

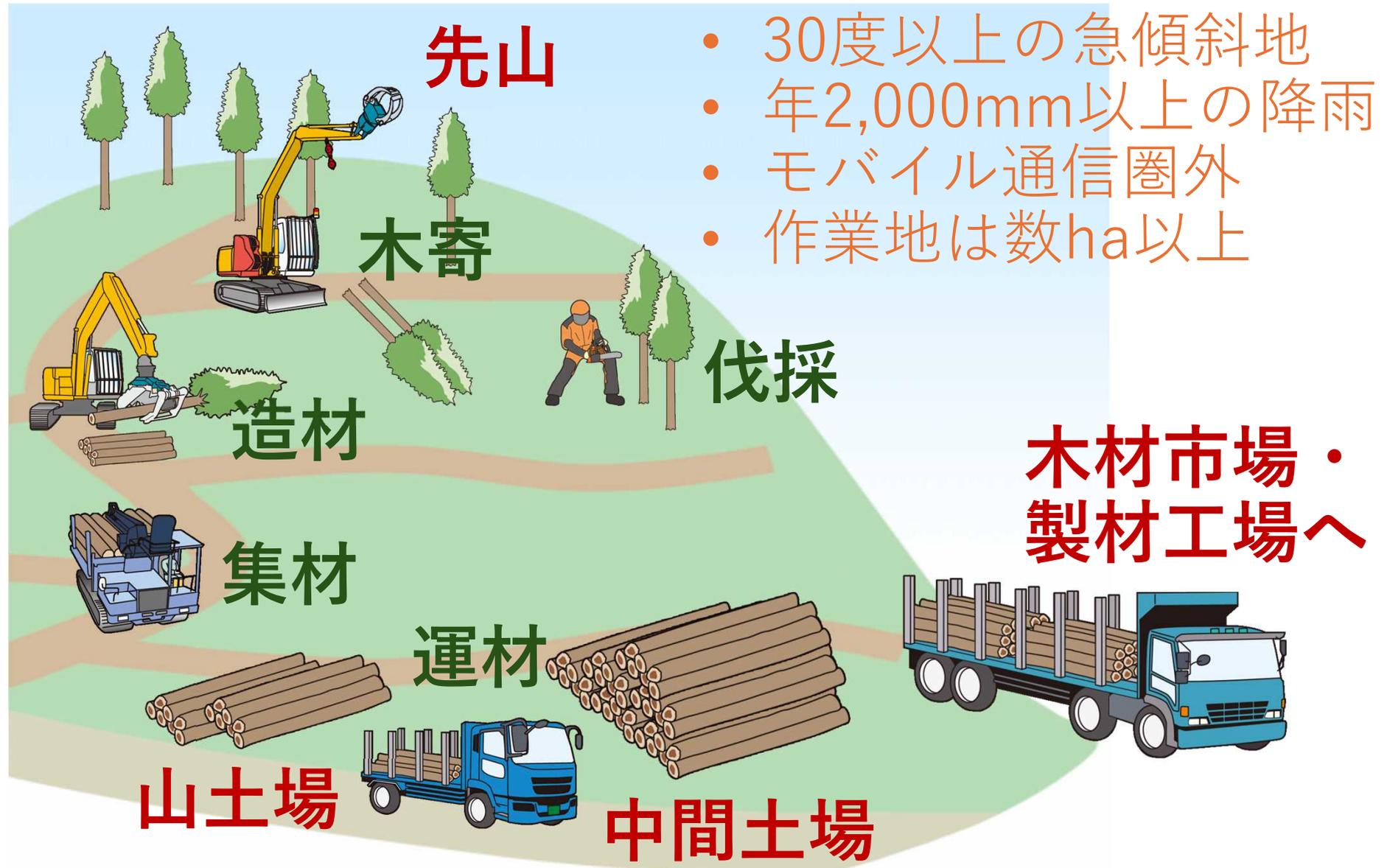
機械の無人運転における安全確保等に関する専門家検討会資料

－ 林業分野 －

森林総合研究所 林業工学研究領域

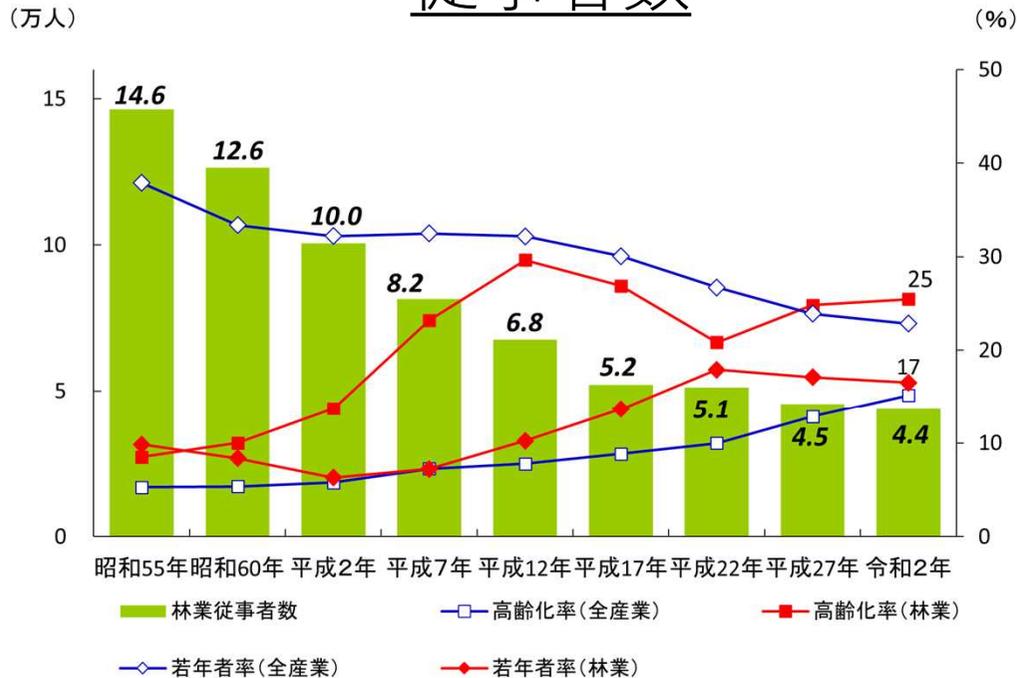
中澤 昌彦

木材生産の一般的な流れ



林業の従事者数と労働災害

従事者数



労働災害



資料:総務省「国勢調査」

注:高齢化率とは、総数に占める65歳以上の割合
若年者率とは、総数に占める35歳未満の割合

林野庁<https://www.rinya.maff.go.jp/j/routai/doukou/index.html>

- 死傷千人率2030年までに半減 (林野庁)
- 労働生産性の向上と労働災害の低減

各業種の死傷年千人率(休業4日以上)の推移

区分	平成30年	令和元年	令和2年	令和3年	令和4年	令和5年	令和6年
全産業	2.3	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.3
林業	22.4	20.8	25.4	24.7	23.5	22.8	23.3
