部林業現場での生産性向上および安全性向上のための実用化モデル検証 全体版P.248 >
(<https://go5g.go.jp/carrier/%E4%BB%A4%E5%92%8C%EF%BC%93%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%82%AB%E3%83%AB%E3%83%95%EF%BD%87%E9%96%8B%E7%99%BA%E5%AE%9F%E8%A8%BC%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8/>)

実際の伝送量は、映像の内容 (fps数、動きや色の多さ)、圧縮技術等により大きく変動するため、余裕幅を考慮する必要あり

作業システム (例)		伐採・搬出				伝送速度推計	造林		伝送速度推計
例 目視内 遠隔操作	使用機械	伐採 【ハーベスタ】	集材 【グラップル】	造材 【ハーベスタ】	運材 【フォワーダ】	約 1Mbps	植栽 【地拵機械】	下刈 【下刈機械】	約 0.4Mbps
	伝送内容	• コントロール	• コントロール	• コントロール	• コントロール		• コントロール	• コントロール	
	台数	1	1	1	1		1	1	
例 目視外 遠隔操作	使用機械	伐採 【ハーベスタ】	集材 【グラップル】	造材 【プロセッサ】	運材 【フォワーダ】	約 36Mbps	植栽 【地拵機械】	下刈 【下刈機械】	約 11Mbps
	伝送内容	• コントロール • カメラ (HD)×2	• コントロール • カメラ (HD)×2	• コントロール • カメラ (HD)×4	• コントロール • カメラ (HD)×6		• コントロール • カメラ (HD)×2	• コントロール • カメラ (HD)×2	
	台数	1	1	1	1		1	1	
例 目視外 自動化	使用機械	伐採 【ハーベスタ】	集材 【集材機】	造材 【ハーベスタ】	運材 【フォワーダ】	約 21Mbps	植栽 【地拵機械】	下刈 【下刈機械】	約 11Mbps
	伝送内容	• コントロール • カメラ (HD)×2	• コントロール • カメラ (HD)×2	• コントロール • カメラ (HD)×2	• コントロール • カメラ (HD)×2		• コントロール • カメラ (HD)×2	• コントロール • カメラ (HD)×2	
	台数	1	1	1	1		1	1	
共通	行動範囲	数ha	数ha-数十ha	数百m ²	数ha-数十ha		数ha	数ha	

カメラの画質・台数は、現場条件に応じて、安全を確保するために必要な規格・数量を検討する。

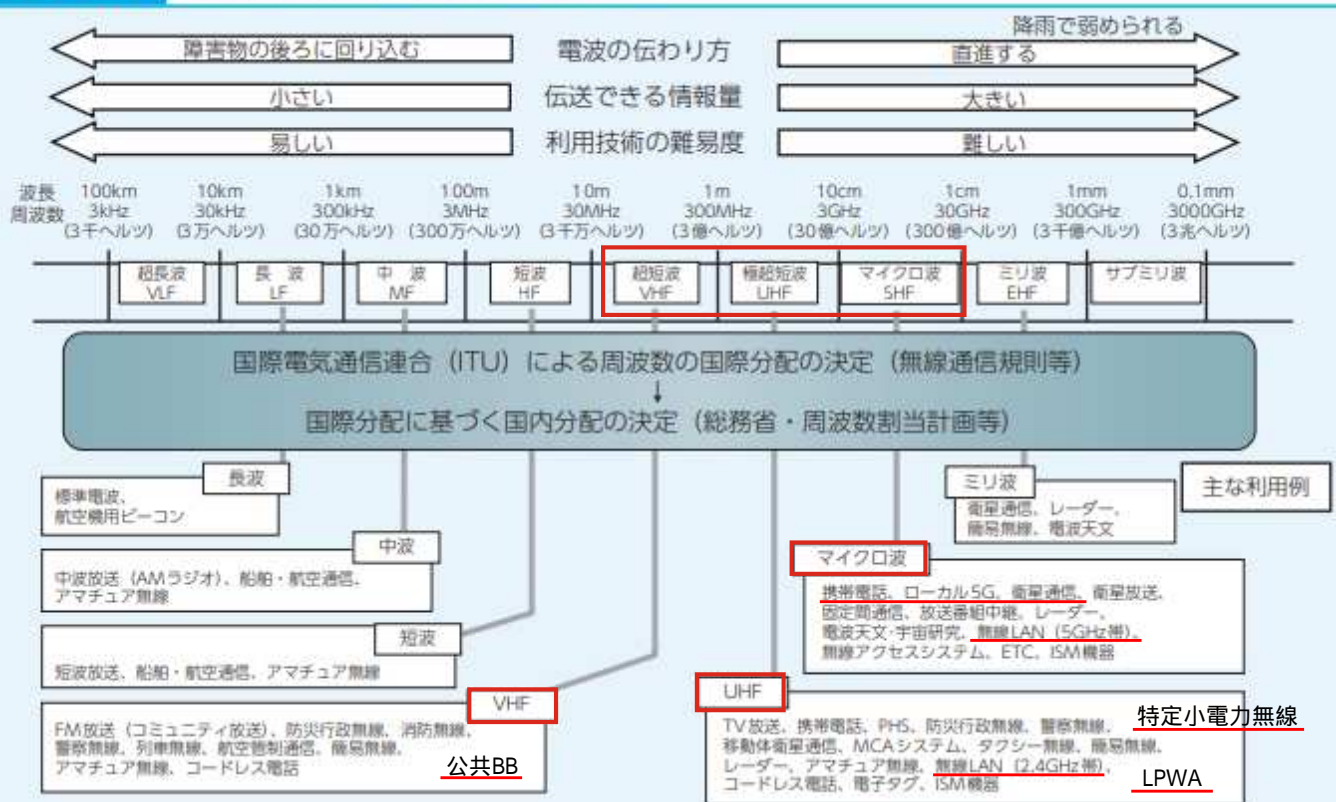
森林内での接続の確保に有効な電波（周波数帯）

森林内へのネットワークの構築及び、林業機械との接続を確保するためには、下記条件を満たす電波特性が必要である。

- ✓ **位置情報、音声・映像情報、センシングデータ、動作指示信号**などのデータ伝送が可能。
- ✓ **樹木等の障害物や、地形に起伏が激しい森林内（見通し外）**での伝送が可能。

周波数帯	波長	特徴
超短波	1～10m	直進性があり、電離層で反射しにくい性質もあるが、 山や建物の陰にもある程度回り込んで伝わる ことができる。防災無線や消防無線など多種多様な移動通信に幅広く利用されている。
極超短波	10cm～1m	超短波に比べて直進性が更に強くなるが、 多少の山や建物の陰には回り込んで伝わる こともできる。携帯電話を初めとした多種多様な移動通信システムを中心に、デジタルテレビ放送、空港監視レーダーや電子レンジ等に幅広く利用されている。
マイクロ波	1～10cm	直進性が強い性質を持つため、特定の方向に向けて発射するのに適している 。主に固定の中継回線、衛星通信、衛星放送や無線LANに利用されている。

図表 3-4-1-1 我が国の周波数帯ごとの主な用途と電波の特徴



周波数帯ごとの特性から下記周波数帯を用いた通信技術の検討が有用

周波数帯	主な通信
VHF帯	公共BB
UHF帯	無線LAN (2.4GHz)、LPWA、特定小電力無線 (429MHz帯、920MHz帯)
マイクロ波帯	ローカル5G、衛星通信、無線LAN (5GHz)

なお、周波数の割当は、随時見直しがされているため、最新の動向については、総務省の「周波数再編アクションプラン」 (<https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/saihen/>) を参照。

出所：令和4年版情報通信白書 図表3-4-1-1を基に作成

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/pdf/index.html>

遠隔の森林外から森林内へのネットワーク構築手法

VHF帯、UHF帯、マイクロ波帯による通信技術の中で、遠隔の森林外から森林内へのネットワークを構築するためのバックホール回線と、森林内で林業機械等との接続を行うためのアクセス回線の組み合わせは以下の通り。

	バックホール回線	アクセス回線	容量 / 距離	特徴
1	P34 VHF帯自営ブロードバンド (公共BB)	P37 Wi-Fi (LPWA) P35	<バックホール回線> <ul style="list-style-type: none"> 公共BB：最大10Mbps / 10km以上(P34参照) ローカル5G：(1) 下り最大20Gbps 上り最大10Gbps 	<バックホール回線> <ul style="list-style-type: none"> 中継機能により、森林内への通信範囲を構築する。 中継器は高価。
	P39 ローカル5G		<アクセス回線> <ul style="list-style-type: none"> Wi-Fi：数十Mbps以上 / 最大約100m(2) (LPWA)(P35参照) 例1：Wi-SUN FAN：数百Kbps / 最大1km弱 例2：LoRa：250bps-50Kbps / 数km-数十km	
2	P36 衛星通信		<バックホール回線> (例) Starlink(標準) 下り20-100Mbps、上り5-15Mbps(3) <アクセス回線> 同上	<バックホール回線> <ul style="list-style-type: none"> 見通しがよいところに受信機を設置し、そこから有線でWi-Fiルーター等へ接続して使用。 通信利用料が必要
3	携帯電波網(3G、4G)	中継機能による通信網拡大 (例：中継器、バルーン・UAVなど) P38	<バックホール回線> <ul style="list-style-type: none"> 携帯電波網(4G)(1) 下り最大1Gbps 上り最大数百Mbps	<アクセス回線> <ul style="list-style-type: none"> 森林の上空に携帯電波網が通っている場合に構築可能。 バルーン・UAVの場合は、飛行にあたり天候・滞空時間等の制約がある。
4	光回線	ローカル5G P39	同上	<アクセス回線> <ul style="list-style-type: none"> 5Gネットワークを、指向性アンテナを用いて通信範囲を広げる方法。到達範囲は数百mなので、中継機能が必要。
	携帯電波網(3G、4G)			

1 出所：令和2年度情報通信白書P19 <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/pdf/02honpen.pdf>

2 出所：総務省 無線LANビジネス研究会(第1回)資料1-4「無線LANの現状について」 https://www.soumu.go.jp/main_content/000152595.pdf

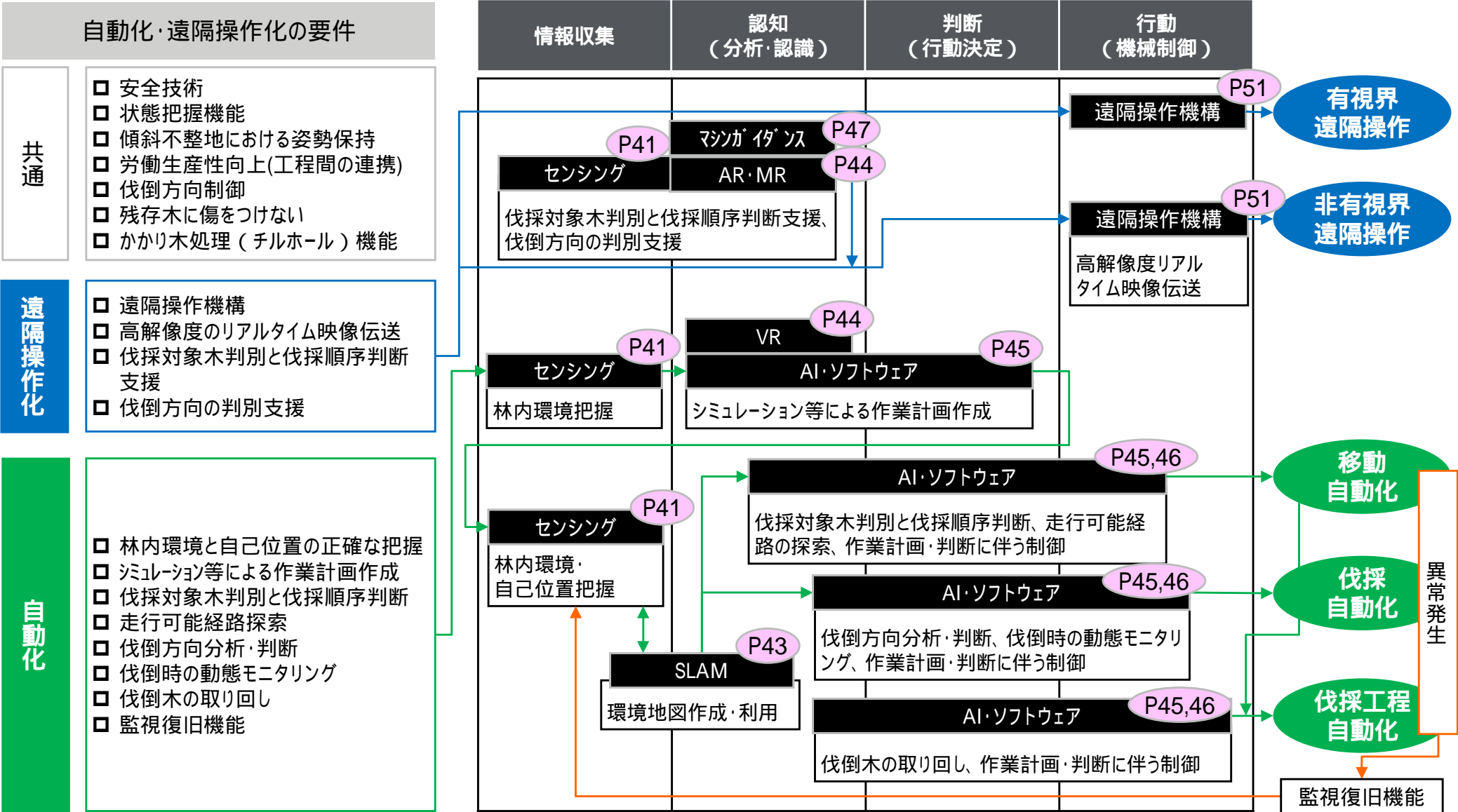
3 出所：STARLINK仕様書 <https://www.starlink.com/legal/documents/DOC-1002-69942-69>

3 . 林業の各作業工程ごとの自動化・遠隔操作化フロー

3 - 1 . 伐採

現 状

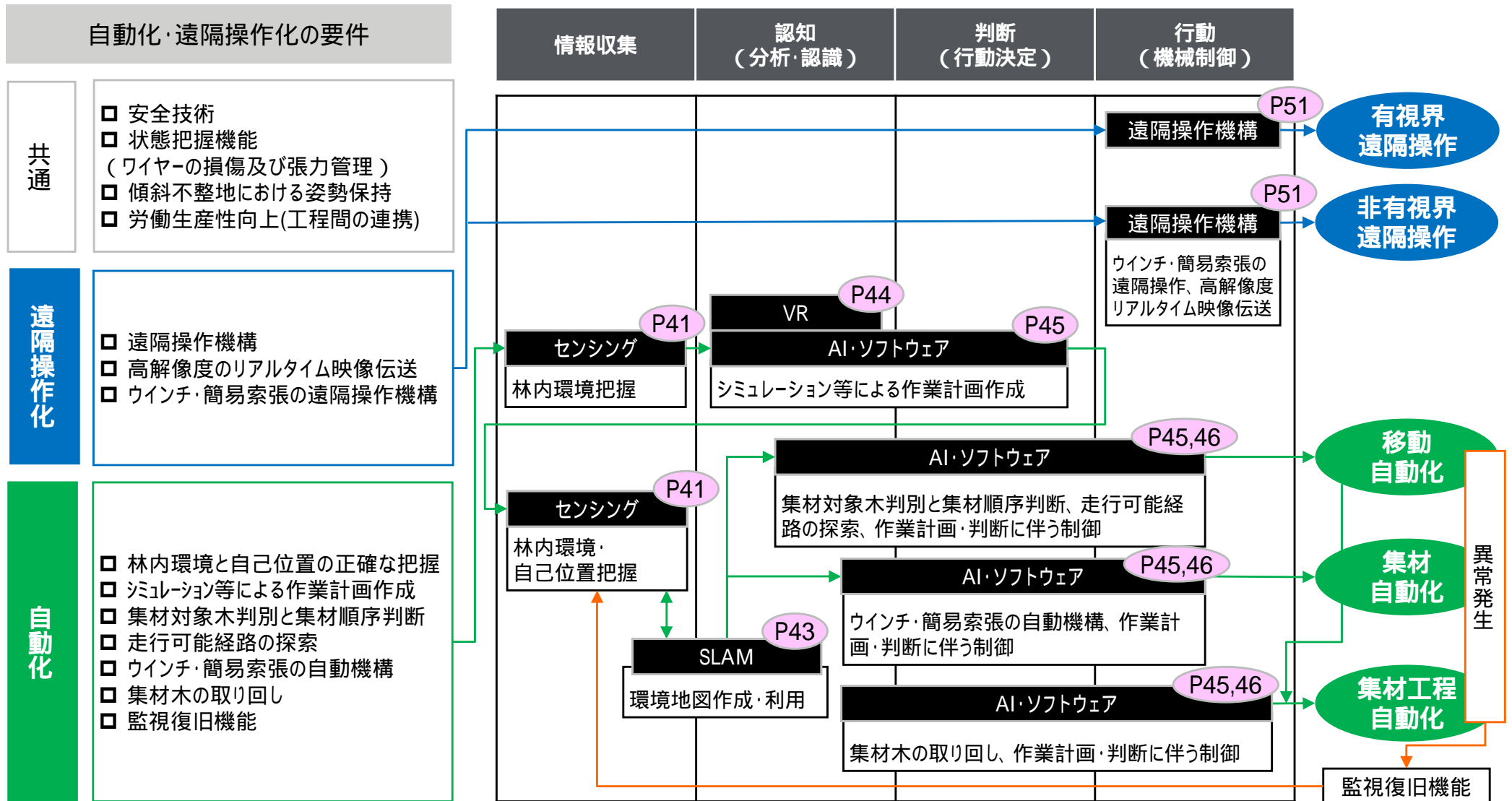
- ✓ 基本的には、人力によるチェーンソー伐採が多く、労働災害が多い。
- ✓ 緩傾斜地や路網密度が高いエリアでは、ハーベスタ等による機械伐採も行われている。
- ✓ 特に自動化・遠隔操作化による無人化・安全性の向上が重要である。



3 - 2 . 集材（車両系）

現 状

- ✓ 素材生産におけるボトルネックの工程
- ✓ 車両系作業システムの現場目安として緩傾斜地か、集材距離が100m以内となる路網密度が高い森林。作業内容は、森林内で機械が侵入、もしくはウインチ・簡易索張で伐採（・造材）された木を作業道まで引き寄せている。
- ✓ 特に生産性の向上が重要な工程である。



3 - 2 . 集材（架線系）

現 状

- ✓ 素材生産におけるボトルネックの工程
- ✓ 架線系作業システムの現場目安としては、集材距離が100m以上で、索張距離に応じた路網密度で充足する。作業内容は、索張により伐採した木を吊るして作業道まで引き寄せるもので、高度な技術と架設撤去に複数の人員を要する。
- ✓ 集材機による方式においては、有視界の遠隔操作化は実用化されており、集材機及びタワーヤードにおいては、搬器の自動移動が実用化されている。
- ✓ 特に生産性の向上が重要な工程である。

自動化・遠隔操作化の要件

共通

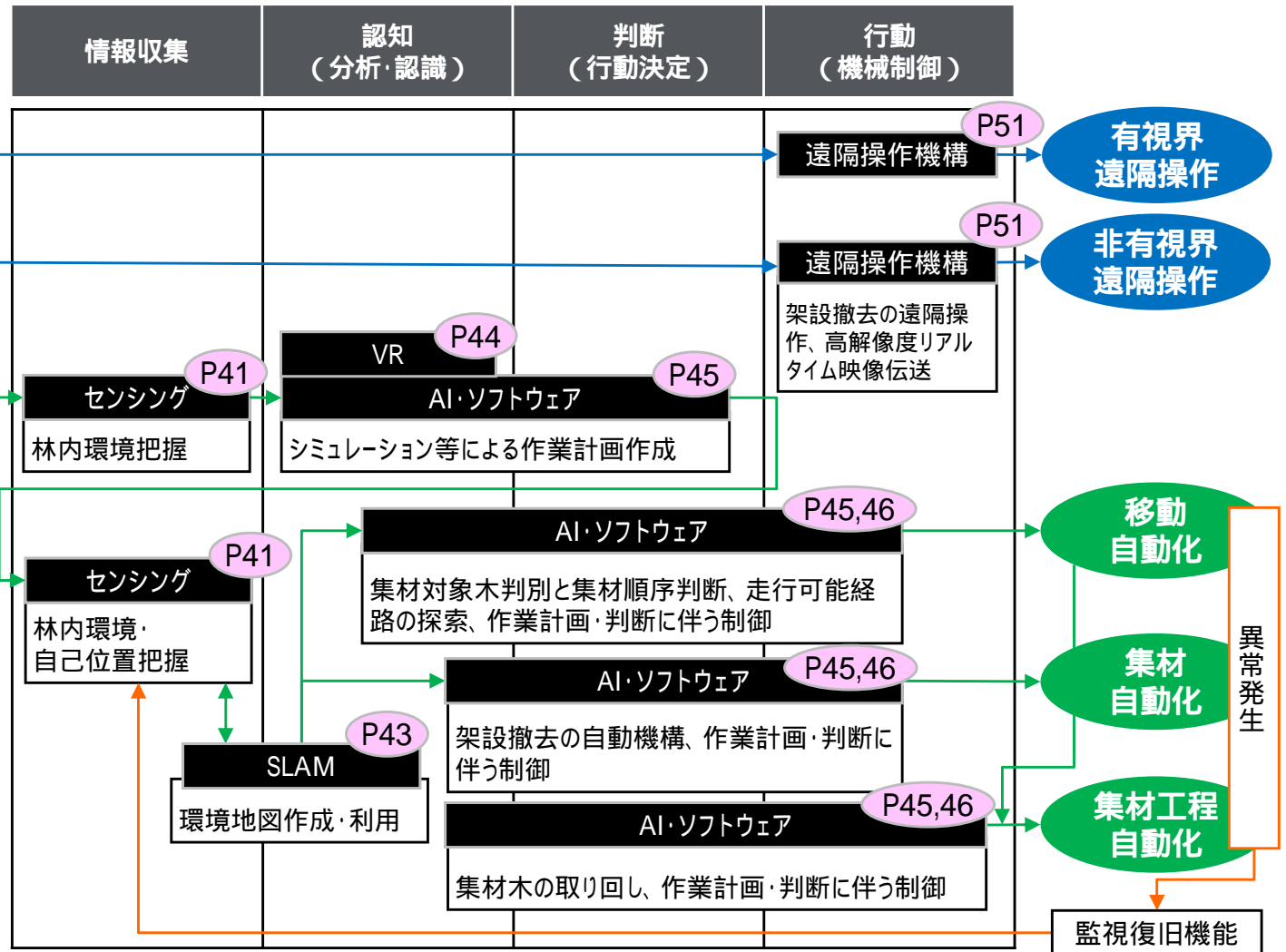
- 安全技術
- 状態把握機能
(集材機のドラム等)
(ワイヤーの損傷及び張力管理)
- 傾斜不整地における姿勢保持
- 労働生産性向上(工程間の連携)

遠隔操作化

- 遠隔操作機構
- 高解像度のリアルタイム映像伝送
- 架設撤去の遠隔操作機構

自動化

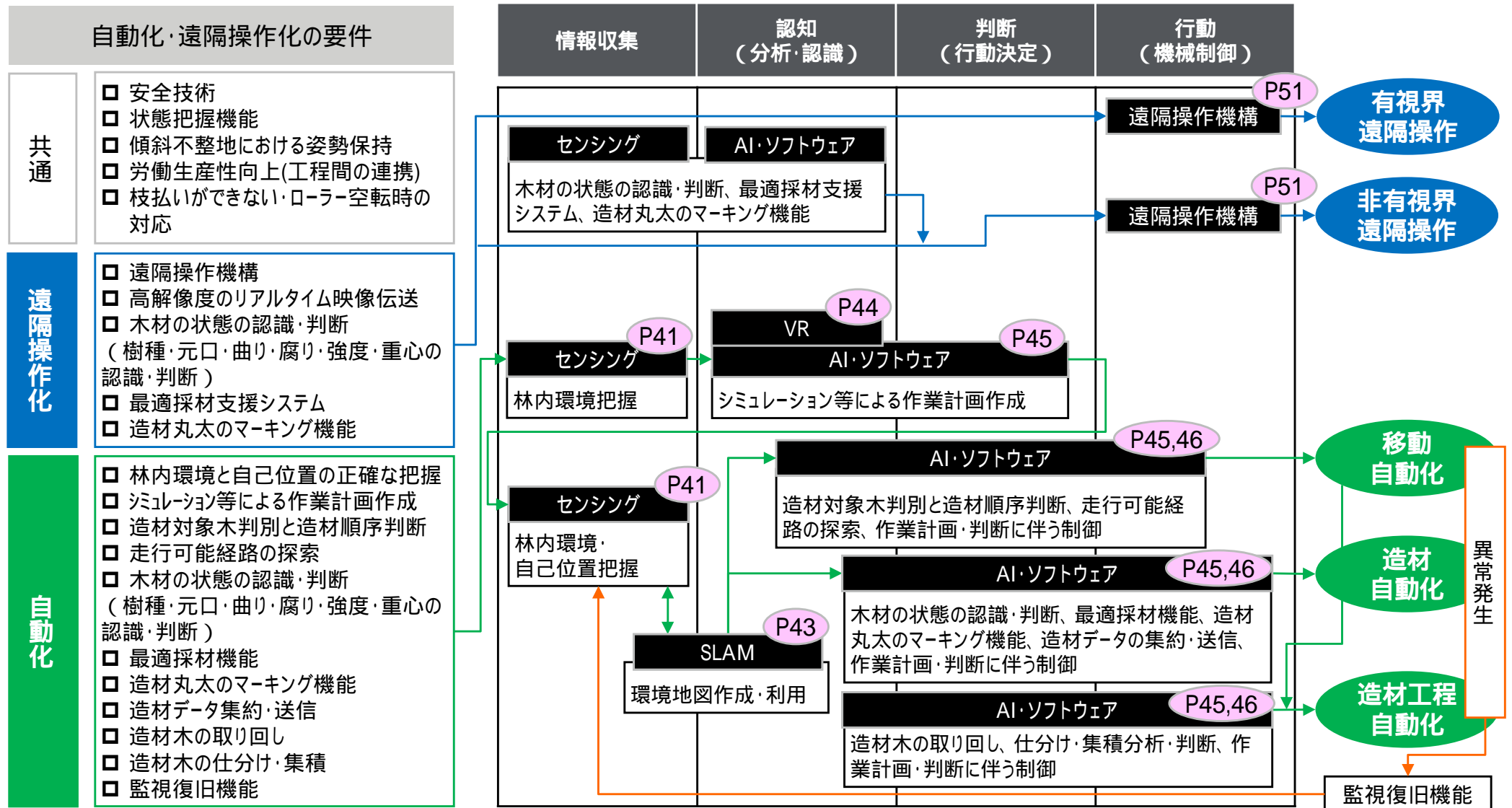
- 林内環境と自己位置の正確な把握
- シミュレーション等による作業計画作成
- 集材対象木判別と集材順序判断
- 走行可能経路の探索
- 架設撤去の自動機構
- 集材木の取り回し
- 監視復旧機能



3 - 3 . 造材

現 状

- ✓ 主には伐採木を作業道や土場に集めて、プロセッサやハーベスタにより行われている。
- ✓ 木材の商品としての価値に大きく影響する工程。
- ✓ 海外では最適な採材方法を提示するシステム及びカラーマーキングシステムが実用化されており、一部日本にも導入されている。
- ✓ 特に採材の正確性の向上及び効率化が重要な工程である。



3 - 4 . 運材

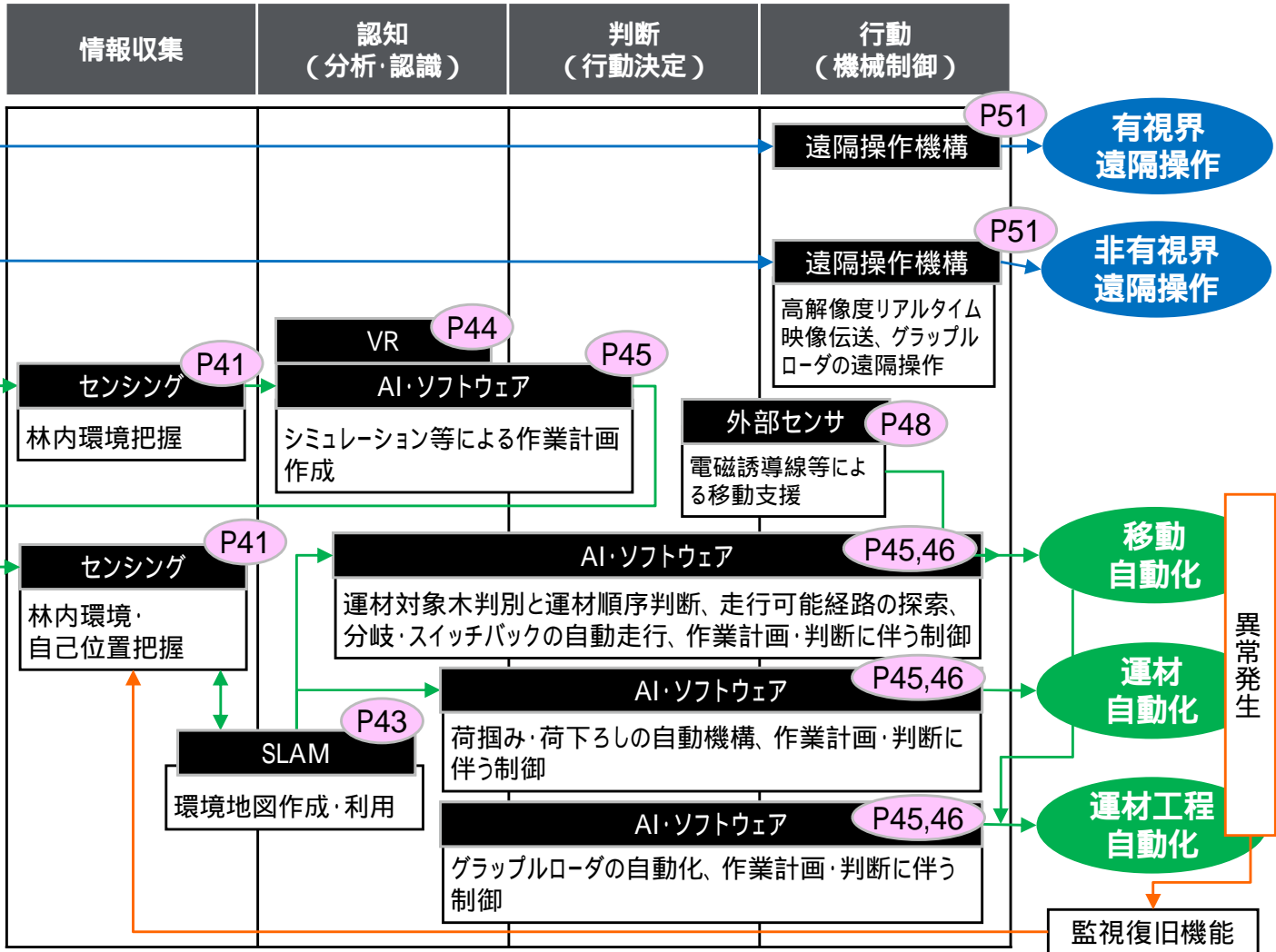
現 状	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 素材生産におけるボトルネックの工程 ✓ 木材を荷台に積んで運ぶ方法と、一部を地面につけた状態で牽引し運搬する方法がある。後者は、山土場等で造材される。 ✓ 集材機による架線系作業システムの場合は、集材工程で直接山土場に伐倒された木が集められる。 ✓ 現場によって山土場が狭い。施業現場が奥地化しており、作業道や架線の運搬距離が長距離化している。 ✓ GNSS、外部センサ(電磁誘導線・QRコード)及びSLAMによる自動走行と、荷下ろしの自動化の実証試験が行われている。 ✓ 特に生産性の向上が重要な工程である。
-----	--

自動化・遠隔操作化の要件

- | | |
|----|--|
| 共通 | <ul style="list-style-type: none"> □ 安全技術 □ 状態把握機能 □ 傾斜不整地における姿勢保持 □ 労働生産性向上(工程間の連携) □ 自動化・遠隔操作化を考慮した路網規格・線形の検討 □ 群制御(隊列走行等) |
|----|--|

- | | |
|-------|--|
| 遠隔操作化 | <ul style="list-style-type: none"> □ 遠隔操作機構 □ 高解像度のリアルタイム映像伝送 □ グラッブルローダの遠隔操作機構 |
|-------|--|

- | | |
|-----|--|
| 自動化 | <ul style="list-style-type: none"> □ 林内環境と自己位置の正確な把握 □ シミュレーション等による作業計画作成 □ 路網状態のセンシング □ 運材対象木判別と運材順序判断 □ 走行可能経路の探索 □ 分岐・スイッチバックの自動走行 □ 荷掴み・荷下ろしの自動機構 □ グラッブルローダの自動化 □ 監視復旧機能 |
|-----|--|



3 - 5 . 造林（植栽）

現 状

- ✓ 主には人力で行われているが、近年一部作業の機械開発も行われている。
- ✓ 地拵え（伐根処理）・苗木運搬は、専用の小型車両が開発されており、アタッチメントを付け替えにより各作業に対応。また、地拵え（伐根処理）は、重機用のアタッチメントも開発されており、苗木運搬はドローンによる運搬も実用化されている。
- ✓ 遠隔操作の小型車両による土壌穿孔機械の開発も行われている。
- ✓ 本工程においては、一貫して作業できる機械は開発されていない。
- ✓ 特に機械化による省力化が重要な工程である。

自動化・遠隔操作化の要件

共通

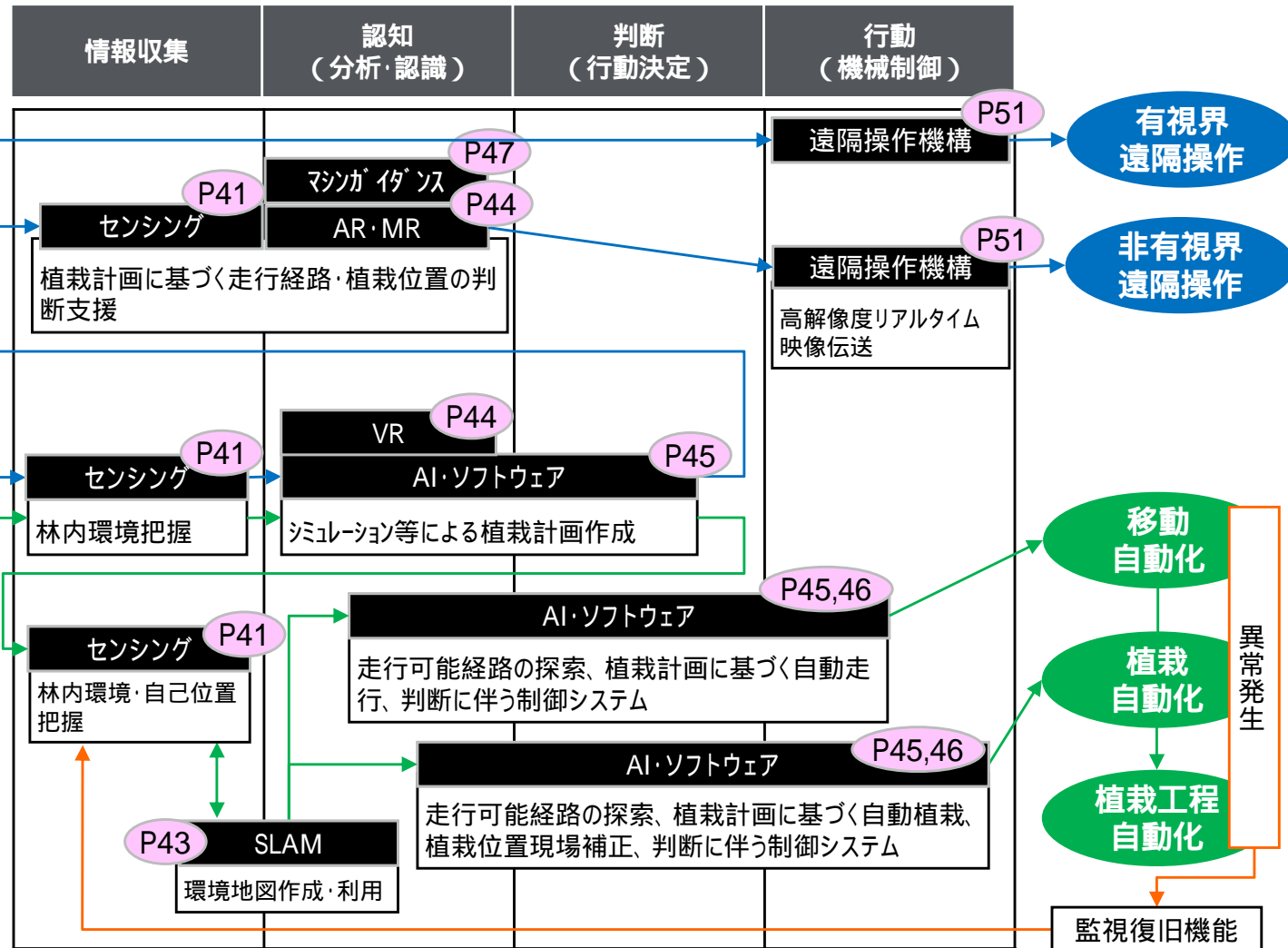
- 安全技術
- 状態把握機能
- 傾斜不整地における姿勢保持（根株や林地残材が散在）
- 労働生産性向上(工程間の連携)
- 一貫して作業できる機械の開発（苗木の各規格への対応）
- シミュレーション等による植栽計画作成（地形・土壌条件等を基にした地拵え箇所・植栽位置の設定とそれを踏まえた車両走行箇所）