鉱業	10.7	10.2	10.0	10.8	9.9	9.9	9.6
建設業	4.5	4.5	4.4	4.6	4.5	4.4	4.2
製造業	2.8	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7
木材・木製品製造業	10.9	10.6	10.5	12.0	12.3	11.9	11.4

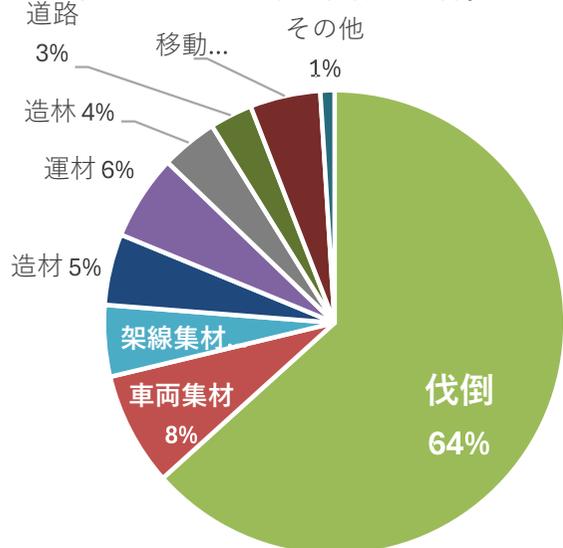
資料:労働者死傷病報告(厚生労働省)及び総務省労働力調査
注:令和2年~令和6年の死傷者数には新型コロナウイルス感染症へのり患によるものを含まない。

林野庁<https://www.rinya.maff.go.jp/j/routai/anzen/iti.html>

スマート林業の必要性 - 安全の確保 - (林野庁資料)

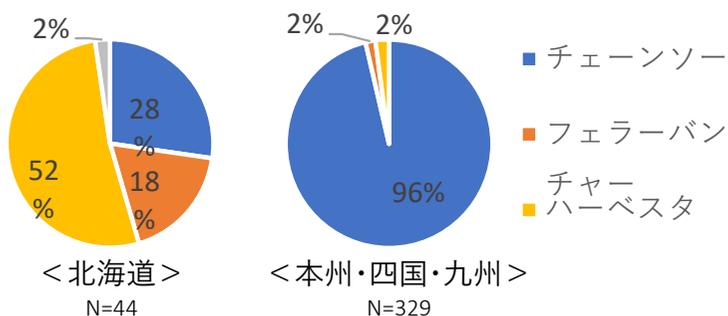
- 死亡災害の約6割が発生する「伐倒」作業の安全の確保が最重要課題。
- 次いで、車両集材と架線集材を合わせた「集材」作業において、1割強の死亡災害が発生しており、対策が必要。

■ 林業の死亡災害の作業別割合
(2017～2021年：総数170件)