遠隔操作化

- 遠隔操作機構
- 高解像度のリアルタイム映像伝送
- 走行経路の判断支援
- 植栽位置の判断支援

自動化

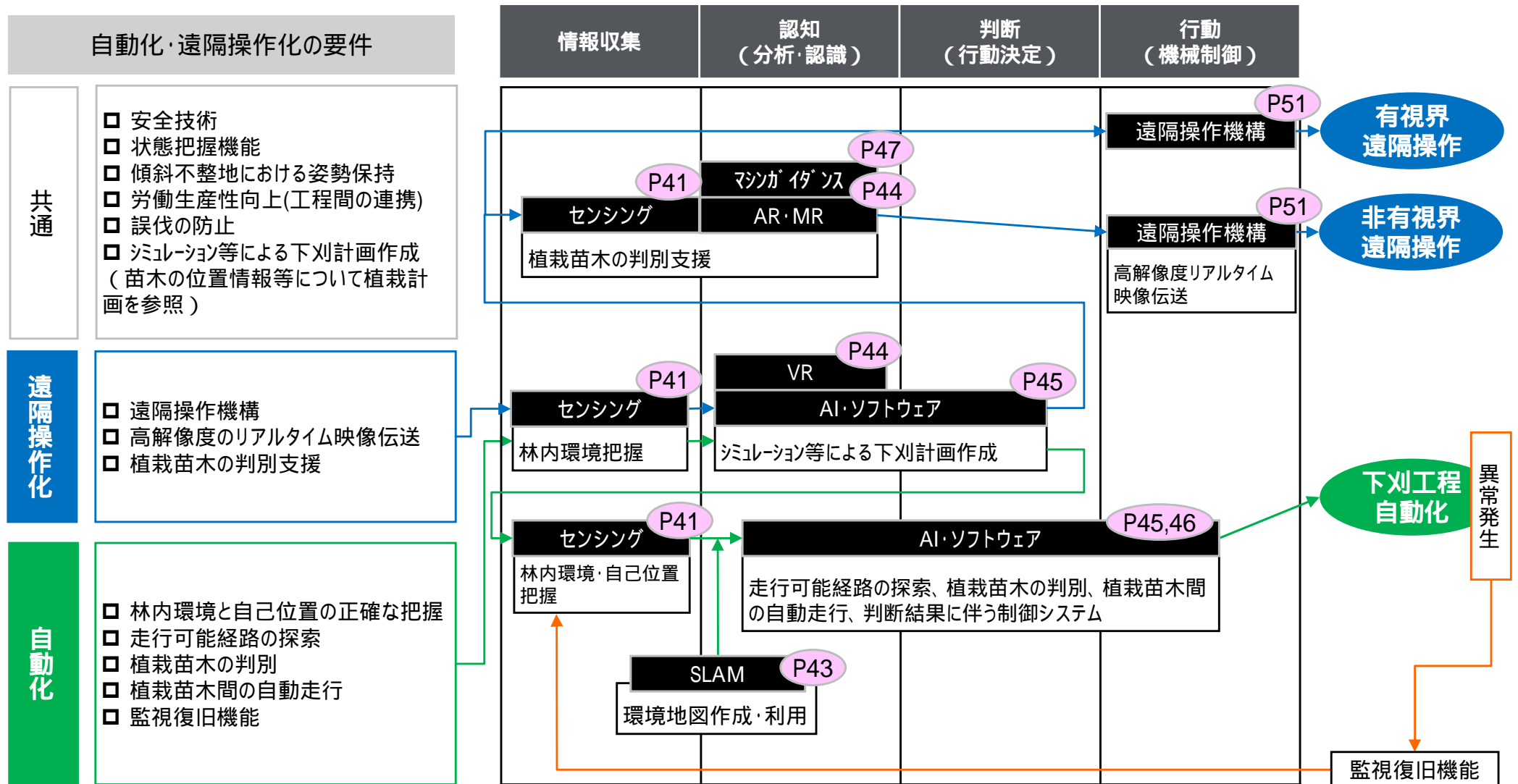
- 林内環境と自己位置の正確な把握
- 走行可能経路の探索
- 植栽計画に基づく自動走行
- 植栽計画を踏まえた自動植栽
- 植栽位置の現場補正
- 監視復旧機能



3 - 6 . 造林 (下刈)

現 状

- ✓ 主には刈払い機による人力で行われており、施工時期が夏場かつ日陰のない現場条件のため、熱中症の危険性が高い。
- ✓ 近年、河川敷法面の草刈り用に開発された小型下刈機械を基にした機械開発が行われている。
- ✓ 植栽間隔（水平で概ね2m程度）、雑草・灌木の種類、繁茂状況が現場ごとに異なる。
- ✓ 植栽後、苗木が雑草・灌木に被圧されている場合は、毎年行う。（走行データの準用が可能）
- ✓ 特に無人化・省力化が重要な工程である。



4 . 林業機械の電動化に向けて

異分野における電動化の状況

2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、世界的に様々な分野で脱炭素化の取組が進められており、林業機械においても、今後の自動化・遠隔操作化に向けた機械開発と並行して、電動化への対応が求められる。

日本における林業機械のベースマシンは、ほとんどが建設機械であることから、建設業界における電動化の状況と、森林と同様にインフラがない環境下で稼働する海運業界における電動化の状況について、取りまとめた。

建設業界における現状	海運業界における現状
<ul style="list-style-type: none"> 電動油圧ショベルとしては、バッテリー式と有線式が開発されている。 バッテリー式においては、リチウムイオン電池、燃料電池、水素エンジン、バイオ燃料などが検討されている。 海外では25tクラスのバッテリー式のショベルが市場投入されており、フル充電で5~7時間の作業が可能。(1) 日本では、バッテリー式はミニショベルで、有線式は7t、13tクラスで市場投入されており、20tクラスでの開発も進められている。(2) 電動化によりメンテナンスの頻度が低下し、コストの低減が図られる。 走行ルートが定型的になるダンプに関しては、架線から給電するトロリー受電式の開発も行われている。(3) <p>1 出所：PON Equipment社 CAT 320 Z-LINE https://www.pon-cat.com/no/pon-equipment/produkter/cat-produkter/gravemaskiner/mellomstore-gravere/cat-320-z-line</p>  <p>2 出所： OKOMATSU プレリリース「安全で生産性の高いスマートでクリーンな未来の現場の実現を加速」-米国プロテラ社との中小型クラス油圧ショベルの電動化協業- コマツ、20トンクラスの電動油圧ショベルをbauma 2022に初出展 https://www.komatsu.jp/ja/newsroom/2022/20221019 OKOMATSU プレリリース「有線式電動油圧ショベル「PC138USE-11」を新発売」 https://www.komatsu.jp/ja/newsroom/2022/20220831 OKOMATSU プレリリース「コマツとHonda 共同開発-コマツ初、着脱式可搬バッテリーを活用した電動マイクロショベル「PC01E-1」国内市場に導入開始」 https://www.komatsu.jp/ja/newsroom/2022/20220329</p>  <p>3 出所： 日立建機(株) プレリリース「エンジンレス・フル電動リジッドダンプトラックの共同開発を開始」 https://www.komatsu.jp/ja/newsroom/2022/20221019</p>	<ul style="list-style-type: none"> 海運業界では、水素燃料電池船・EV船・ガス（水素・アンモニア）燃料船などの開発に取り組んでいる。 電動化については、主に小型船舶（観光船）で実用されており、最近では電動タンカーの運航も開始した。関連して港湾のクレーンも電動化が進んでいる。(4) 大型船であれば重量の影響をほとんど受けないため、電動化によって重量が増えなくても影響はほとんどない。 電動化によりメンテナンス頻度が減るため、従来より少人員での運航が可能。 電動船は、陸上のインフラ（充電設備）とセットで、検討する必要がある。 エンジンの場合は、船尾の動力部との位置関係の都合上、最適化には限界があったが、電動モーターは配置の自由度が高いため、船尾形状の最適化が可能となる。 <p>ROBOSHIP 次世代オートマEV船の特徴：その1</p>  <p>基本スペック ・499トン級船舶 ・L 69.0m x W 12.0m x D 4.0m ・速力 11.0kn, CW 1,600T ・完全電動推進、ゼロエミモード搭載 ・ツイングクによる高効率の大型船上 ・洗船設備 ・2層甲板クラスで船体性大増進 ・新造船、既存船以上 ・燃費削減、既存船以上 ・ポールドック積、既存船以上</p> <p>電気スペック ・推進機 2x 360kW FPP ・電動機 4x 400kW ・電力制御 ECR ・EVバッテリー ・充電システム ・充電ステーション ・充電ステーション ・充電ステーション ・充電ステーション</p> <p>ソフトコア型電動機(OTA)搭載 基本船体構造は、従来の船体構造に比べ、船尾の大型化・快速性向上 従来の船体構造は、船尾の大型化・快速性向上 従来の船体構造は、船尾の大型化・快速性向上 従来の船体構造は、船尾の大型化・快速性向上</p> <p>4 出所： (株)三井E&Sマシナリー トランスターナ(港湾クレーン) https://www.mes.co.jp/machinery/business/crane/transtainer.html</p>  <p>4 出所：旭タンカー(株) https://www.asahi-tanker.com/services/domestic-transportation/</p>

電動化の課題

異分野における電動化については、小型機械の開発から始まり、徐々に大型化に向かっている状況であるが、大型化・普及にあたっての課題としては、以下のとおり。

建設業界における課題	海運業界における課題
<ul style="list-style-type: none"> ダム現場では、充電設備の構築が困難。 電動化により操作感が異なるため、その調整が必要。 バッテリーは他社生産のものとなる（建機用ではない）ことが多いため、建機への設置スペースの確保・調整が難しい。 奥地のインフラがない現場では、電動建機を使用することで、充電設備の運搬等を行うことにより、環境負荷の低減に繋がらない恐れがある。 有線給電の場合は、取扱主任の資格が必要になる。 	<ul style="list-style-type: none"> 水の抵抗により常に坂道走行状態となるため、バッテリーの消耗が激しい。そのため、近距離の定期ルートのような運航条件でないと、電動船の運用は厳しい。 陸上のインフラ（充電設備）の規模・能力により運航範囲が限定される。 自動車と違い坂道の下りなどがなく、常に水の抵抗を受けるため、回生エネルギーの利用が難しい。 長距離運航船の電動化の課題はコスト（技術的には電動化可能）
共通課題	
<ul style="list-style-type: none"> バッテリーが非常に高価なため、機体の価格が従来機の数倍になる バッテリーの稼働時間及びパワーの確保 過酷な現場条件下（振動・衝撃・粉塵）での安定した稼働 	



これら異分野の状況を踏まえて、林業における可能性と課題として

- 林業においても特に**コストが課題**。
- 日本の林業機械は建機をベースマシンとしているものが多いため、**建設業界の動向に左右されてしまう**ことから、今後建機の電動化が標準化した際に、林業業界としてコスト面での対応が厳しくなるため、**ダウンサイジング技術や林業用の機械を別途開発**することを検討する必要がある。
- 森林内では、海運業界同様に現場内に**充電インフラの構築が難しい**ため、充電をどのように行うのが課題。
- 山の中で木材のような重量物の運搬には、**相応の力の確保**が必要。
- 山においては、上から下に下る過程で、**重量エネルギー**を利用して、充電と回生エネルギーを回収できる可能性がある。（特にワイヤーを使用する架線系作業システムにおいて）

第3章

林業機械の自動化・遠隔操作化に向けた要素技術

要素技術リスト

番号	分類		技術名	林業分野	異分野 + 海外分野
1	通信技術		動画圧縮技術	実証	実用
2	通信技術		VHF帯自営ブロードバンド	実証	実用
3	通信技術		LPWA	実証	実用
4	通信技術		衛星通信	将来	実証
5	通信技術		無線LAN (Wi-Fi) システム	実証・実用	実用
6	通信技術		バルーン・UAV無線中継通信	実証	実用
7	通信技術		ローカル5G	実証	実証
8	情報収集		センシング技術	実用	実用
9	情報収集・認知		GNSS	実用	実用
10	情報収集・認知		SLAM	実証	実用
11	認知		VR・AR・MR	実用	実用
12	認知・判断		AI・ソフトウェア	将来	実証
13	行動		AI・ソフトウェア	将来	実証
14	認知	判断・行動	マシンガイダンス / マシンコントロール	将来	実用
15	行動		外部センサ (磁気マーカー・電磁誘導線・QRコード)	実証	実用
16	判断・行動		群制御 (隊列走行・群飛行)	将来	実用
17	行動		傾斜不整地における姿勢保持	実証	実用
18	行動		遠隔操作機構	実証	実用

1 . 通信技術

通信の基礎となる動画圧縮技術

技術概要

データ圧縮には、一度圧縮すると元に戻せない「非可逆圧縮」と、再度元の状態に戻すことができる「可逆圧縮」の2種類がある。データを圧縮・復元するソフトや装置は、「コーデック」と呼ばれており、データの種類・形式によって、使用できるコーデックは異なる。

データの中でも特に容量が大きくなりやすいのが動画データである。動画はあくまで画像のコマ送りなので、圧縮方法としては、画像1枚1枚の画質の圧縮と、前後の画像で変化していない部分の圧縮作業を、アルゴリズムを組んで行っている。

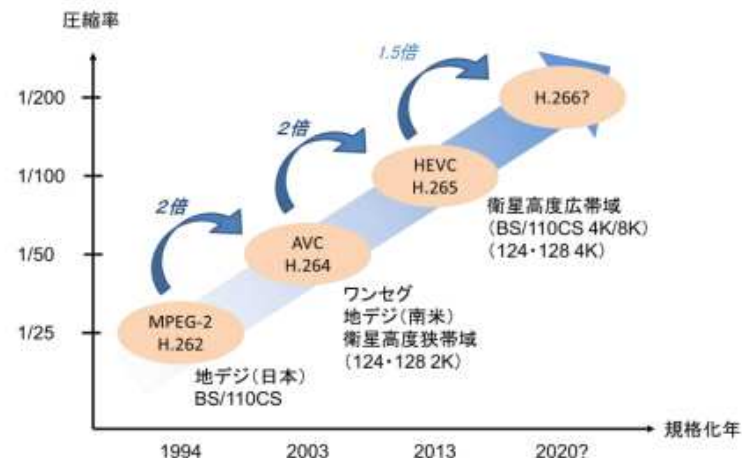
このアルゴリズムに関しては、標準規格化されたものと各メーカーが独自で開発したものがあるが、圧縮と復元は同一のアルゴリズムでなければいけないので、圧縮元と復元先で同じコーデックを使う必要がある。

課題

- 圧縮率が高くなるほど、圧縮作業に要する時間が長くなるため、リアルタイムでの伝送が難しくなる
- 圧縮率は、映像の内容（動きの激しさ、色数など）等によって大きく変動するため、予測が難しい

参照資料

名称	関係団体・事業	URL
次世代映像符号化方式AV1のVVCとの性能比較調査について	一般社団法人 放送サービス高度化推進協会	https://www.soumu.go.jp/main_content/000739575.pdf
放送における技術動向	総務省 放送用周波数の活用方策に関する検討分科会（第1回）	https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/housou_kadai/02ryutsu08_04000323.html



映像圧縮技術の推移

出所：総務省 放送用周波数の活用方策に関する検討分科会（第1回）配布資料「放送における技術動向」（下記URLより）

種類	データ	形式
可逆	ファイル	zip, lzh, rar など
	画像	gif, JPEG2000, JPEG XR, PNG など
	動画	HuffYUV, Ut Video, Lagarith, MLC, AMV など
	音声	WMA, DD+, Apple Lossless, MPEG-4 ALSなど
非可逆	画像	JPEG2000, JPEG XR, HVQ など
	動画	H.264(AVC), MPEG-2, H.265(HEVC), AV1 など
	音声	WMA, DD+, AC-3, ATRAC, MP3 など

出所：アイアール技術者教育研究所
3分でわかる技術の超キホン「データ圧縮」の仕組みと種類・形式・特徴を総整理！を基に作成
<https://engineer-education.com/data-compression/>

VHF帯自営ブロードバンド（公共BB）

< 公共BB諸元 >

技術概要

2011年の地デジ化移行に伴い、地上アナログ放送に利用されていた、VHF帯の一部である200MHz帯を利用した無線システム。主には公共機関による災害時の映像伝送用として使用されていたが、公益性の高い民間ユーザーへ免許範囲を広げて、利用拡大が図られている。