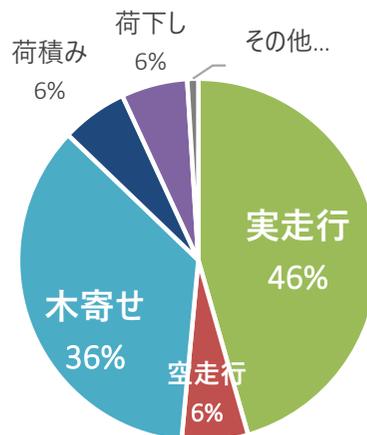


伐倒作業時の災害発生が最多。その多くはチェーンソーによる伐倒作業に起因。

■ 伐倒作業に用いる林業機械の割合 (2022年度)

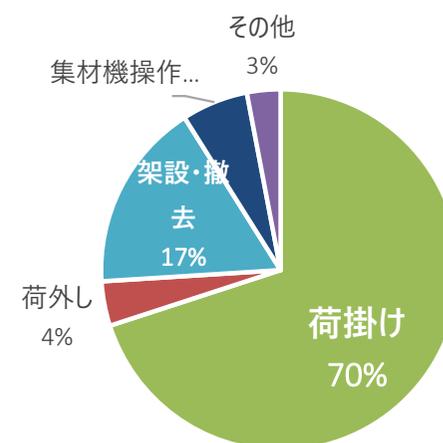


■ 車両系集材作業の死亡災害の要素作業別割合
(2000～2021年：総数70件)



- ・実走行時に、フォワードごと作業道から転落する災害が多い。
- ・次いで、ウインチによる木寄せ作業における集材木と激突等の災害が多い。

■ 架線系集材作業の死亡災害の要素作業別割合
(2001～2021年：総数71件)



- ・荷掛け時の災害が最多。集材木が斜面を滑り激突、作業索を設置した滑車や伐根が飛来して激突等の災害が多い。
- ・高所作業が必要な索張りの架設・撤去における転落等の災害も多い。

(取組の方向性)

- ・伐倒木、集材木、作業索等の危険源から十分離れた位置で操作
 - ・林内に機械が進入し、安全なキャビン内から操作
- を可能とする技術の開発・導入

(実用段階にある技術の例)



遠隔操作伐倒機械

グラフの出典：「林業労働災害ゼロを目指して」, 山田容三, 機械化林業NO.835(2023)、林野庁業務資料

スマート林業の必要性 - 労働負荷の軽減 - (林野庁資料)

- 林業には、傾斜・不整地における人力作業を中心とする労働負荷の高い作業が多く残る。
- 林業をより魅力ある職業とし、担い手を確保していくためには、労働負荷の軽減が必要。

■ 主な人力作業の例

伐採・搬出分野



伐倒作業
チェーンソーで受け口、追い口を作った後、手斧で楔を打込む。



木寄せ作業
ロープを持ち、伐倒木と林業機械の間の往復を繰り返す。写真：岩手県林業技術センター

造林分野



下刈り
夏季に重い刈払機を持ち、炎天下で作業。熱中症、蜂刺されの危険も伴う。



植付け
苗木袋を背負いながら中腰で植え穴を掘り、苗木を植付け。

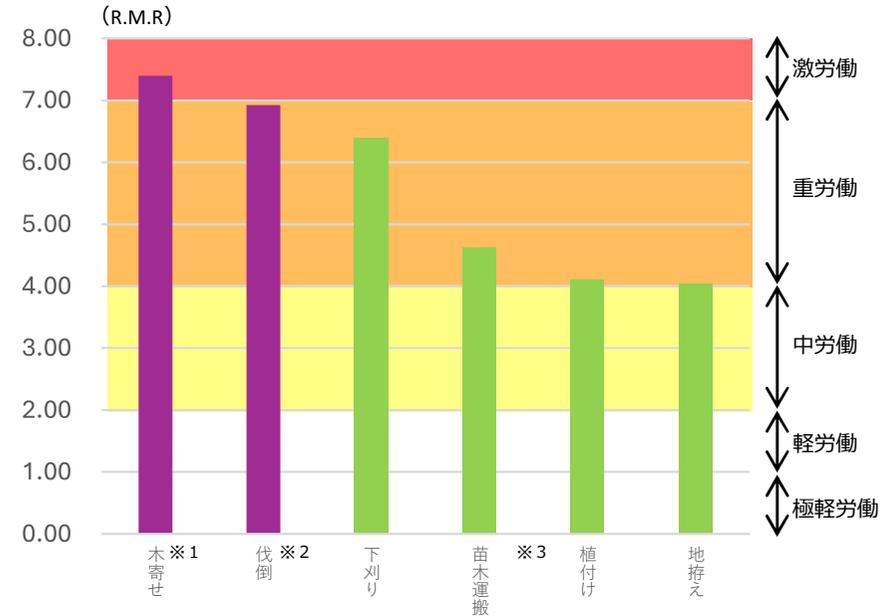


苗木運搬
10～30kgの苗木袋を背負い、斜面の上り下りを繰り返す。



地拵え
伐採・搬出後、短コロ・枝条等を整理。

■ 主な人力作業の労働強度



出典：森林作業に於ける作業者の労働強度,山本俊明,京大演集報30(1997)
エネルギー代謝率 (R.M.R)：作業に要したエネルギー量（労働代謝）を基礎代謝で割った数値。数値が大きいく程、労働強度が高いことを示す。（参考：パソコン0.4、歩行2.1、泥のかきよせ6.0）
※1 木寄せは、フック掛け、フック外し、移動歩行の平均値とした。
※2 伐倒は、傾斜地伐木作業、楔打ち作業の平均値とした。
※3 苗木運搬は、傾斜歩行における登り・降りの平均値により代用した。

(取組の方向性)

人力作業を機械化するために、傾斜・不整地における機械の走行と各種作業を可能とする技術の開発・導入

(実用段階にある技術の例)



遠隔操作下刈り機械

林業機械に関する国内法令

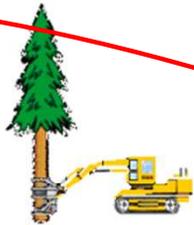
・ 安衛則 第二編 第一章の三 木材伐出機械等

伐木等機械

伐木、造材や原木・薪炭材（以下「原木等」という）の集積を行うための機械で、動力を使い、不特定の場所に自走できるもの

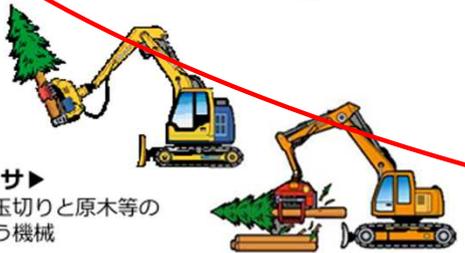
フェラーバンチャ ▶

伐木と原木等の集積を行う機械



ハーベスタ▼

伐木、枝払い、玉切りと原木等の集積を行う機械



プロセッサ▶

枝払い、玉切りと原木等の集積を行う機械



木材グラップル機

木材用のつかみ具（以下「木材グラップル」という）とブーム・アームからなる作業装置（以下「木材グラップル装置」という）により原木等を集積する機械



グラップルソー

玉切りと原木等の集積を行う機械



走行集材機械

車両の走行により集材を行うための機械で、動力を使い、不特定の場所に自走できるもの

フォワーダ

木材グラップル装置と荷台を備え、木材グラップル装置により原木等の荷台への積載を行い、車両の走行により原木等を運搬する機械



スキッド

ブル・ドーザー、トラクター・ショベルなどをベースマシンとし、木材グラップル装置により原木等の一端を持ち上げ、車両の走行により原木等を運搬する機械



集材車

原木等を荷台に積載し、車両の走行により運搬する機械。原木等を荷台に積載するためのウインチや滑車をつり下げるポールを備えたものを含む



集材用トラクター

ブル・ドーザー、トラクター・ショベルなどをベースマシンに、ウインチを備え、原木等をウインチのワイヤロープにより、けん引して運搬する機械



架線集材機械

動力を使って原木等を巻き上げることにより、原木等を運搬するための機械。動力を使い、不特定の場所に自走できるもの

タワーヤーダ

支柱と2つ以上のドラムのあるウインチを備え、支柱を使って原木等をウインチのワイヤロープで巻き上げて集材を行う機械



スイングヤーダ

ドラグ・ショベル、木材グラップル機などに2つ以上のドラムのあるウインチを備え、ブーム・アームを支柱とし、原木等をウインチのワイヤロープにより巻き上げて集材を行う機械

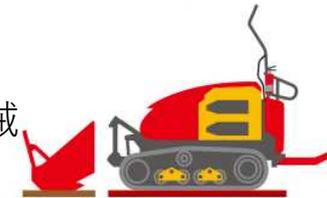


集材ウインチ機

ドラグ・ショベル、木材グラップル機などのブームの下部または機体の前面に1つのドラムのあるウインチを備え、原木等をウインチのワイヤロープにより巻き上げて集材を行う機械



上記外
下刈機械



参考 厚労省.車両系木材伐出機械リーフレット.2014.

有人かつ搭乗が前提、遠隔・自動運転は想定外

林業機械の自動運転・遠隔操作に関する安全対策検討会（R6, 7-8）

委員

- 陣川 雅樹（森林総合研究所、座長）
- 中澤 昌彦（森林総合研究所）
- 岩岡 正博（森林利用学会、東京農工大学）
- 齋藤 剛（労働安全衛生総合研究所）
- 堀江 慶佑（堀江林業）
- 林業機械化協会
- 全日本森林林業木材関連産業労働組合連合会
- 全国素材生産業協同組合連合会
- 全国森林組合連合会
- イワフジ工業
- 前田製作所
- 諸岡
- 魚谷鉄工
- 松本システムエンジニアリング