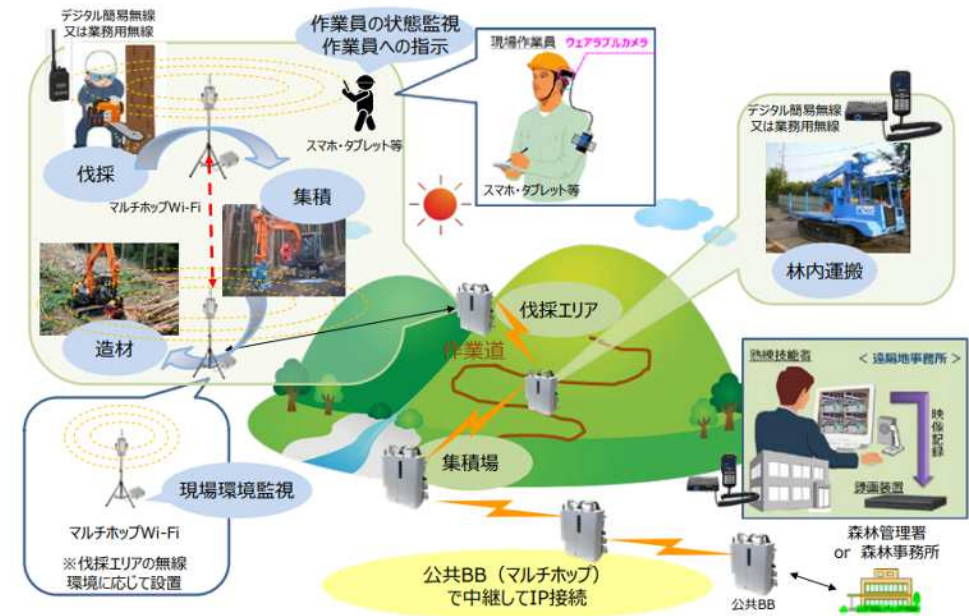
主な特徴としては、下記が挙げられる。

- 中継機能による見通し外通信が可能
- 10km以上の長距離伝送が可能
- 上り最大約10Mbpsの伝送速度
- 無線機（中継器）は背負子による持ち運びが可能
- 無線機はバッテリー式で、約8時間駆動が可能

項目	規格
周波数帯	200MHz帯
通信方式	OFDMA/TDD
変調方式	QPSK、16QAM、64QAM
チャンネル間隔	5MHz
資格	要
免許	要
規格	無線設備規則第 49 条の 30 ARIB STD-T103/T119

課題

- 中継器の設置位置の検討、接続可否の試験が必要
- 中継器が高価（1台数百万円程度）
- 免許・資格が必要
- 電波使用料の支払いが必要（400円/年・個）
- 使用できる周波数の帯域が狭い（帯域拡張の検討が開始）



参照資料

出所：令和2年度森林・林業に係る情報基盤整備に係る基本調査成果報告書P52
図 4.1 森林・林業における ICT 導入イメージ（想定）（下記URLより）

名称	関係団体・事業	URL
広域系Wi-RANシステム	京都大学・(株)日立国際電気	https://www.soumu.go.jp/main_content/000783211.pdf
森林・林業に係る情報基盤整備について	林野庁事業	https://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/gijutu/jouhoukibanseibi.html

LPWA通信（Wi-SUN、LoRa等）

技術概要

LPWA（Low Power Wide Area-network）は、低消費電力で長距離での無線通信が可能な通信技術の総称。複数の方式が存在しており、無線局免許及び登録が必要な「ライセンスバンド」と、必要のない「アンライセンスバンド」がある。その中で、伝送速度・伝送距離から、森林内で使用可能性が高い2つの方式について、概要は下記のとおり。

< Wi-SUN >

Wi-SUN（Wireless Smart Utility Network）は、日本発のIoT国際標準規格で、日本では特定小電力無線の周波数帯（920MHz）で使用され、Wi-Fiと比べると、通信速度は低めだが通信距離は長い、障害物にも強くつながりやすいという特徴を持つ通信システム。4つの仕様があり、屋外向けであるWi-SUN FANの特徴は下記のとおり。

- 通信距離は1km弱だが、中継器を用いたマルチホップ（最大24）構成により、広域化と、最大1,000台の大規模メッシュネットワークの構築が可能（1対多対多通信）。
- マルチベンダーにも対応しており、伝送速度が100Kbpsあるので、不具合修正のファームウェアアップデートが遠隔で可能
- モジュールが小型・安価（本体は中継器を兼ねる）
- 周波数ホッピングにより干渉に強い

< LoRa（LoRaWAN） >

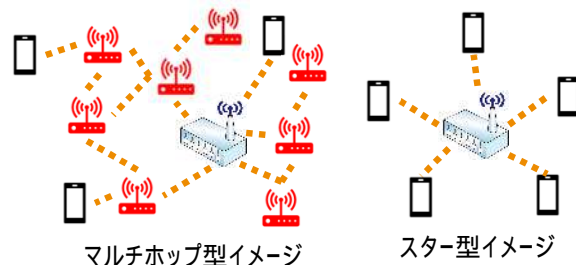
米国のSEMTECH社を中心とした、世界のIoTメーカー500社以上からなるLoRaAllianceにより策定された無線通信方式で、変調方式はチャープ・スペクトル拡散を基にした独自の方式・規格を適用している。その他の特徴は下記のとおり。

- 中・長距離の通信が可能だが、通信速度は低い
- スター型のメッシュネットワーク構成（1対多通信）が可能

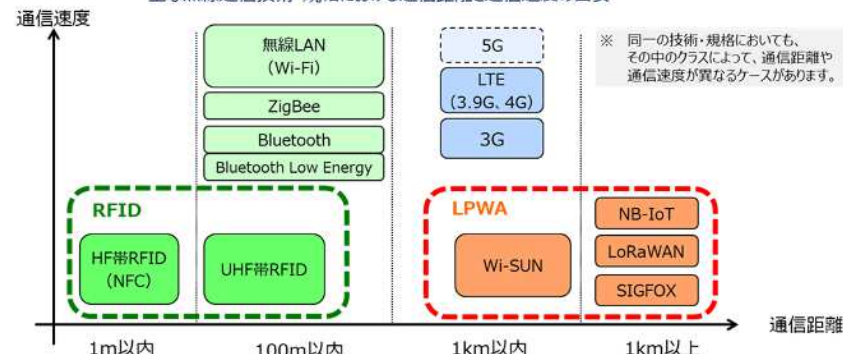
課題

- 基本的には映像の伝送には能力不足

参照資料



主な無線通信技術・規格における通信距離と通信速度の目安



※ 同一の技術・規格においても、その中のクラスによって、通信距離や通信速度が異なる場合があります。

出所：第4次産業革命における産業構造分析とIoT・AI等の進展に係る現状及び課題に関する調査研究
 [総務省（調査委託先：三菱総合研究所）] 図表3-8等
http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/h29_03_houkoku.pdf
 上記に基づき作成された図を総務省「ICTスキル総合習得プログラム 1-2 データ収集技術とウェアラブルデバイス」P4より抜粋
https://www.soumu.go.jp/ict_skill/

< Wi-SUN（Wi-SUN FAN）諸元 >

項目	規格
周波数帯	920MHz帯
伝送速度	50、100、150Kbps (最大2.4Mbps)
伝送距離	最大1km弱
変調方式	2GFSK (OFDM)
チャンネル間隔	200/400KHz
資格	不要
免許	不要
規格	物理層 IEEE 802.15.4g MAC層 IEEE 802.15.4/4e (IEEE802.15.4-2020)

< LoRa（LoRaWAN）諸元 >

項目	規格
周波数帯	920MHz帯
伝送速度	250bps-50Kbps
伝送距離	数km - 数十km
変調方式	チャープ方式の SS、FSK
チャンネル間隔	125/250KHz
資格	不要
免許	不要
規格	ARIB STD-T108

青字は新規格「Wi-SUN FAN1.1」諸元
2023年より運用予定

名称	関係団体・事業	URL
Wi-SUN	(株)日新システムズ・京都大学 ROHM(株)	https://www.co-nss.co.jp/iot/wisun/ https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/wireless/wireless_what4
陸上無線通信委員会報告書	総務省 情報通信審議会情報通信技術分科会	https://www.soumu.go.jp/main_content/000477030.pdf

衛星通信

技術概要

従来は高度約3万6千kmに飛行している静止衛星との通信が主に行われていたが、近年低軌道衛星の打ち上げが進んでおり、山間部等圏外地域においても受信機を経由してネットワークの構築が可能となっており、既に開始又は検討されているサービスは下表のとおり。

使用にあたっては、専用の受信機にWi-Fiルーター等を接続してネットワークを構築して使用する。高度が低い衛星ほど通信速度は速くなる。

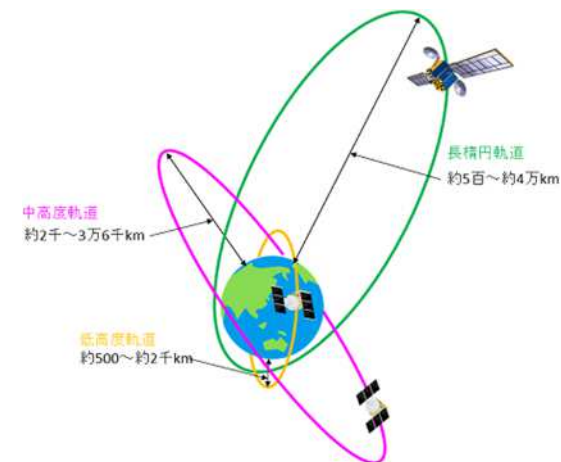
携帯各社	NTTドコモ	KDDI	ソフトバンク	楽天モバイル
通信サービス	HAPS	Starlink	(1) Skylo (2) One Web (3) HAPSモバイル	スペースモバイル
衛星高度	20km	550km	(1) 36,000km (2) 1,200km (3) 20km	500 ~ 700km

課題

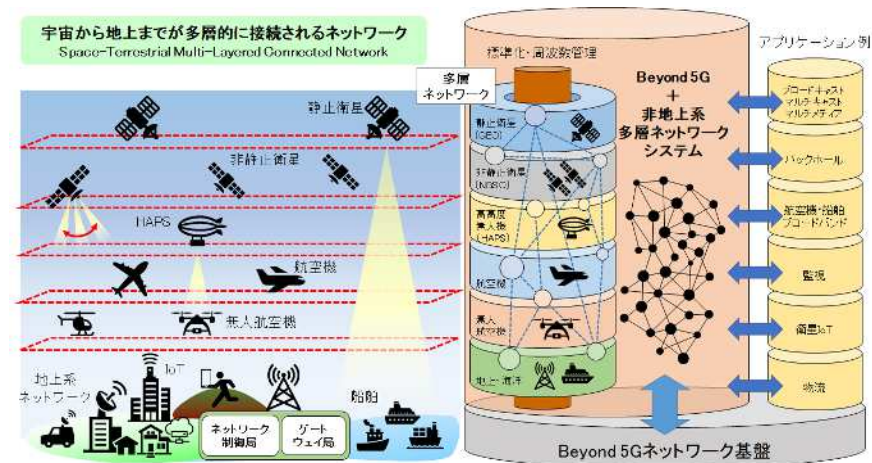
- 基本的には専用の受信機の設置と通信契約が必要
- 衛星と受信機との電波は、木々の影響を受けやすい周波数のため、開けた場所に設置する必要がある
- 受信機は電力の確保が必要
- 衛星との通信は、天候の影響を受ける
- ユーザー数が増えると通信制限がかかる

参照資料

名称	関係団体・事業	URL
衛星移動通信	総務省電波利用ホームページ	https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/system/satellit/move/
Starlink	KDDI、SpaceX	https://www.starlink.com/rv
HAPS	NTTドコモ、AIRBUS、NTT、スカパーJSAT	https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2022/01/17_01.html
Skylo、OneWeb、HAPS	ソフトバンク、Skylo、OneWeb、HAPSモバイル(株)	https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2021/20210609_01/
スペースモバイル	楽天モバイル、AST SpaceMobile	https://corp.mobile.rakuten.co.jp/blog/2022/0519_01/



出所：総務省電波利用ホームページ「衛星移動通信」（下記URLより）



出所：国立研究開発法人情報通信研究機構「衛星通信と5G/Beyond 5Gの連携に関する検討会報告書」
<https://www.nict.go.jp/info/topics/2020/02/14-1.html>

無線 LAN (Wi-Fi) システム

技術概要

無線通信を利用してデータの送受信を行うLANシステムの中で、代表的な通信規格として、IEEE 802.11 が設定されており、その規格を使用して検査に合格し、認められた通信規格が「Wi-Fi」と呼ばれている。

1999年にIEEE802.11aから規格化、製品化がはじまり、2021年には最大で9.6Gbpsの伝送が可能となる802.11ax (Wi-Fi6) が規格化され、「直交周波数分割多元接続 (OFDMA)」 技術により、従来以上に複数端末の同時接続が可能となることに加え、消費電力の抑制、セキュリティ面の強化が期待されている。

無線 LAN (Wi-Fi) の機器は、屋外に設置し簡易的なアクセスポイントとして利用する機器や、屋内設置型の機器 (据付型や可搬型)、モバイル端末 (ノート PC 及びタブレット等) に内蔵されているものなど、幅広いタイプがある。

主な周波数帯である2.4GHz帯と5GHz帯に加え、近年はLPWAとして低消費電力で長距離の通信が可能で、920MHz帯を使用したWi-Fiの規格として、「Wi-Fi Halow」や、上述した6GHz帯を使用する「Wi-Fi6」が令和4年9月の制度改正で利用可能となり、今後の活用が期待される。

森林内でも利用可能性のある「Wi-Fi Halow」の概要は下記のとおり。

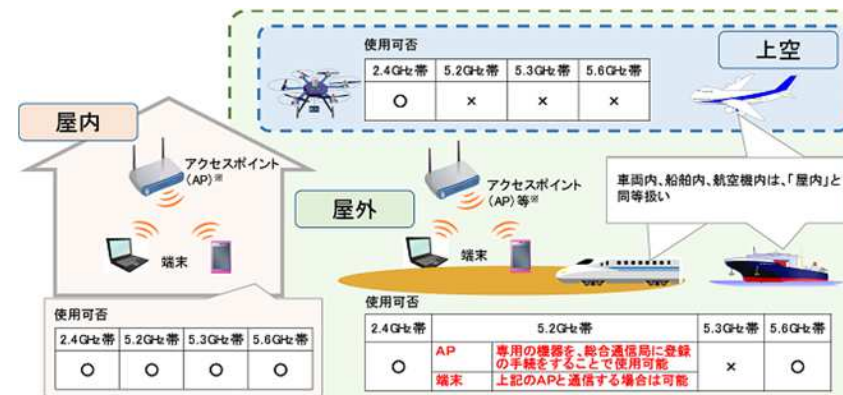
< Wi-Fi Halow > IEEE802.11ah

- 伝送速度は数百kbps ~ 数Mbps程度
- 伝送距離は数km、見通し外通信も可能
- チップが基本国内だけでしか出ていない
- マルチホップの段数が増えることに期待
- 他の規格と比べて混信しやすいが、森林内であれば影響は少ない。

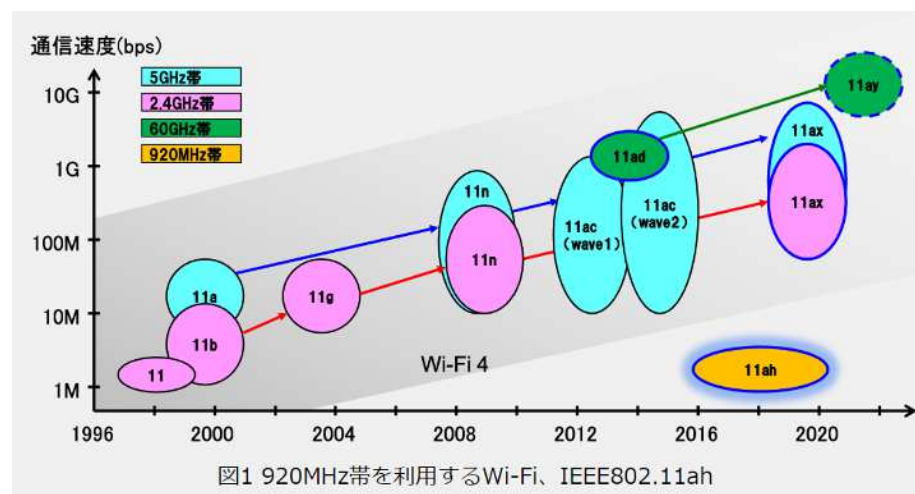
課題

- 2.4Ghz帯、5GHz帯は、伝送速度は高いが、伝送距離が短い
- Wi-Fiとしての新規格であるWi-Fi Halowは、伝送速度は小さいが、伝送距離が長い

参照資料



出所：総務省電波利用ホームページ 「無線LANの屋外利用について」
https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan_outdoor/



出所：802.11ah推進協議会「802.11ahについて」
<https://www.11ahpc.org/11ah/index.html>

名称	関係団体・事業	URL
無線LAN技術を利用したインターネットの構築：2.無線LANアクセス技術2.1無線LAN各規格の概要とプロトコル	情報処理学会会誌「情報処理」Vol.45(2004)No.8	https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=pages_view_main&active_action=repository_vie_w_main_item_detail&item_id=65111&item_no=1&page_id=13&block_id=8
802.11ahについて (Wi-Fi HaLow)	802.11ah推進協議会	https://www.11ahpc.org/11ah/index.html
無線LANの屋外利用について	総務省	https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan_outdoor/index.htm

バルーン・UAV無線中継通信

技術概要

森林においても、上空には携帯電波網（4G、LTE）が届いていることが多いため、通信中継器を搭載したバルーンもしくはUAVを上空に飛行させ、中継機能を持たせることで、森林内へ通信環境の構築を行う。

課題

- 上空に携帯電波網がない場合は使用不可
- 飛行制限あり
 - バルーン：風があれば不可
 - UAV：バッテリー型の場合は、約20分程度で都度降下が必要
- ドローンとの位置関係（障害物・地形）によっては、通信が弱くなる
- 通信利用料が発生
- バルーンはヘリウムガスの費用も必要



参照

名称	関係団体・事業	URL
ドローン中継局	NTTドコモ	https://www.soumu.go.jp/main_content/000750547.pdf
林業用バルーン通信システム	NTTドコモ	https://www.ntt.com/business/go-event/ex_20.html
有線給電ドローン無線中継システム	ソフトバンク	https://www.softbank.jp/sbnews/entry/20221114_03

ローカル5G



高精細カメラとAIを活用した危険予知

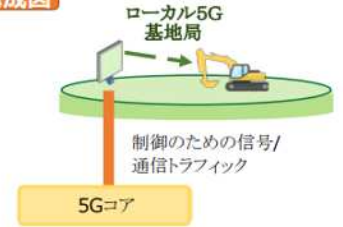
・現地設置の4K高精細カメラ映像を伝送
・AIを活用し、ゲリラ豪雨有無やヘルメット着用有無等、危険予知判定を実施