オブザーバ

- 秋岡 陽一郎（林業・木材製造業労働災害防止協会）
- 東 好宣（厚労省）

これまでの取組

令和6年度 遠隔操作を対象として検討を開始
 令和7年4月「林業機械の遠隔操作に関する安全性確保ガイドライン Ver.1.0」を策定・公表
 令和7年度 自動運転を対象として検討を開始

林業機械の遠隔操作に関する安全性確保ガイドライン ~Ver.1.0~ の概要

2025.4.2

目的

遠隔操作林業機械を使用することで新たに生じるリスクを回避・軽減するため、安全性確保のための関係者の取組、使用上の条件等についての指針を示すこと。

適用範囲

- Ver.1.0は、以下の遠隔操作林業機械に適用。（必要に応じて、対象とする機械・技術の追加及び内容の修正等の改定を実施）
- 適用範囲は、機械の設計、製造、輸入、販売、設置、管理、使用及び修理の各段階。



伐倒作業車



フォワード



集材機及び搬器

安全性確保のための関係者の取組

	リスク アセスメント	保護方策の実施、 機械の販売・管理・使用	訓練	作業計画	災害等（当該機械に係る災害、事故または安全上の重大な故障等）
 製造者等 (設計、製造、輸入)	実施 結果に基づき	保護方策の実施・リスク低減効果の検証を反復、許容可能な程度にリスクを低減	機械の安全な使用等に係る訓練を開催		リスクアセスメントを改めて実施、保護方策の見直し 災害等の状況及び対応内容を記録。林野庁へ提供
 販売者等 (販売、修理)		適切な販売 ↓ 必要な情報を提供			
 導入主体 (設置、管理、修理)		適切な管理・点検 ↓ 機械の使用が適しているか判断	受講させる	使用方法等を定める ↓ 周知	適切な速やかな対応
 使用者・補助作業者 (使用)		使用上の情報等を十分に確認、機械を適切に使用	受講	遵守	災害等発生

製造者等 遠隔操作林業機械に関する要求事項（一部抜粋）

導入主体・使用者 使用上の条件（一部抜粋）

- 遠隔操作システムが正常に機能しない場合は、当該機械が自動停止するように設計する。
- 林業機械の運転状況を明示するために、表示灯、音響警報装置を具備する。
- 人検知機能又はその他の安全機能の搭載により、リスクを許容可能な程度まで低減する。（目視外遠隔操作の場合）
- 導入主体は、作業地内に第三者が立ち入らないよう、警告看板の設置、林道の通行の制限等を行う。
- 使用者は、信号の送受信が可能な場所から遠隔操作林業機械を操作する。
- 使用者が遠隔操作林業機械に接近する場合は、当該機械を停止させる。第三者等が接近するなど危険な場合は、当該機械を非常停止させる。

遠隔操作に関するガイドライン（令和7年4月）
 林野庁 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/morihub/morihub.html>

1. 無人運転機械の開発・普及状況



- フェラーバンチャ

遠隔式伐倒作業車の開発中（アタッチメントや自動走行機能など）
本体は販売中

- フォワード

遠隔、自動を含む無人運転技術の基礎開発は完了
実証フェーズへ移る段階

- 下刈機械

林業の下刈りを行う下刈機械の自動走行を実証
2027年発売に向けて開発中



2. 無人運転機械が使用され、又は想定されている作業



- フェラーバンチャ+スキッド
伐木 ~ 木寄せ作業
(林内) (作業道端)



2. 無人運転機械が使用され、又は想定されている作業



- フォワーダ
先山～土場間の木材運搬作業
- 作業道（土構造で林業機械の走行が想定された道）

また、生産性向上の為、複数台のマルチオペレーションまで考えている。



①,④

自動運転走行

作業道

②,③

先山

土場



2. 無人運転機械が使用され、又は想定されている作業



- 下刈機械
植栽済み林地の下刈り作業

等高線に対して縦も横方向も可
(堤防除草や造成地等の草刈りも可)



3. 無人運転機械の制御方式や技術水準

- フェラーバンチャ
専用コントローラにて制御
通信切断時には機械停止するよう設計
Visual-SLAM
- フォワータ
油圧制御機械（油圧モータを電子制御することが可能）
CAN、Ros2、LiDAR-SLAM
- 下刈機械
GNSSの位置情報を取得し、操作用タブレットの地図にプロットし、下刈時の走行経路を自動作成
作成した走行経路を下刈機械に送信し、受信した下刈機械側で演算を行い自動走行する

林業機械に関する国際規格

- ISO/TC23/SC15：林業用機械
現行規格数 全25 (Amd.含む)

一般

- 6814 (用語全般)
- **11850 (一般安全要求事項)**
遠隔操作は対象外
自動運転では存在検知による安全停止措置
制御システムはISO 13849-1に準拠

鋸断装置・騒音

- 11837 (ソーチェーンの破断)
- 18564 (騒音測定)
- 21876 (ソーチェーンショット)

ブレーキ

- 11169 (ゴムタイヤ)
- 11512 (履帯式)

保護構造

- 8082-1/-2 (ROPS)
- 8083 (FOPS)
- 8084 (OPS)
- 11839 (TOG)