丸太運搬の作業車両の遠隔操作

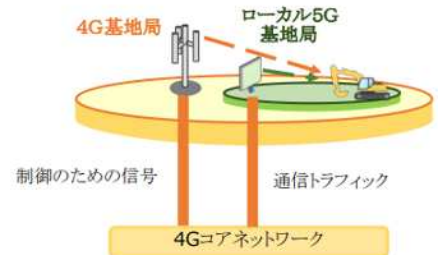
・作業車両搭載の4K高精細カメラ映像を伝送
・作業車両を遠隔操作

出所：総務省 北陸総合通信局 令和3年12月10日「総務省における農業関連施策の紹介」P14
<https://www.maff.go.jp/hokuriku/seisan/smart/attach/pdf/forum-9.pdf>

SA構成図



NSA構成図



出所：ローカル5G導入の手引き（令和4年3月版）（下記URLより）

技術概要

5Gとは、従来の4Gを発展させた「超高速」に加えて、「多数同時接続」、「超低遅延」といった新たな機能を持つ次世代の移動通信システムの中で、ローカル5Gとは、地域の企業・自治体等が、自らの建物内や敷地内でスポット的に構築できる5Gシステムで、令和元年12月に一部制度化、令和2年12月に周波数帯域の拡張等が行われ、今後更なる利用拡大が期待されている。

通信構成としては、5Gを導入しやすい構成として制御信号のやりとりや、コアネットワークに既存の4G基地局を用いて、5Gの基地局と組み合わせた「NSA構成」が進められた後に、5Gの基地局・コアネットワークのみで動作する「SA構成」が展開すると想定される。

課題

- ・システム導入コストが非常に高価（数千万程度）
- ・システム導入後のアップデートも非常に高価（導入コストと同等）
O-RAN及び5Gのオープンソース化に伴う価格の低廉化に期待
- ・5G電波のカバーエリアが小さい
- ・5G基地局の設置位置の検討、接続可否の試験が必要
- ・免許申請が必要

参照資料

名称	関係団体・事業	URL
ローカル5Gを活用した山間部林業現場での生産性向上および安全性向上のための実用化モデル検証	総務省	https://go5g.go.jp/carrier/%E4%BB%A4%E5%92%8C%EF%BC%93%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%82%AB%E3%83%AB%EF%BC%95%EF%BD%87%E9%96%8B%E7%99%BA%E5%AE%9F%E8%A8%BC%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8/
ローカル5G導入の手引き（令和4年3月版）	総務省	https://go5g.go.jp/sitemanager/wp-content/uploads/2022/06/%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%82%AB%E3%83%AB5G%E5%B0%8E%E5%85%A5%E3%81%AE%E6%89%8B%E5%BC%95%E3%81%8D%EF%BC%88%E4%BB%A4%E5%92%8C4%E5%B9%B43%E6%9C%88%E7%89%88%EF%BC%89.pdf

2 . 情報収集・認知・判断・行動

環境認識技術・自己位置推定技術の基礎となるセンシング技術

技術概要

自動運転における認識や制御を行うために重要な要素技術。既存の地図上で機械が今どこで稼働しているのかを推定する技術。推定方法は大きく分けて以下に分類される。

センサ名	概要	種類	ポイント
GNSS	GPS等の複数の衛星からの距離により、自己位置を推定する技術。	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 単独測位 ◆ 相対測位 (D-GNSS、RTK) 	<ul style="list-style-type: none"> • GNSSとは、日本のQZSS、米国のGPS、ロシアのGLONASS、EUのGalileoといった各国の衛星を用いた測位システムの総称。 • 位置の測位にあたっては、最低でも4個以上の衛星を同時に観測する必要がある。 • 近年cm単位の誤差で、位置特定が可能となる測位方式が増えつつある。
内界センサ	タイヤの回転数や、ジャイロセンサ・加速度センサ等の機械の挙動を用いて自己位置を推定する技術。	<ul style="list-style-type: none"> ◆ DMI (Distance Measuring Instrument) ◆ IMU (Inertial Measurement Unit) 	<ul style="list-style-type: none"> • DMIは、タイヤの回転数から進んだ距離を計測するもの。 • IMUは、物体の回転量を計測するジャイロセンサ・加速度センサから、角度(方向)と速度の変化を計測するもの。姿勢の検知にも活用されており、特に森林のような不整地内で稼働する機械においては、重要な技術。 • DMI・IMU共に、自己位置の推定にも利用されており、周囲の環境に左右されずに推定が可能。ただし、誤差は稼働量に比例して大きくなるため、単体ではなく併用して使用されることが多い。
外界センサ	カメラやミリ波レーダー、LiDAR、超音波センサ等により周辺環境情報から自己位置を推定する技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆ LiDAR ◆ 簡易LiDAR ◆ カメラ ◆ ミリ波レーダー ◆ 超音波センサ 	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>< LiDAR > 精度：測距精度高。詳細な形状の検知可能 範囲：数十m以上～数km（離れるほど精度低） 条件：天候の影響は受ける コスト：高（数十万から数百万円）</p> <p>< 簡易LiDAR > 精度：測距精度高 LiDARより点密度減、精度若干低 範囲：数十m以上 条件：天候の影響は受ける コスト：低（概ね10万円以下）</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>< カメラ > 精度：測距精度はばらつきはあり。色識別が可能。 範囲：計測距離は100m程度 条件：時間帯・天候によっては使用不可。 コスト：中</p> <p>< ミリ波レーダー > 精度：測距精度高。詳細な形状の検知は難 範囲：計測距離は100-200m程度 条件：時間帯・天候等には影響されない コスト：低（超音波に近づきつつある）</p> <p>< 超音波センサ > 精度：測距精度低 範囲：数m程度の近距離 条件：温度影響あり コスト：最も低い</p> </div> </div>

GNSS (Global Navigation Satellite System)

技術概要

GPS等の複数の衛星からの距離により、自己位置を推定する技術で、自動車等の自動運転における位置情報取得において最も多く使用されている。

位置の測位方式としては多様な種類があるが、cm級の精度で位置を求めるには、精密単独測位 (PPP: Precise Point Positioning) や、相対測位のRTK (Real Time Kinematic) 測位といった方式を用いる必要がある。

いずれも搬送波位相を用いる方法で、衛星からの電波が途切れやすい森林内では安定した測位が難しく、高精度の測位には時間がかかる。

PPPは各衛星の精密な位置情報、RTK測位は基準点による補正情報をそれぞれ取得することで精度を高めている。主な高精度測位の方式としては、通常型RTK、ネットワーク型RTK、PPP-RTKが挙げられる。通常型は既知の基準点、ネットワーク型は複数の電子基準点から算出された疑似的な基準点を利用して、携帯電話網等を通じて位置の補正を行っている。また、PPP-RTK型においては、衛星 (QZSS) を通じた補正情報の利用が可能である。

RTK測位については、低価格で高精度な2周波RTK-GNSS受信機や、Moving base (MB) RTK方式という、受信機2台を同じ機体に固定することで、方位を高精度に測定する技術や、受信機2台を別々の機体に固定し、自動追尾する技術など、様々な形で高精度化かつ低価格化が進みつつある。

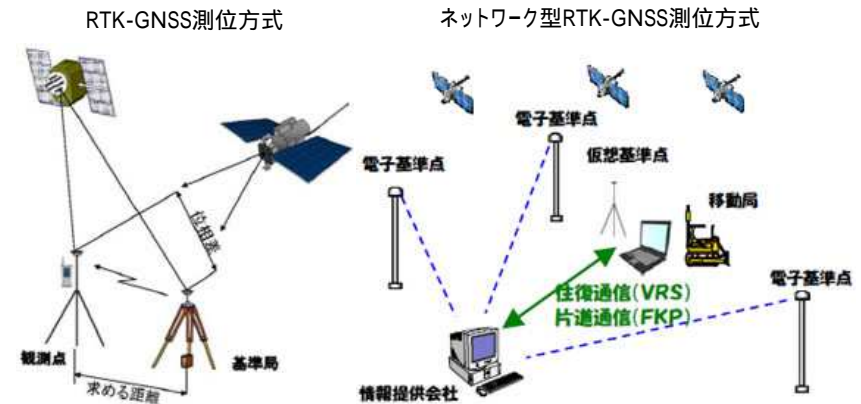
また、日本版の衛星である「みちびき (QZSS)」を用いた、センチメートル級測位補強サービスであるCLAS (PPP-RTKの1つ) も、専用の受信機があれば基準局は不要で、かつ無償で利用可能な状況となっている。

課題

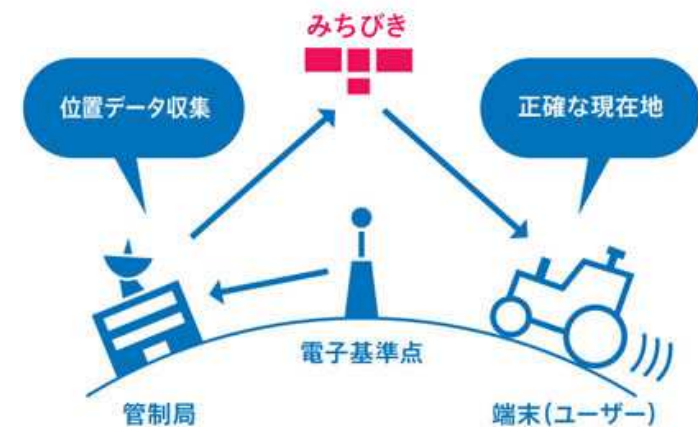
- 森林内では、樹木等に信号が障害されてマルチパスが発生するが、この判別 (フィルタリング) 方法が確立されていないため、精度が低下する
- マルチパスの発生により、得られた座標値の精度評価が難しい
- RTK-GNSSの受信機が高価 (近年低価格な受信機も出てきている)
- CLASは衛星を経由して補正情報を伝送するが、その計算の収束に1分程度必要である

参照

名称	関係団体・事業	URL
GNSSとは	国土地理院	https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_aboutGNSS.html
みちびきウェブサイト	内閣府	https://qzss.go.jp/index.html
みちびきの測位補強信号の現状と今後 東京海洋大学 久保信明	日本航海学会 航法システム研究会 2021/10/23	https://www.denshi.e.kaiyodai.ac.jp/wp-content/uploads/pdf/content/20211023_jin_kubo.pdf



出所: 国土交通省 九州地方整備局 情報化施工を実現する技術 GNSS
http://www.qsr.mlit.go.jp/ict/technology/jitsugen_3.html



出所: みちびきウェブサイト センチメートル級測位補強サービス「CLAS」
https://qzss.go.jp/overview/services/sv06_clas.html

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

技術概要

外界センサで取得した周囲の情報から自己位置推定と環境地図作成をリアルタイムで同時に行うことが可能な技術。使用される外界センサに応じて、以下の3種類に分類される。解析については、フリーのアルゴリズムがあり、大きな差異はない。

< LiDAR SLAM : レーザースキャナ/LiDAR >

LiDARにより点群データを取得する。高い精度で遠距離までの測距が可能で、高精度な環境地図を作成することができる。

近年、低価格な簡易LiDARも増えており、精度・点群数は通常より低下するが、複数台を合わせて使用することで補完が可能。

< Visual SLAM : カメラ >

複数のカメラ画像から特徴点を認識し、撮影位置の変化から特徴点の距離を算出して、点群を生成する技術をSfMといい、これを撮影と同時にリアルタイムで行っている。画像から色情報をもった点群を生成することで、色識別が可能となることから、森林における有用性が高い。

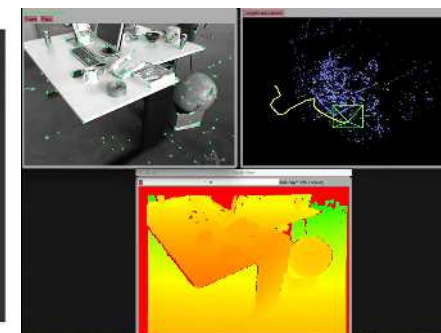
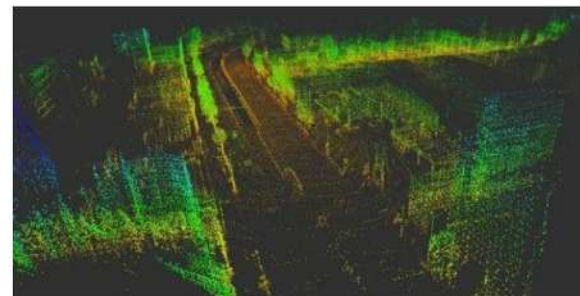
< Depth SLAM : ToFセンサ/距離画像 >

光学センサにより距離を測定し、点群を生成。短距離の測距しかできないが、精度は高い。

名称	LiDAR SLAM	Visual SLAM	Depth SLAM
センサ	レーザースキャナ / LiDAR	カメラ	ToFセンサ/距離画像
測定距離	約300m	約100m	数m
視野角	~ 360°	~ 180°程度	数十度
現場	特段制限なし	暗所不適	屋内向け
コスト	低 ~ 高	低	低
測距精度	中 ~ 高	小	中 ~ 高
識別精度	中	高	低
その他	<ul style="list-style-type: none"> 障害物が少ないと、点群データの取得が難、データ処理も大 	<ul style="list-style-type: none"> 特徴点（模様など）が少ない場所では、点群が少なくなり、自己位置推定精度低下 	<ul style="list-style-type: none"> 光学センサのため、太陽光に弱い 短距離の精度は高い

課題

- データ処理に時間を要するため、事前に環境地図を作成した上で運用が望ましい
- 動体が多い環境下での処理は難しい
- 森林内ではデータ量・処理の負荷を少しでも低減することが望ましい。必要な情報を場面に応じて取捨選択し、他の安価な内界センサ等も組み合わせ、負荷を減らすような工夫が必要
- 物体識別と正確な測距を行うには、「LiDAR-SLAM + カメラ」か「Visual-SLAM + LiDAR」という組み合わせが必要。ただし、複数のセンサで測定した内容を重ね合わせるのは技術的に困難であるため、一体型のセンサが望ましい



参照

出所：(株)マクニカ SLAM (スラム)とは？
<https://www.macnica.co.jp/business/maas/columns/134751/>

名称	関係団体・事業	URL
SLAM (スラム)とは？	(株)マクニカ	https://www.macnica.co.jp/business/maas/columns/134751/
SLAM の現状と今後の展望	J-STAGE	https://www.jstage.jst.go.jp/article/isciesci/64/2/64_45/_pdf
低解像度LiDARを用いたスキャンライン数の変化にロバストな物体分類手法に関する研究	公立はこだて未来大学	https://fun.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=53&item_no=1&page_id=13&block_id=21

VR (Virtual Reality) ・AR (Augmented Reality) ・MR (Mixed Reality)

技術概要

<VR>

VRとは、現実世界の情報を遮断し、デジタル上に作り出した人工的な空間（仮想現実）に没入体験できる技術。林業では主に安全教育や、林業機械の操作研修等で使用されている。

<AR・MR>

ARとは、スマホ等に写る現実の映像に仮想の情報を表示させる技術で、映像のある物体の長さや、マーカーといったデジタル情報を重ね合わせて表示することが可能。

MRとは、メガネ等を用いて視界に写る現実世界にパネル等の仮想情報を重ね合わせる技術で、複数名で同一の映像の確認が可能で、指でのパネル操作やジェスチャー操作が可能。

AR・MRの位置の認識方法は大きく2つで、ロケーションベース（GPS等）、ビジョンベース（画像の特徴から）がある。それを応用した技術として、「ARナビゲーションシステム」があり、ディスプレイ等に投影するデジタルコンテンツに、ナビ情報（ルート指示）を表示するシステムとなっている。

投影するデジタルコンテンツは、基本的には事前に作成する必要があるが、可視光・赤外線カメラのような同じ場所・方向を向いて、別の情報を捉えているものは、リアルタイムで合成して表示させることは可能（船舶では、夜間や霧発生時の航海用に使用）。その他にも識別情報（例：赤色は と表示）を作成しておけば、リアルタイムで情報を表示させることが可能。

課題

- 精度の高いデジタル空間を作成するためには、林内の点群データの取得と、その解析ソフトが必要
- VRについては、自動化に向けた作業計画の設定にあたっての、シミュレーションシステムとしての利用に期待
- VR等によりデジタル空間・情報を投影するゴーグル等の軽量化

参照



出所：搭乗型VRシミュレーター「KF400」(下記URLより)



出所：mapry(下記URLより)



出所：OWL-AR(下記URLより)



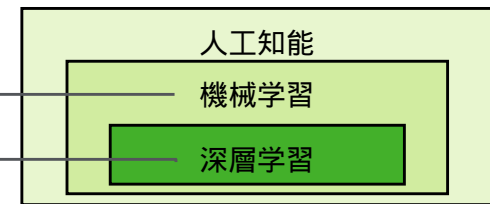
出所：mapry(下記URLより)



出所：3D Forest Manager Powered By 3D Point Studio(下記URLより)

名称	関係団体・事業	URL
ICTスキル総合習得教材1-3：位置情報の活用とxR	総務省	http://www.soumu.go.jp/ict_skill/pdf/ict_skill_1_3.pdf
搭乗型VRシミュレーター「KF400」	コマツ	https://kcsj.komatsu/products/case/voice26
OWL-AR	(株)アドイン研究所	https://www.adin.co.jp/topics/detail_101.html
mapry	(株)マプリー	https://mapry.jp/maiboku/
3D Forest Manager Powered By 3D Point Studio	(株)竹谷商事 産学連携のプロジェクトチーム	https://taketani.co.jp/commodity/index.php#20230105082406 https://www.pointstudio.jp/

AI・ソフトウェア（認識・識別・予測・プランニング）



技術概要

ソフトウェアは、PC等を動かすための必要な機能・手順を全て、人の手によりプログラミングとして記述して作成されたもの。

AI（人工知能）には明確な定義はないが、「人間の思考プロセスと同じような形で動作するプログラム、あるいは人間が知的と感じる情報処理技術」とされており、人工知能がデータ・情報・知識を学習・分析し、プログラミングを変化させる機能をもつソフトウェア技術の一つとも言える。

AIの学習方法として、特に注目されているのが、深層学習（ディープラーニング）で、与えられた大量のデータ（入力層）から、2つ以上の複数の条件・特徴を基に分類（中間層）し、正解を導き出すことができる。加えて、この条件は学習段階で自動生成（特徴表現学習）が可能。また、AIの画像認識については、近年20fps程度の速度は出ており、ほとんどリアルタイムでの認識が可能。

AIについて、現在林業分野においては、林相における樹種の特定、植栽した苗木の抽出、丸太の認識・把持といった分野で導入・検証が行われている。

事例集

特許庁 AI関連技術に関する特許審査事例について	https://www.jpo.go.jp/system/laws/rule/guideline/patent/ai_jirei.html
(一社)日本ディープラーニング協会	https://www.jdla.org/case/
内閣府 SIP	https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/

課題

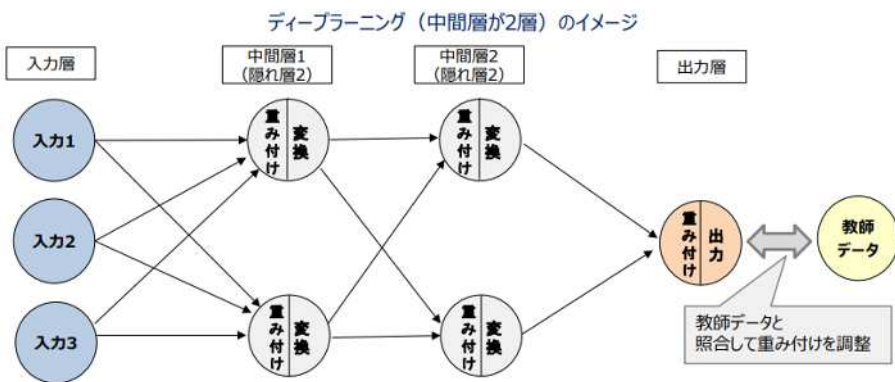
- 対象物を正確に識別する精度は向上してきており、画像によっては物体の進行方向や、移動中・静止中といった情報を認識することも可能
- 認識技術が更に向上すれば、予測・プランニング技術の向上にも繋がる
- AIによる判断基準がブラックボックス（ホワイト化に向けて研究中）
- AI開発（学習・構築）コストが高額

参照

名称	関係団体・事業	URL
日本のAI技術：現状と展望	NEDO	https://www.nedo.go.jp/content/100950144.pdf
ICTスキル総合習得教材3-5：人工知能と機械学習	総務省	https://www.soumu.go.jp/ict_skill/

機械学習分類	概要	事例
教師あり学習	データ処理にあたっての正解が示されている機械学習	画像認識・メールフィルタ
教師なし学習	正解が与えられない機械学習	形や色によるグループ分け：不良品検知
強化学習	試行錯誤を通じて、報酬（評価）が得られる行動・選択の学習	将棋や囲碁のシミュレーション

出所：総務省ICTスキル総合習得教材
3-5：人工知能と機械学習を基に作成
https://www.soumu.go.jp/ict_skill/



出所：総務省ICTスキル総合習得教材
3-5：人工知能と機械学習
https://www.soumu.go.jp/ict_skill/



出所：2019年度砂防学会研究発表会概要集
AIを用いた樹種判読と流木量算出について
<https://www.jsece.or.jp/event/conf/abstract/>

AI・ソフトウェア技術（制御）

技術概要

AIやソフトウェアによる現場重機等の制御に関して、移動や特定の定型作業については、複雑なプログラミングによる自動化が実用化されており、AIによる制御の学習方式である、「強化学習」と「模倣学習」を用いた自動化についても、実証試験が進められている。

建設業では、主に採掘現場での無人化は実現しているが、基本的にはAIではなく、詳細なプログラミング制御により実現されている状況。

今後は、このような多様な学習方法を用いて、AI技術を更に高度に応用した非定型作業の自動化、自律化が期待されている。

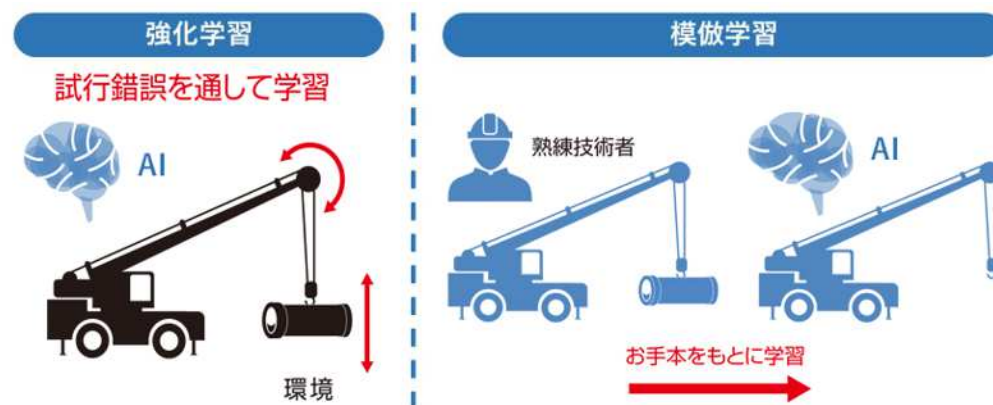


出所：鹿島建設㈱ 建設機械の自動化システム「A4CSEL®」に自動ダンプトラックを導入
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201701/11c1-j.htm>

課題

- 自動化にあたっては、各種センシング技術を搭載した機械及び、複数機械の群制御といった技術が必要
- 完全自動化にあたっては、各部材の劣化度・メンテナンス必要性を判断・通知するシステムや、AIによるヒヤリハット等の危険事象の判断・対応も必要
- 機械操作をAIに学習させる方法として、機械の操作履歴が主な教材となるが、他にもアイマークレコーダーや、モーションキャプチャーを活用するなど、熟練者の操作技術を正確に学習させる必要がある

参照



出所：(株)ARAYA建設機械等の自動化(自動操縦)を実現するAIを開発しています
<https://www.araya.org/projects/construction1/>

名称	関係団体・事業	URL
A4CSEL®	鹿島建設㈱	https://www.kajima.co.jp/news/press/201701/11c1-j.htm
建設機械等の自動化	(株)ARAYA	https://www.araya.org/projects/construction1/

マシンガイダンス (MG) / マシンコントロール (MC)

技術概要

マシンガイダンス (MG) と、マシンコントロール (MC) は、土木工事で使われている建設機械に3次元の設計データを取り込んで、機械操作ガイドと自動・半自動制御を行うもの。

MGとは、ICT建機と周辺の位置・標高を計測して、目標形までの差異をディスプレイ等でオペレーターに可視化することで、オペレーターの操作を支援する機能。

このMGを用いて、現場が目標形になるよう操作を半自動又は全自動で操作・制御する機能がMCである。

事例集

NETIS

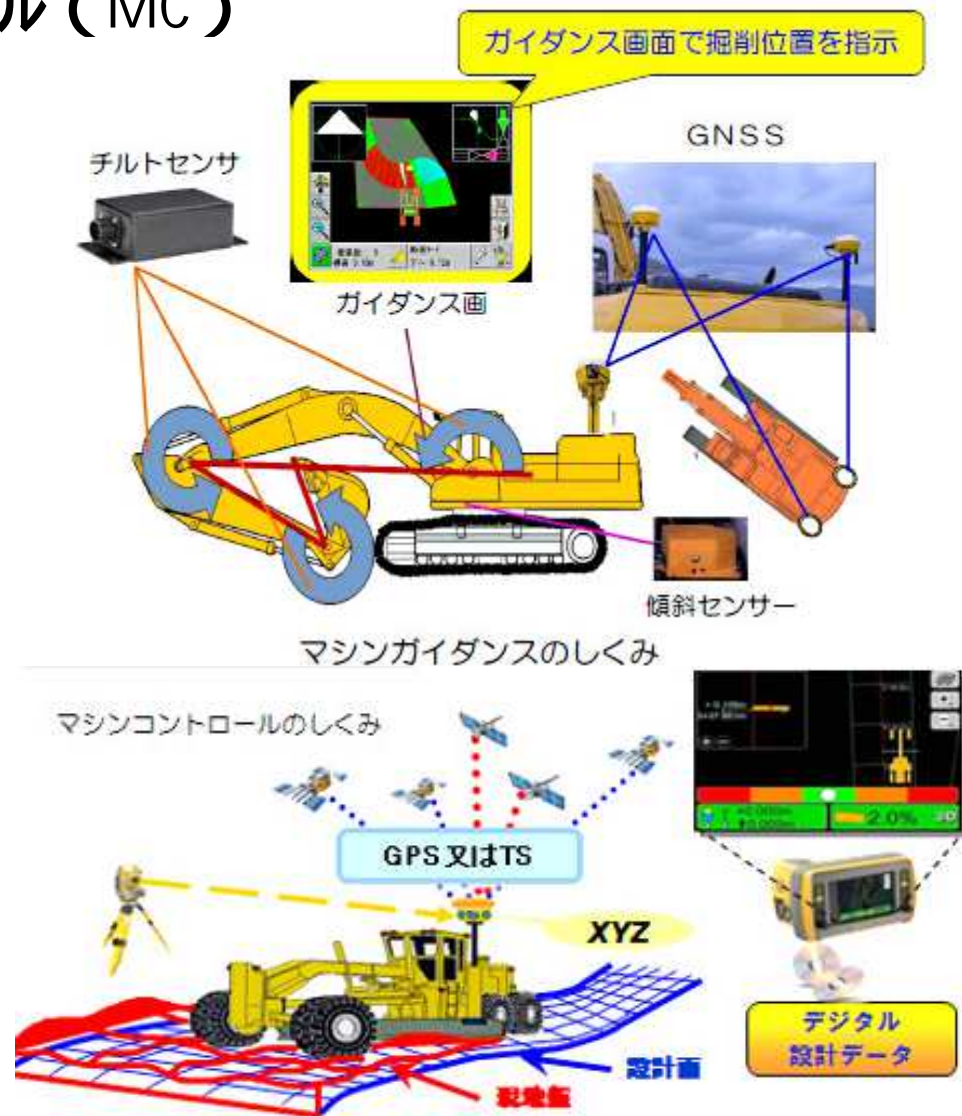
<https://www.netis.mlit.go.jp/NETIS>

課題

- MG及びMCの利用にあたっては、位置・標高といった3次元の設計データと、リアルタイムの3次元計測及び計測データの伝送が必要
- 計測にあたっては、TS (トータルステーション) や、GNSS (RTK測位) といった高精度・高価格の計測機器が必要

参照

名称	関係団体・事業	URL
マシンガイダンス/マシンコントロール技術	国土交通省 九州地方整備局	http://www.qsr.mlit.go.jp/ict/technology/shiken_2.html



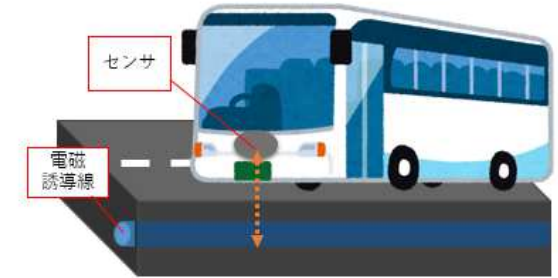
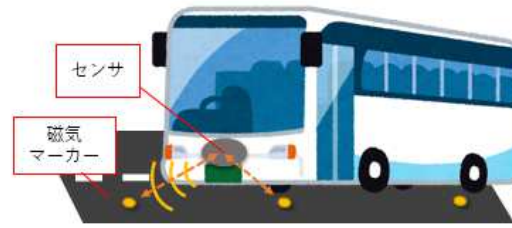
出所：国土交通省 九州地方整備局 公共事業におけるi-Constructionの概要
技術紹介 マシンガイダンス / マシンコントロール技術 (下記URLより)

外部センサ（磁気マーカー・電磁誘導線・QRコード）

技術概要

車両が走行する道路に磁気マーカーや、電磁誘導線を埋設・敷設し、車両に設置したセンサで読み取ることで、自己位置の推定及び進行方向を制御する技術。

また、道路沿いにQRコードを標識のように設置し、それを車両のセンサが読み取ることで、自己位置推定と進行方向等を制御することが可能。特別な作業指示や、自動機械では対応し難い急カーブを事前に認識させるときなどに有用。



出所：栃木県無人自動運転移動サービス推進協議会 自動運転の紹介
<http://abc-project.tochigi.jp/intro.html>

課題

< 磁気マーカー・電磁誘導線 >

- 位置精度が高いため、土構造の路体においては、車両の往復により路体を痛めつけやすい
- 土構造の路体においては、車両の往復による土の移動により、埋設した磁気マーカー及び電磁誘導線が移動してしまう恐れがある
- 埋設作業が手間
- 道路上の何m地点にいるのかが認識できない
- 別動作の指示はできない

< QRコード >

- 読み取りの調整が必要（カメラ向き・角度）
- 天候・障害物飛来等によりコードを検知できない恐れがある

参照



Photo2. 試作機外観
 Prototype appearance



Photo4. QRコードと立て看板
 QR code and vertical sign

出所：電磁誘導式自動走行フォワードによる集材作業の無人化に関する研究
 「森林総合研究所研究報告」Vol.20-No.1（No.457）19-28 March 2021
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/457/documents/457-3.pdf>

名称	関係団体・事業	URL
GMPS	愛知製鋼株式会社	https://www.aichi-steel.co.jp/smart/mi/gmps/technology.html
電磁誘導線（ゴルフカー）	YAMAHA	https://www.yamaha-motor.co.jp/golfcar/technology/self-driving.html
電磁誘導式自動走行フォワードによる集材作業の無人化に関する研究	国立研究開発法人森林研究・整備機構	https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/457/documents/457-3.pdf

群制御（隊列走行・群飛行）

技術概要

群制御とは、自律的に存在する複数の機械を組織化し、1つのソフトウェアで管理・制御する技術。

< 隊列走行 >

隊列走行とは、複数の車両が連なり、走行状況を通信によってリアルタイムで共有し、自動で車間距離を保って走行する技術。2022年9月に、トラックによる隊列走行システムについて、日本提案の国際標準が発行。隊列の形成/加入/離脱時の機能（隊列運行管理機能）と、隊列走行の機能（隊列走行制御機能）が標準化されている。

< 群飛行 >

群飛行とは、ドローンのような飛行機体を複数同時に飛行させる技術であり、近年は特にドローンにおいて、研究・開発が進められており、ドローン同士が直接通信して互いの位置を知らせることで、追従飛行や編隊飛行、接近回避を自律して行うシステムが開発されている。

システムの特徴として、従来はドローンごとに地上側との無線通信が必要であり、操縦のために使用する2.4 GHz帯は一般的に多く利用されていることから、電波が混雑するという課題があったが、他の周波数帯を適用することで通信の混雑を避けている。

課題

< 隊列走行 >

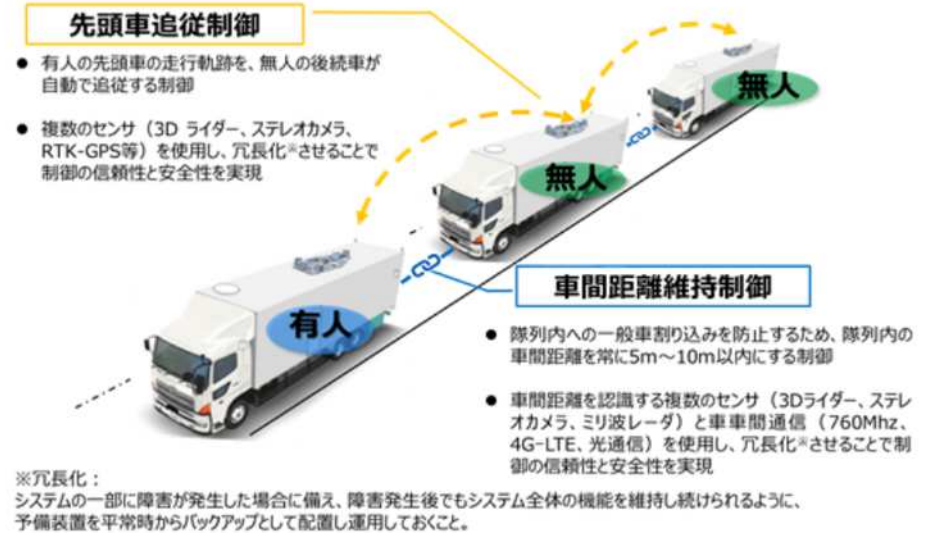
- 本技術を応用して、フォワーダやトラックによる木材の運搬作業への活用が期待される
- 本技術の先頭車との横ずれは左右±50cm以内の精度。森林作業道においては、±25cmでの精度が求められる

< 群飛行 >

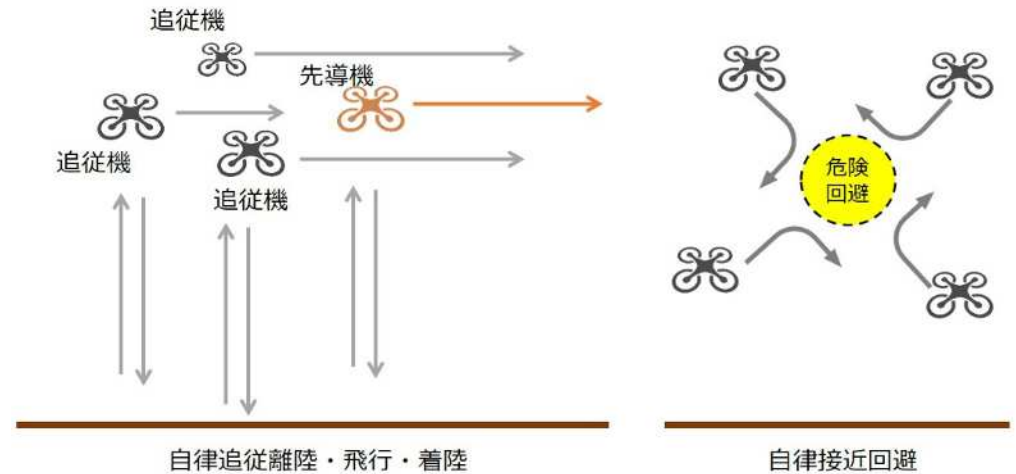
- 気流の関係もあり、縦に重なる場合の制御が難しい

参照

名称	関係団体・事業	URL
トラック隊列走行システム	経産省	https://www.meti.go.jp/press/2022/09/20220921001/20220921001.html
ドローンの群飛行及び接近回避システム	国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）	https://www.nict.go.jp/press/2022/04/11-1.html



出所：豊田通商(株) 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



出所：国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）
 世界初、ドローン同士の直接通信で自動追従群飛行と自律接近回避に成功
<https://www.nict.go.jp/press/2022/04/11-1.html>