個別機械

- 7448 (チップパー類)
- 13860 (フォワーダ)
- 13861 (スキッタ)
- 13862 (フェラーバンチャ)
- 17591 (ログローダ)
- 19472/-2 (ウインチ)
- 21120 (マルチングマシン)

- フェラーバンチャ
カメラを使った人間感知機能を開発中
付近の障害物・人間を検知できるようセンサ取付を検討中
- フォワード
LiDARを使った障害物や人、路面の検知機能の搭載
障害物や人の検知もしくは路面異常を検知した際のアラート発報または停止機能
- 下刈機械
周囲の作業者に稼働中であることを知らせるランプや音声
カメラやLiDAR等により人を検知して自動停止
作業車にビーコン等を携帯させ機械接近時に音等で知らせる、または車両を停止

- フェラーバンチャ
専用ARゴーグルによる遠隔操作時の視界補助装置を使用
- フォワード
マニュアル運転、ラジコン操作の併用
ゲームパッドによる映像を見ながらの操作
多対多コントロール
- 下刈機械
自動運転と遠隔操作のモード切替が可能
フェールセーフで通信やセンサ異常時は機械を停止
ルート逸脱時は機械停止
ランプや音による表示により運転操作性を補完

- フェラーバンチャ
通信遮断時の自動車体停止機能
エンジン停止スイッチの配置
- フォワード
通信遮断時の停止
ネットワークカメラの搭載や車両情報の送信など緊急停止時の異常状態を確認できる機能・システムの搭載
遠隔からの再始動
路面状態の異常による走行不能時などの帰還機能
- 下刈機械
フェールセーフで異常があれば機械停止
停止時に駐車ブレーキをかけて傾斜地でも停止
転倒時は自動的にエンジンを停止
監視者、運転者が状態を確認してから再起動（人検知が解除された場合は除く）
複数の緊急停止装置（無線リモコン、機体側非常停止スイッチ）
地形条件等で停止している場合は、運転者が操作して復帰

- フェラーバンチャ
林業機械を運転する一般的な技能
メーカーが実施する数日間の導入講習
- フォワード
自動運転制御システムとしてユーザビリティを確保するため、特別な技能は不要な見込み
- 下刈機械
自動走行専用のオペレータ教育
操作方法、非常停止方法、現場での使用可否判断、自動運転中の機械に他者を近づけない等

6. 無人運転機械の設計上の制限仕様の具体的内容について

- フェラーバンチャ

 - 車体角度のセンサ使用

 - コントローラに表示し規定値を超えると赤色表示

- フォーワード

 - 無人運転機械の状態（走行中、停車中、異常発生）などを先山及び土場の作業者が把握するため、通信が途絶した場合は走行停止

- 下刈機械

 - 傾斜角度（最大傾斜**40**度、平均傾斜**30**度程度）

 - 走行速度（現状は無人時の最高速度**6**km/h程度）

 - 気候条件（雨、積雪時等で使用禁止）

 - 地形条件（仕様値を超える傾斜や段差で使用禁止）

 - 原則公道走行禁止、走行ルートを外れた場合は車両停止

7. 無人運転機械に関する労働安全衛生法例に対するニーズや課題について

- フェラーバンチャ

 - 必要装備の明確化

 - 使用者の講習等の必要性についての情報提供

- フォワード

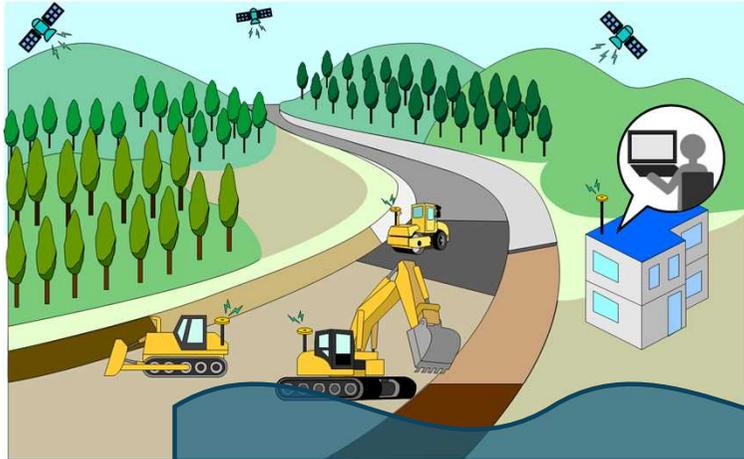
 - 安全の観点だと監視員が必要となるが、林業現場では必ず通信がつかるとは限らないため、通信途絶しても一定時間・距離は運航継続するのが望ましいと考えるが、実利用や実運用における議論が必要
 - 無人運転機械での人の運搬や機械の性能を超えるような積載（過積載）は、労働災害の観点から規制するか、安全システムの一つとして搭載が必須である

- 下刈機械

 - 自動走行時の役割（監視者、運転者）を明確化する必要あり

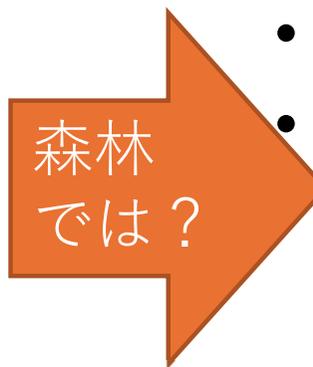
 - 車両側でのセンサによる監視について、試験方法等の規格化やガイドラインが必要

自動化・遠隔操作化への技術



土木の自動運転
建設機械で繰り返し行っている
単純作業を無人かつ自動で行う。

通信状況とGNSSの受信感
度が良いことが前提
構造物を検知



- 構造物が少ない
- 立木、奥深い地形
- 携帯電波が届かない

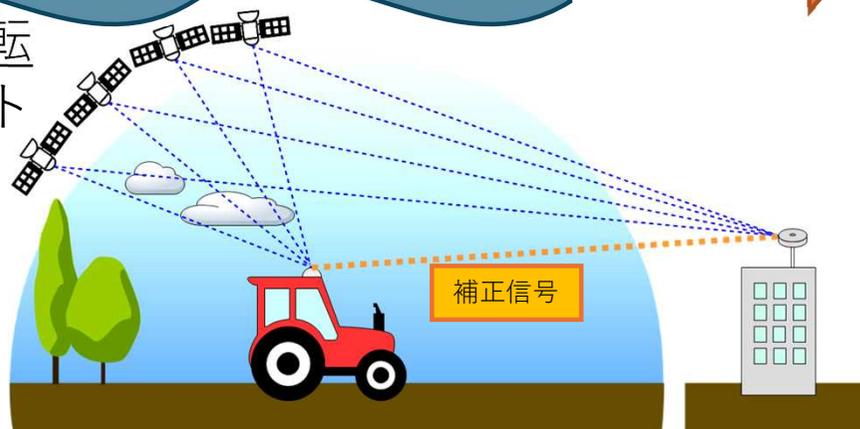


- 検知が難しい
- RTK-GNSS (Ntrip)
ができない



通信手段の確保
自然物の検知

農業の自動運転
インターネット
を使った
RTK-GNSS
(Ntrip)



森林に適した無線通信
SLAMの利用

SLAMとは？

(Simultaneous Localization And Mapping)