傾斜不整地における姿勢保持（支援）

技術概要

傾斜不整地の現場条件において、稼働が可能な重機及び可能・支援する機構として、ウインチを用いた以下の技術が実用・開発されている。

< 土木工事用（崩壊地）> 例：ロッククライミングマシン、セーフティークライマー

- ・斜面上部にアンカーを設置し、ワイヤーで重機を吊るす方法
- ・ラジコン操作も可能
- ・リフティング装置により機体搭乗部を水平に保つ機能を持つ機体もある

< ウインチアシスト型 > 例：「T-WINCH」、「テザー」、「ハイランダー」

- ・重機をウインチで牽引し、安定姿勢をアシストする機能
- ・ウインチ一体型の重機と、道上に牽引用の機械を設置し牽引する方法がある
- ・牽引力は機械によるが2～8t程度、ロープ長は数十m～数百m程度

< 多関節型 > 例：スパイダー

- ・脚の独立制御が可能で、複雑な地形においても一定の安定性あり

課題

- ・アンカー・ワイヤー設置には、高度な技術を要する
- ・アシスト機械については、高度な技術を要さないが、一定の傾斜までしか使用できない

参照



出所：セーフティークライマー(下記URLより)



出所：ロッククライミングマシン(下記URLより)



出所：T-WINCH 10.2(下記URLより)



出所：テザー(下記URLより)



出所：HIGHLANDER(下記URLより)



出所：スパイダー(下記URLより)

名称	関係団体・事業	URL
ロッククライミングマシン	大昌建設(株)	http://www.taisho-kk.com/technical/methodtop.html
セーフティークライマー	(株)Sakatec	https://norimen.info/technology/20006/
ウインチアシスト型林業機械「テザー」	住友林業(株)・日本CAT(同)・(株)サナース	https://sfc.jp/treecycle/value/tether.html
自走式トラクションウインチ T-WINCH 10.2	(株)サナース・Ecoforest社	https://www.sun-earth.jp/new-twinch
HIGHLANDER	Konrad Forsttechnik GmbH	https://www.forsttechnik.at/954
4輪多関節型作業機械 スパイダー	(株)サナース・メンツィムック社	https://www.sun-earth.jp/Menzimuck

遠隔操作機構

技術概要

遠隔操作機構としては、現在は既存の重機に後付けでロボットを設置して、そのロボットにより遠隔操作する形が実用化されており、遠隔操作機構が搭載済みの重機の開発も行われている。

近距離（目視内）でのラジコン等による操作と、現場内にネットワークを構築して、機体に取り付けたカメラ映像をモニター越しに見ながら、離れた場所から操作する方式がある。



出所：伐採作業無人化システム「キッター君」（下記URLより）

課題

- 基本的には建機用に開発されているため、林業用のアタッチメントを搭載した機械で使用する場合には、システム調整が必要



出所：Model V（下記URLより）



出所：サロゲート（下記URLより）



出所：K-DIVE（下記URLより）

参照

名称	関係団体・事業	URL
サロゲート	(株)大林組、大裕(株)	https://www.obayashi.co.jp/solution_technology/detail/tech_d101.html
伐採作業無人化システム「キッター君」 (アクティブロボットSAM搭載による)	鹿島建設(株) コワテック(株)	https://www.kajima.co.jp/tech/c_ict/automation/index.html#!body_02 https://www.kowatech.co.jp/products/sam/
Model V	ARAV(株)	https://www.remotecontrol.arav.jp/modelv/
K-DIVE	コベルコ建機(株)	https://www.kobelco-kenki.co.jp/dx/kdive.html

第4章 林業機械の自動化・遠隔操作化による 将来の作業システム例

将来の作業システム例： 車両系作業システム - 緩傾斜地 - イメージ

Sample

- 遠隔操作で伐倒・集材・造材を1名でオペレーション
- グラップルは、カメラ映像により、非有視界で遠隔操作
- 通信は衛星通信を想定

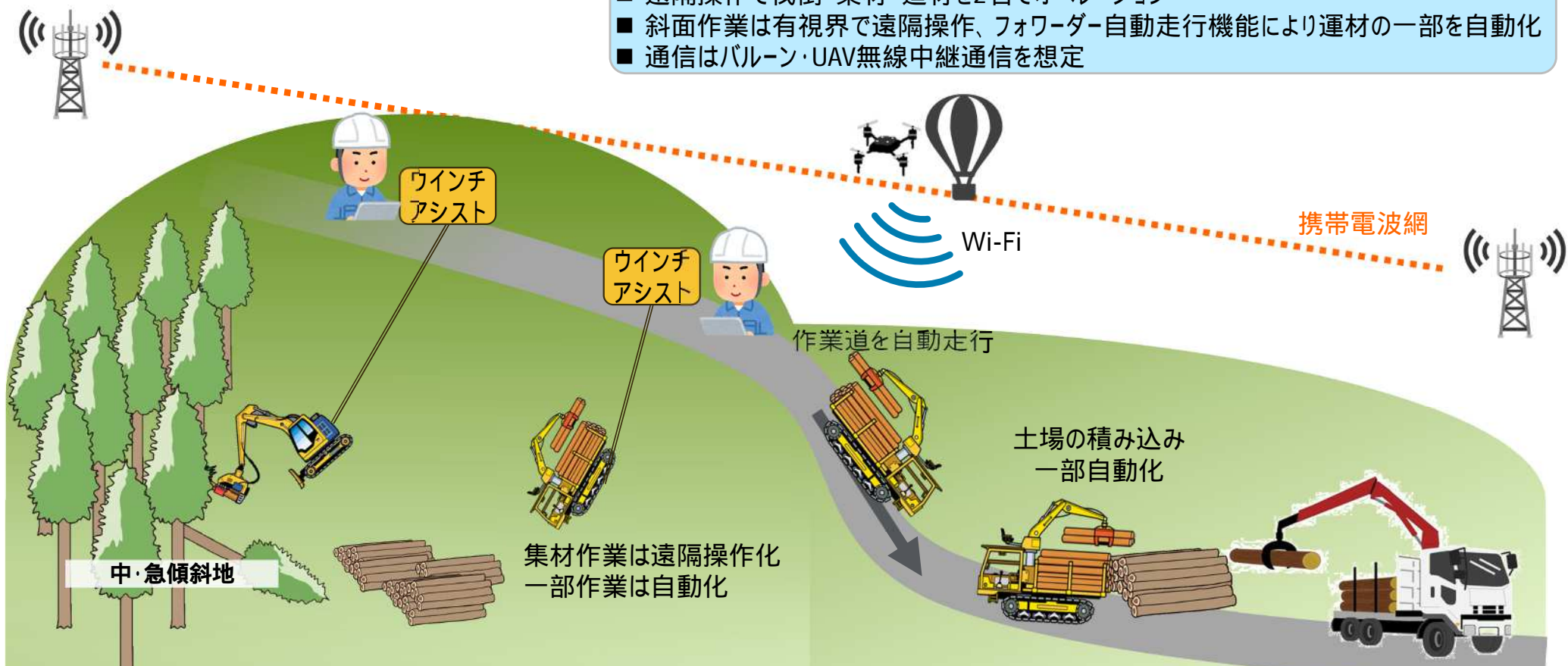


	山床	山土場
車両系作業システム	伐倒 → 集材 → 造材	土場集積 → 積込・トラック運送
無人	遠隔操作式クラムバンク付きハーベスタ	遠隔操作式グラップル付き電動自動運転トラック
自動化	遠隔操作化（有視界）	遠隔操作化（非有視界）
自動化	一部自動化	一部自動化

将来の作業システム例： 車両系作業システム - 中・急傾斜地 - の将来像イメージ

Sample

- 遠隔操作で伐倒・集材・造材を2名でオペレーション
- 斜面作業は有視界で遠隔操作、フォワーダ自動走行機能により運材の一部を自動化
- 通信はバルーン・UAV無線中継通信を想定

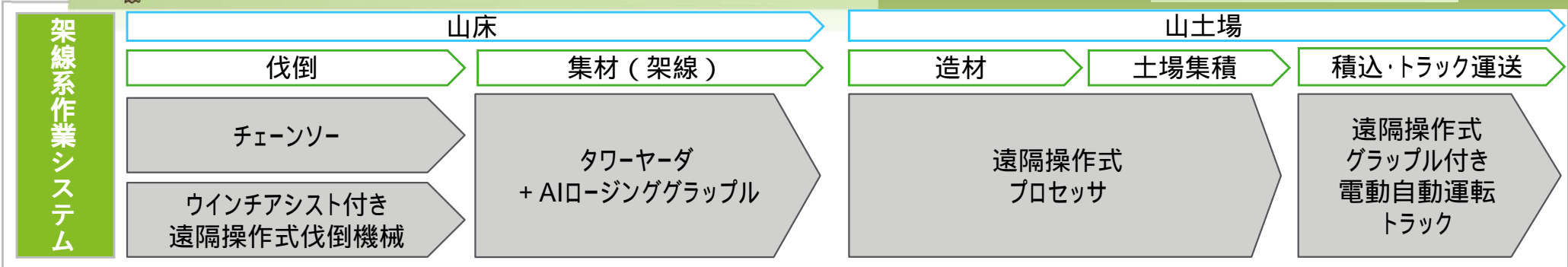


	山床			山土場		
車両系作業システム	伐倒	造材	集材	運材	土場集積	積込・トラック運送
	ウインチアシスト付き 遠隔操作式ハーベスタ			ウインチアシスト付き 遠隔操作式グラップルフォワーダ		遠隔操作式グラップル付き 電動自動運転トラック
	遠隔操作式ロングリーチハーベスタ			遠隔操作式グラップルフォワーダ		
無人化	遠隔操作化（有視界）				遠隔操作化（非有視界）	
自動化	一部自動化				自動化 一部自動化	

将来の作業システム例： 架線系作業システム - タワーヤードの将来像イメージ

Sample

- 遠隔操作で伐倒・集材・造材を2名でオペレーション
- 斜面作業は有視界で遠隔操作、AIロージンググラップルにより荷掛けを機械化
- 土場のプロセッサは有視界の遠隔操作
- 通信は衛星通信を想定

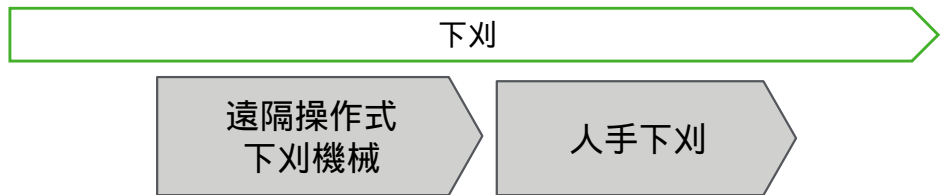
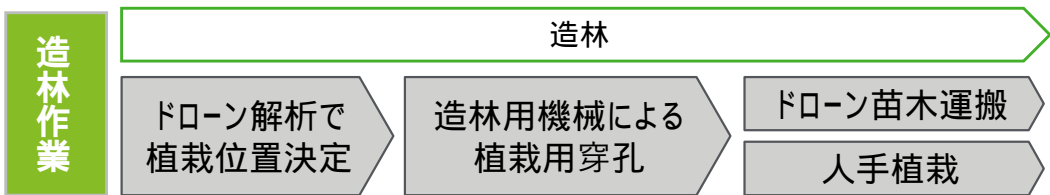
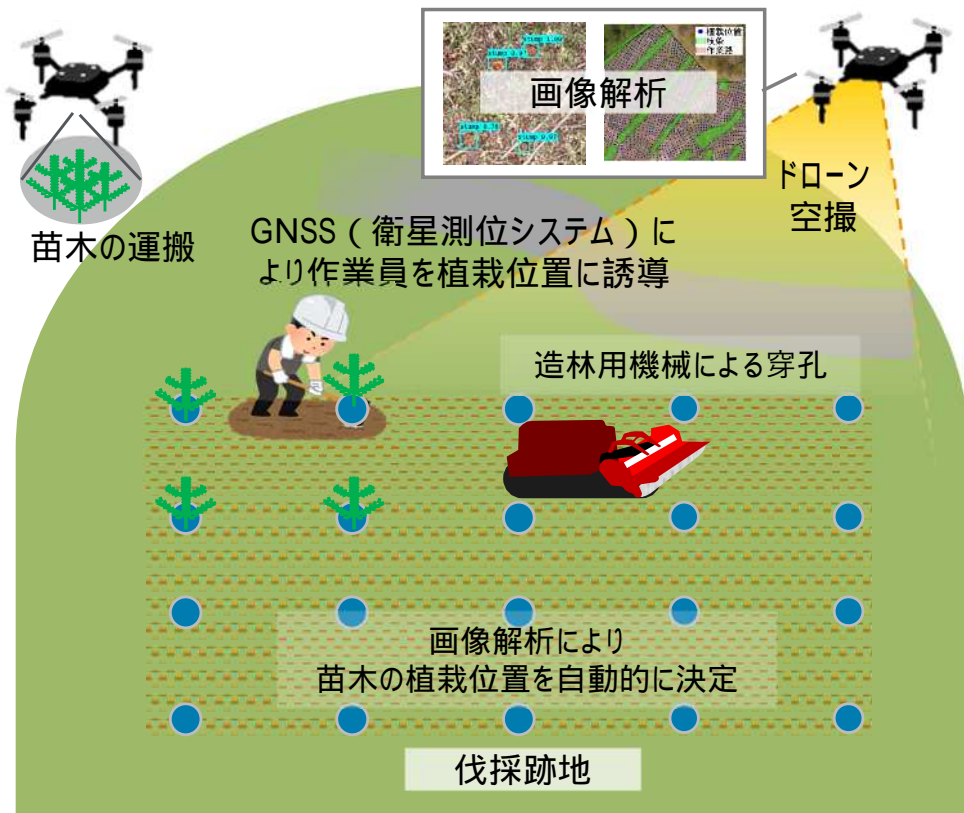


将来の作業システム例： 造林作業の将来像イメージ

Sample

- 地拵えは、一体型施業により実施
- ドローン撮影画像解析により、地形や伐根、岩などを識別し、苗木の植栽位置を自動的に決定
- 地形データを基に、機械・作業者を誘導し、植栽作業を実施

- ドローン撮影画像解析により、決定した苗木の植栽位置を基に、下刈機械を遠隔操作して下刈り作業を実施
- 機械走行が困難な箇所や苗木の周辺は人手で作業



第5章

林業機械の自動化・遠隔操作化の事例集

林業機械の自動化・遠隔操作化に向けた開発・実証等の取り組みをご紹介します

林業機械の自動化・遠隔操作化の主な事例

	事例	作業工程	自動化/ 遠隔操作化	関係団体・メーカー等	令和4年度時点の状況
1	遠隔操作伐倒・搬出林内作業車の実証等	伐採	遠隔操作化	真庭森林組合、松本システムエンジニアリング（株）	市販化に向け、開発を継続中
2	遠隔操作架線集材の生産性・安全性の向上	集材（架線系）	遠隔操作化	イワフジ工業（株）、中井林業	令和3年度から販売開始
3	横取り架線集材作業の自動化に向けた技術開発	集材（架線系）	自動化	イワフジ工業（株）	集材自動化に向け、システムを改良・実証中
4	集材・運材作業の安全性向上に向けた先端技術を活用したフォワードの開発	集材（車両系）・運材	遠隔操作化	（株）諸岡	市販化及び自動運転に向けた技術の開発・実証中

林業機械の自動化・遠隔操作化に向けた開発・実証等の取り組みをご紹介します

林業機械の自動化・遠隔操作化の主な事例

	事例	作業工程	自動化/ 遠隔操作化	関係団体・メーカー等	令和4年度時点の状況
5	集材・運材作業の自動化に向けた先端技術を活用したフォワーダの開発・実証	集材（車両系）・運材	自動化	（株）諸岡、パナソニックアドバンステクノロジー（株）、森林総研、東京農工大学	自動運転に向けた技術の開発・実証中
6	森林内で作業が可能な造林用機械の開発	造林（植栽）	遠隔操作化	（株）筑水キャニコム	令和元年度より乗用操作タイプの機械を販売開始。植栽用アタッチメント及び遠隔操作技術を改良・実証中
7	急傾斜地でも下刈り作業が可能な小型遠隔操縦式下刈り作業機械の開発	造林（下刈）	遠隔操作化	（株）筑水キャニコム	令和5年度市販化予定
8	通信システムを活用した下刈り作業機械の遠隔操作化に向けた実証等	造林（下刈）	遠隔操作化	（株）NTTドコモ、（株）筑水キャニコム、南佐久中部森林組合	開発・実証中。バルーンを活用した森林内通信システムは、令和5年度市販化予定

1. 伐採/遠隔操作化

先進的林業機械緊急実証・普及事業
(令和2年度補正予算)

真庭森林組合、
松本システムエンジニアリング(株)

傾斜地でも作業可能な遠隔操作伐倒・搬出林内作業車の実証等

AR技術を活用した遠隔操作により傾斜地でも伐倒・搬出作業を行う林内作業車を実際の施業現場で実証し、伐倒・搬出作業の**省人化、軽労化及び安全性の確保**を図る。

実証機械(遠隔操作伐倒・搬出林内作業車)の概要

ホイール型多目的林内作業車 1



AR技術

改良型ウインチアシスト機能

改良型ロングアーム・ブーム

改良型フェラーパンチャ(アタッチメント)

実証の様子(大分県久大林産(株)森林整備事業箇所)



ARスマートグラス



AR技術を活用した遠隔操作



遠隔操作



傾斜地での伐倒・搬出作業の様子

1:平成28年度、林野庁森林作業システム高度化技術開発事業(委託事業)において開発。
(ベース機械の特殊アーム付き8輪ホイール型フォワーダ及び多目的造林アタッチメントを開発。)

傾斜地で機体を支持するウインチ 2及びワイヤー



ウインチ装置

改良型ロングアーム・ブーム及びフェラーパンチャ(アタッチメント)



フェラーパンチャ

・自主開発し、市販化している特殊ロングアーム・ブーム及びフェラーパンチャ(アタッチメント)を本実証用に改良。

【実証等の取組概要】

- ・遠隔操作伐倒・搬出林内作業車機体の前・後、ブーム箇所に高性能カメラを装着し、カメラ映像とAR技術を活用して機械周辺の映像を立体的に捉えながら遠隔操作で走行・伐倒・搬出作業を行うことが可能となった。()
- ・改良型ウインチアシスト機能により、傾斜地に進入して、安定して伐倒・搬出作業を行うことが可能となった。()
- ・改良型ロングアーム・ブーム及びフェラーパンチャ(アタッチメント)により広範囲かつ安定して伐倒、集材作業を行うことが可能となった。(、)
- ・機械足回り(走行)機構のボギー等に改良を加えることにより、凸凹地においても安定した走行が可能となった。

2:平成30年度、令和元年度、森林作業システム高度化対策(補助事業)にて開発したウインチアシスト装置を本実証用に改良。

2. 集材（架線系）/遠隔操作化

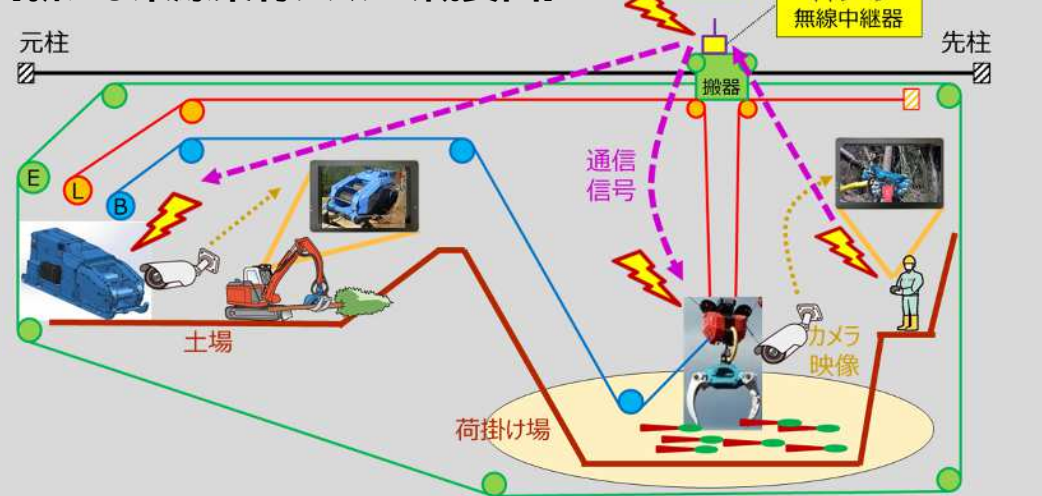
先進的林業機械緊急実証・普及事業
（令和2年度補正予算）

〔イワフジ工業（株）
中井林業〕

遠隔操作架線集材の生産性・安全性の向上

架線式グラップルと油圧集材機による「新たな架線集材システム」を使用し、遠隔操作による効率的な架線集材により、省力化及び生産性と安全性の向上を図る。

【新たな架線集材システム概要図】

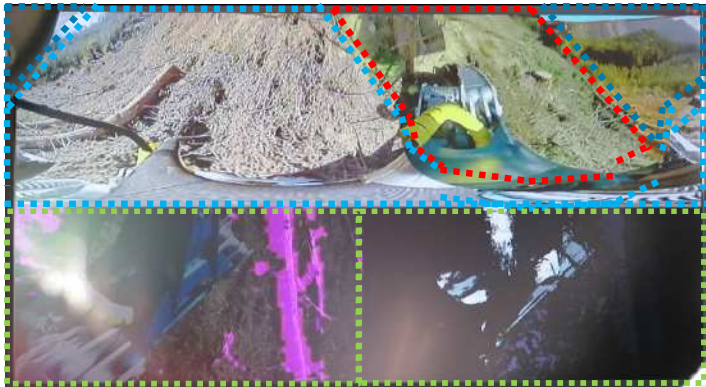


【取組概要】

- ・イワフジ工業（株）は、中井林業をはじめとした和歌山県内の林業事業者とも協力し、林野庁補助事業を活用して、遠隔操作が可能な架線式グラップルと油圧集材機による「新たな架線集材システム」を開発。令和3年度から販売開始。
- ・荷掛け場や集材土場に配置された作業員は、無線通信を活用して伝送されるカメラ映像を通して荷掛け作業現場の状況や油圧集材機の稼働状態をモニターで把握・監視しながら、遠隔で各機械を操作し架線集材作業（荷掛け・荷上げ・搬出・荷下し）を行う。
- ・作業員は丸太に一切触れることなく、安全かつ効率的に架線集材作業を行うことが可能。

横取り架線集材作業の自動化に向けた技術開発

AIが集材木を画像識別し、自動で荷掴み・荷上げ・搬出・荷下ろしを行い、架線直下だけでなく横取り集材も可能なAI搭載架線式グラップルを開発し、集材作業の**省人化**、**効率化**、**安全性の確保**を図る。



カメラやセンサによる伐採箇所の状況把握とAIによる集材木識別



荷上索
横取り集材



自動荷掴み



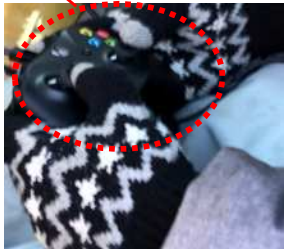
自動搬出



AI制御油圧式集材機

自動荷下ろし

操作リモコン



MRゴーグル



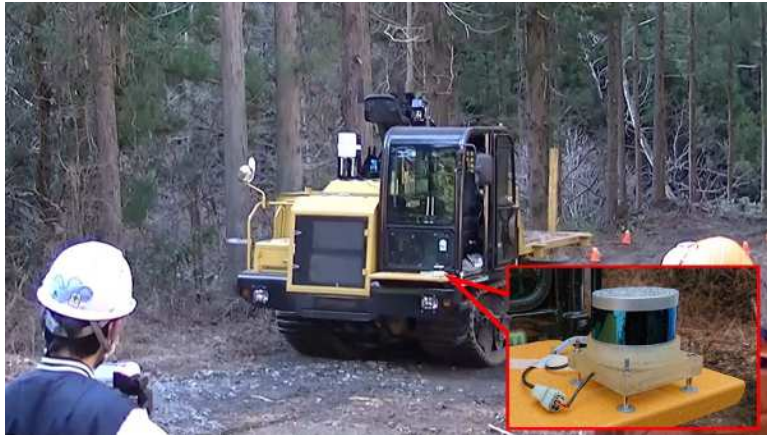
MR技術とリモコンを活用して油圧式集材機とグラップルを遠隔操作。
右の画像は、MRゴーグルに映る作業現場と架線式グラップルの3DCG映像。



【開発機械の概要】

- ・架線式グラップルに搭載したAIが、集材木を識別し、自動で荷掴みを行うとともに、無線通信で油圧式集材機のワイヤロープの繰り出し・巻き取りを制御して、自動で荷上げ、搬出、荷下ろし作業を行う。
- ・架線直下だけでなく広範囲の横取り集材作業も可能。
- ・架線式グラップルから送信されるカメラ映像やセンサ画像等を見ながら、リモコン遠隔操作による作業も可能。
- ・MR技術を活用して作業現場の3DCG映像を確認しながら、天候等の影響を受けない安全で快適な乗用車内から遠隔操作で作業することも可能。

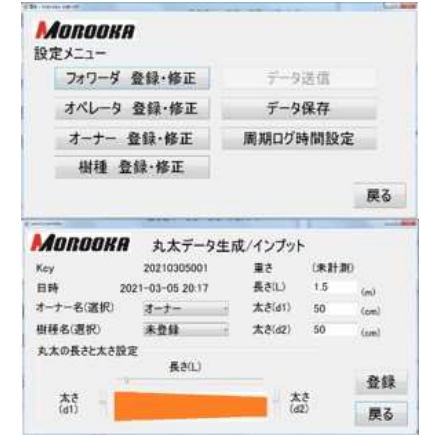
集材・運材作業の安全性向上に向けた先端技術を活用したフォワーダの開発
センシング技術等を活用して路網形状や丸太等のデータ記録を行い、遠隔操作で走行及び材積込作業等を行うフォワーダを開発し、集材・運材作業の**省人化、効率化、安全性の確保**を図る。



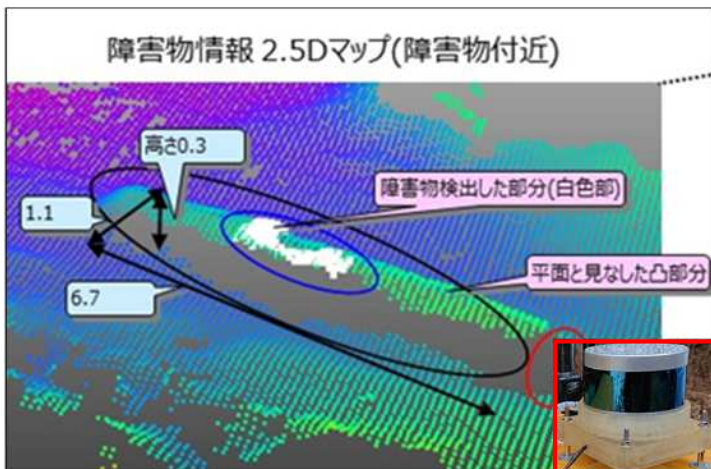
遠隔操作による走行と3D-LiDARによる路面のスキニング



遠隔操作による材の積込作業
掴んだ丸太の重量データはタブレットに自動記録



データ記録された丸太やフォワーダ稼働情報



3D-LiDARによる路面形状のデータ化

【開発機械の概要】

- ・フォワーダ内部機構を電子制御化することにより、走行及び材の積込み・積下し作業をリモコン遠隔操縦で行うことが可能になり、集材・運材作業の省力化と安全性の確保を実現。
- ・センシング技術等を活用して取得した積込丸太の重量等のデータ及びフォワーダ自体の稼働データ等を自動記録するシステムを開発し、作業情報管理の省力化、効率化を実現。
- ・3D-LiDAR（レーザーキャナ）装置を利用した路網センシングによる路面形状のデータ化及び3D地図作成に成功し、この技術を将来の自動運転に応用するために継続して技術改良・実証中。

5.集材（車両系）・運材/自動化

林業イノベーション推進総合対策のうち
戦略的技術開発・実証事業（令和4年度）

（株）諸岡、パナソニックアドバンステクノロジー（株）、森林総研、東京農工大学

集材・運材作業の自動化に向けた先端技術を活用したフォワーダの開発・実証
 フォワーダの自動運転に必要なセンシング技術の高度化及び森林作業道の高精度3Dマップ化に係る開発・実証を実施し、集材・運材作業の**省人化、効率化、安全性の確保**を図る。

令和3年度までの開発・実証実績

令和4年度開発・実証内容



3D-LiDAR

【令和2年度開発・実証実績（補助事業）】
 ・遠隔操作走行の実現。
 ・センシング技術等を活用した自動走行試験。
 （20m程度の自動走行成功。）
 （林野庁）令和2年度省力化機械開発推進対策



【令和3年度開発・実証実績（自主開発）】
 ・ベース車の荷台を、クラムバンク仕様に改良。
 ・センシング技術等を活用した自動走行試験。
 （自動走行とラジコン操作を組合わせた無人集材作業に成功。）

センシング技術の高度化

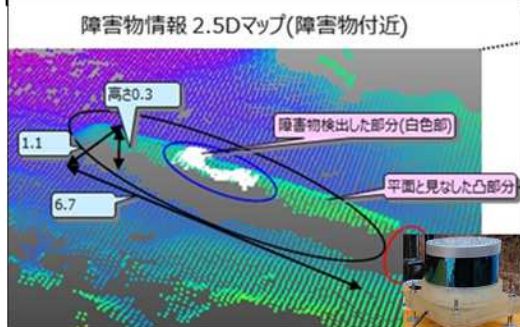


森林作業道の高精度3Dマップ化



・自動走行の精度向上
 ・自動運転の早期実現

参考：3D-LiDARによる路面形状のデータ化画像



【開発・実証の計画概要】

- ・自動運転に必要な障害物や周辺情報の収集及び自己位置や機体姿勢の検出を正確に行えるようにするために、これまでに開発を進めてきた自動運転用LiDAR-SLAMの検出精度向上に加え、高精度・高安定GNSSとLiDAR-SLAMによって生成した3Dマップデータに絶対位置情報を付加するシステムの開発・実証を行う。（ ）
- ・上記開発システムで収集、検出した情報を、フォワーダ操縦者に通知する機能の開発・実証を行う。（ ）
- ・森林作業道の適切な維持・管理に向け、データでの路網管理等を行えるようにするために、上記システムで取得した情報データをもとに高精度な3Dマップを生成する技術の開発・実証を行う。（ ）

森林内で作業が可能な造林用機械の開発

アタッチメントを交換することにより、1台で地拵^{じごしら}えや下刈りなどができ、傾斜地でも走行可能な小型・遠隔操作式の造林用作業機械を開発し、作業の**安全性の確保**、**軽労化**、**効率化**を図る。



伐根粉碎作業



コンテナ苗植栽用の
穿孔作業



苗木運搬作業



傾斜地での下刈作業

【開発機の概要】

- ・機械化が進んでいない造林作業について、1台のベースマシンで複数の造林作業に対応。
- ・植栽用穿孔アタッチメントは、傾斜地でも鉛直方向に穿孔可能。
- ・下刈用アタッチメントは、笹・雑草の刈り払いに加え、走行の支障となる伐根も粉碎。
- ・苗木運搬用アタッチメントは、傾斜地でも常に水平を維持。
- ・植栽間隔1.8m(約3千本/ha)の造林地の下刈りができる小型機を開発中。
- ・この機械は、傾斜40°の森林内でも走行可能。車両底部の高さを10cm確保し、足場が悪い現場にも対応。

7.造林（下刈）/遠隔操作化

林業イノベーション推進総合対策のうち
省力化機械開発推進対策（令和2年度）

（株）筑水キャニコム

急傾斜地でも下刈り作業が可能な小型遠隔操縦式下刈り作業機械の開発

急傾斜かつ根株や末木枝条が残る凸凹な植栽地況でも下刈り作業が可能な小型遠隔操作式の下刈り作業機を開発し、下刈り作業の**省人化**、**軽労化**、**安全性の確保**を図る。



遠隔操作による下刈り作業



根株を乗越える様子



40度の傾斜走行

【開発機械の概要】

- ・オペレーターが下刈り作業機械を遠隔操作して作業を行うため、下刈り作業の軽労化と安全性確保を実現。
- ・車両最低地上を16.5cmに設計し、特殊な足回り構造にすることにより、根株や末木枝条が残る凸凹な植栽地況でも下刈り作業が可能。
- ・植栽列間1.8mの造林地でも下刈りが可能な小型の機体サイズ。
- ・足回りクローラ(左右)が20cm伸縮し、傾斜度や植栽列間幅に合わせ機体を安定させる車幅に変形するため、複雑な地況、条件下の作業でも柔軟に対応。
- ・エンジン等の機体パーツに独自改良を加えたことにより、急傾斜地や凸凹な地況でもエンジン・ストップや機体損傷等で止まることなく、安定した走行と下刈り作業を実現。



足回りクローラが左右に伸縮

8.造林（下刈）/通信システムを活用した遠隔操作化

林業イノベーション推進総合対策のうち
戦略的技術開発・実証事業（令和4年度）

（株）NTTドコモ、（株）筑水
キャニコム、南佐久中部森
林組合

通信システムを活用した下刈り作業機械の遠隔操作化に向けた実証等

下刈り作業機械のIoT化及び森林内においてもインターネットに繋がる通信システムの構築を進め、下刈り作業機械の遠隔操作化に向けた実証等を実施し、下刈り作業の**省人化、軽労化、安全性の確保**を図る。

下刈り作業機械のIoT化

小型遠操作式下刈り作業機械



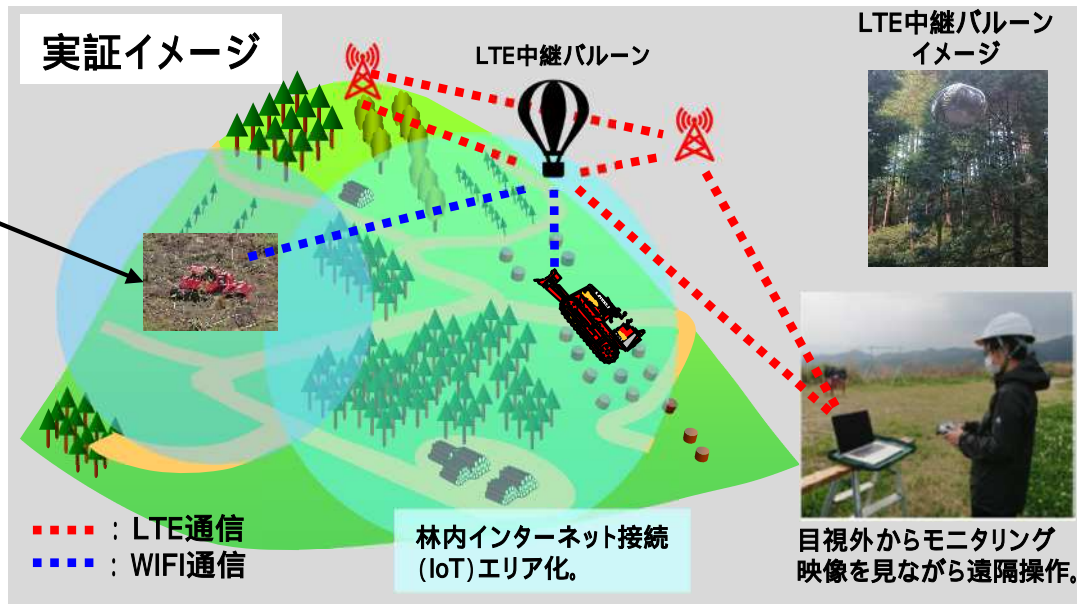
モニタリング用カメラ

画像制御システム

IoT用通信デバイス

令和2年度、林野庁省力化機械開発推進対策において開発。
令和3年度、林野庁先進的的林業機械緊急実証・普及事業において改良・実証を実施。
現在の操作仕様は、ラジコンによる近距離遠隔操作。目視外からの遠隔操作はできない。

実証イメージ



【実証・機械改良等の計画概要】

- ・現状の小型遠隔操作式下刈り作業機械に通信用カメラやIoTデバイス等を取り入れ、通信を活用した遠隔操作のための改良を行う（下刈り作業機械のIoT化）。
- ・携帯電波が通じないことが多い造林作業現場において、通信中継器を装着したバルーンを活用し、林内の作業現場と林地外が確実にインターネットで繋がる通信環境の構築に係る実証を行う（森林内通信システムの構築）。
- ・上記通信システムによってインターネット接続が可能となった造林作業現場において、LTE通信やWi-Fi通信を用いてIoT化された下刈り作業機械を目視外のエリアから遠隔操作する実証を行う。
- ・「目視外からの遠隔操作」における課題点等を取りまとめ、下刈り作業機械の遠隔操作機能及び森林内通信システムの改善を図る。
- ・下刈り作業機械及びバルーンを活用した森林内通信システムは、令和5年度中の市販化を予定。