→いま自分がいる位置の推定と周囲の環境の構造把握を同時に行う技術

■フォワード自動走行

①有人走行

②ルート生成

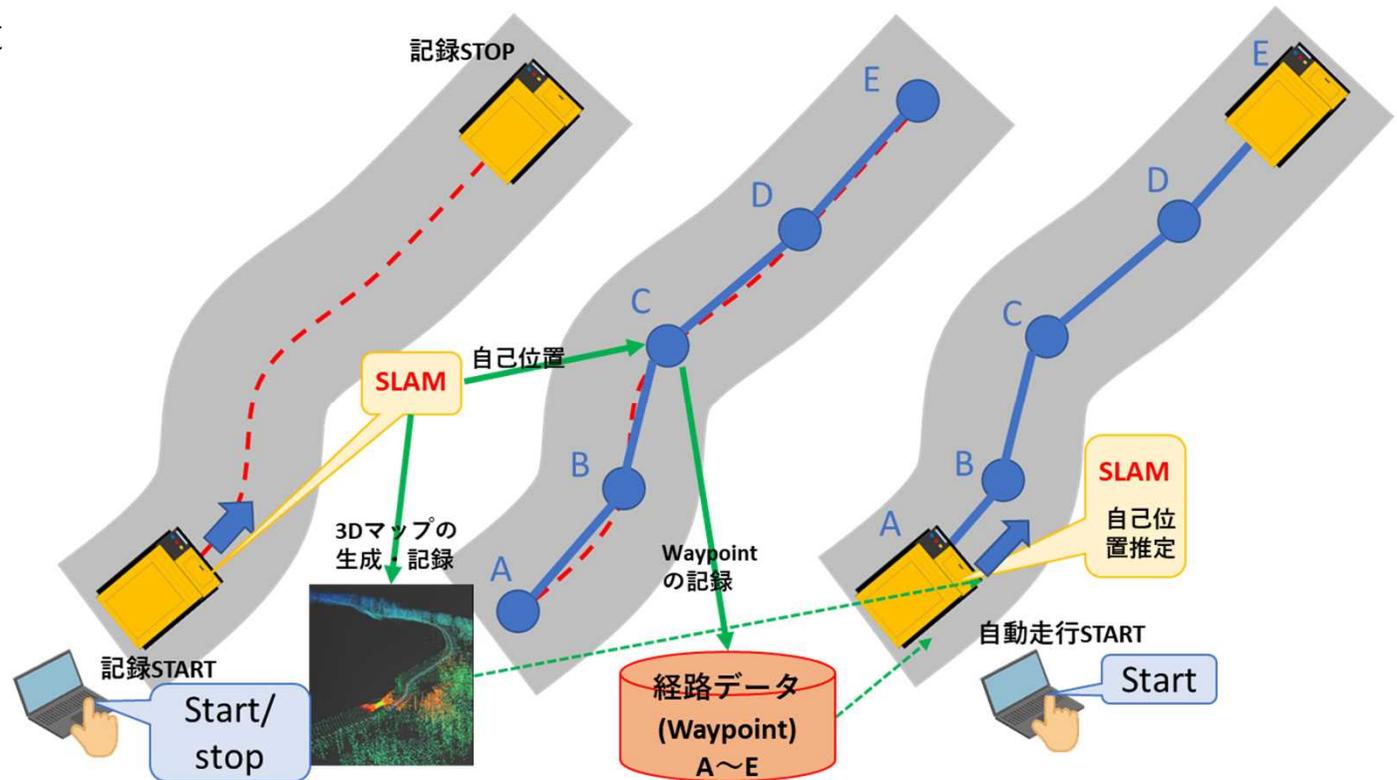
③自動走行

①有人走行：人間が操作して走行し、LiDARによる3Dマップ生成&自己位置推定

* 同時にアクセルワークも

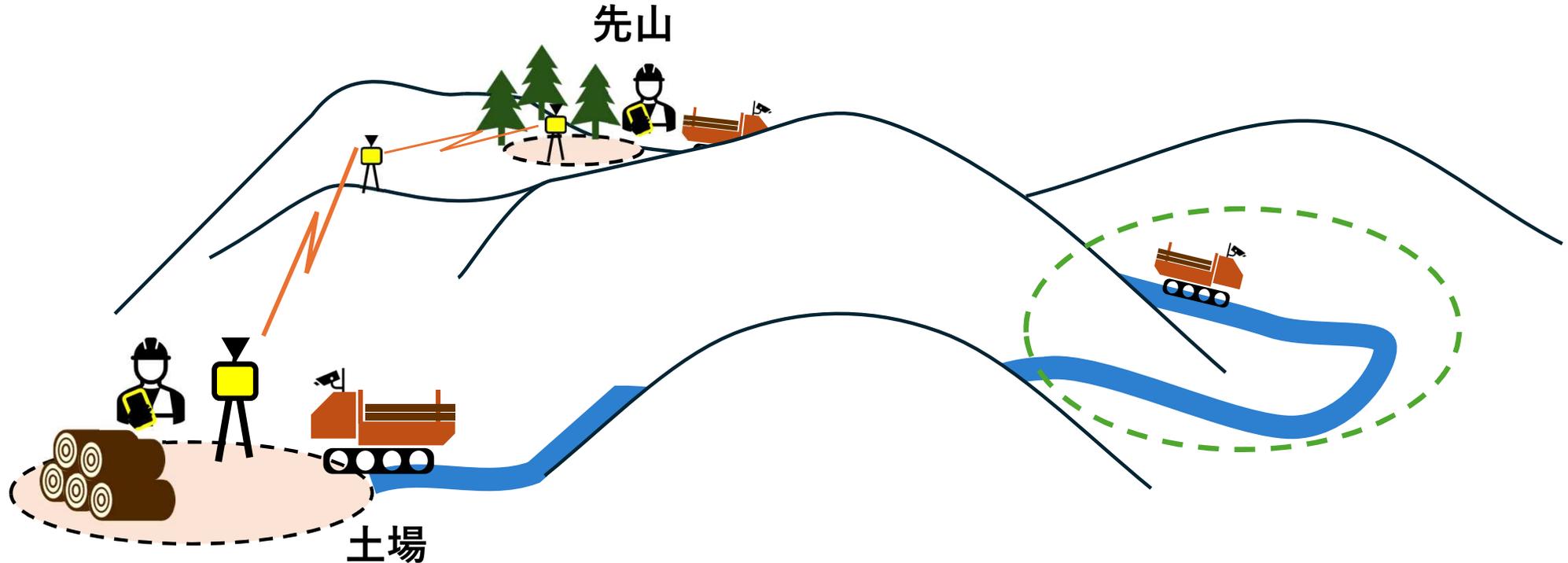
②自動走行ルート：①で記録された自己位置情報に基づいてポイントとルートを生成

③自動走行：リアルタイムで自己位置を推定しながら、②で生成したルートに追従



参考資料（フォワーダ）

林内通信網の実装



- 作業エリア（先山・土場）を高速通信でカバーすることは必須
 - フォワーダの移動経路も高速通信でカバーしたい
- ↔ 全域カバーは非効率



高出力で高速で“良くつながる” Wi-Fi高速無線通信
最低限の通信が可能で“良く飛ぶ” 広域無線通信

急傾斜地での実証

令和5年度 戦略的技術開発実証事業

茨城県 常陸太田市 国有林内 作業現場

2023.12.5



QRまたは下記アドレスより動画をご覧ください
<https://www.youtube.com/watch?v=3Gv3jWsGtms>

多対多コントロールの実証



土場の操作端末から複数台フオワードの走行開始指示