

令和7年度  
スマート林業機械・木質系新素材シンポジウム

スマート林業における  
「森林と機械と人間」

令和8年2月4日

森林ヒューマン・ファクター研究所  
所長 山田 容三（愛媛大学名誉教授）

# スマート林業の方向性

## 林業機械化で労働災害を減らす

人が林業作業をするから労働災害が減らない



人が林業作業に直接関わらないように



林業機械を開発する方針

# 林業機械化の方向性

No hands on the wood  
誰も手で木材に触れない



No man on the ground  
誰も地上に立たない



No man on the machine  
誰も機械に乗っていない

チェーンソー  
マニュアル作業

ハーベスタ・フォワーダ  
CTLシステム

リモートコントロール  
AIによる自動化

# 作業と安全設計の変化

林業4.0→林業5.0

## 人力時代

労働者が多い  
低所得  
低生産性  
労災が頻発  
軽傷が多い

共同で力を合わせる  
作業歌

## 機械化時代

労働者が減少  
中所得  
中生産性  
労災が減少  
重傷が増加

チームでの作業  
無線連絡

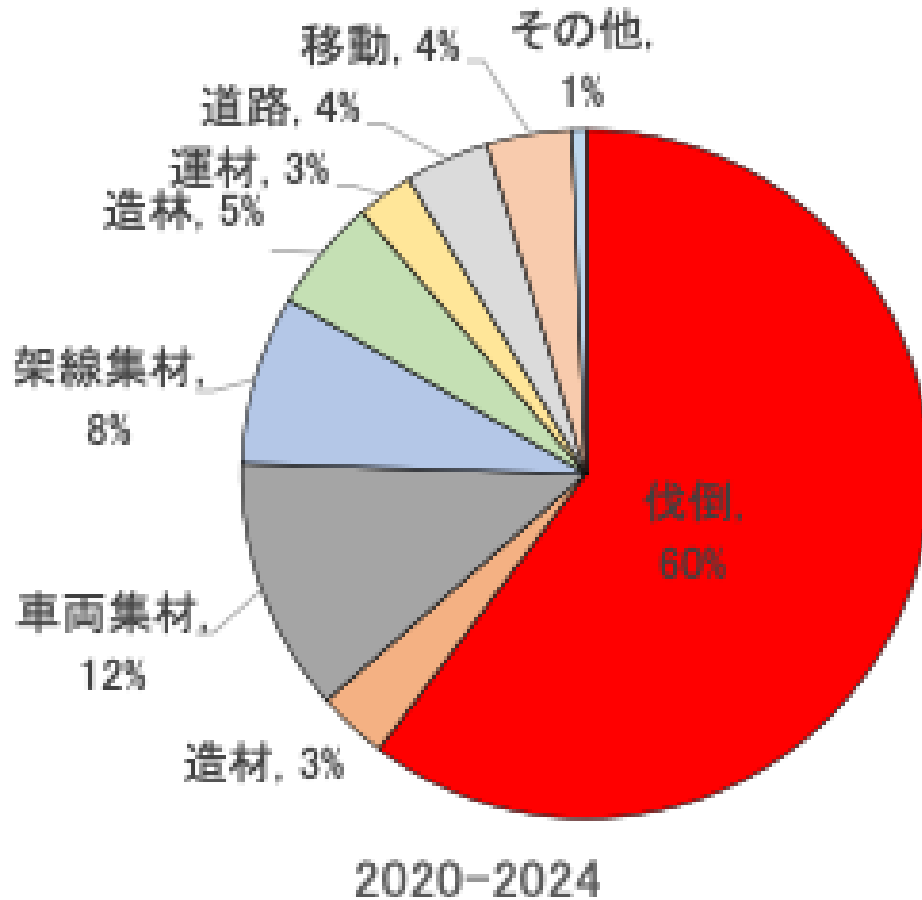
## ICT・AI時代

労働者が少数  
高所得  
高生産性  
ヒューマン・エラー  
重大災害の可能性

個人作業  
VR

時代の変化とともに林業作業は変わり、  
それとともに安全設計の対象も変わる。

# 林業死亡災害の作業種別割合



死亡災害(n=151)

## 第14次労働災害防止計画 (2023～2027)

業種別の労働災害防止対策の推進  
アウトプット指標:「伐木等作業の安全ガイドライン」に基づく措置の実施事業場を50%以上

アウトカム指標:死亡者数を2022年に比較して15%以上減少

## 林材業労働災害防止計画

4アウトプット指標と2アウトカム指標  
「チェーンソーによる伐木等作業の安全に関するガイドライン」に基づく措置を実施する会員を50%以上

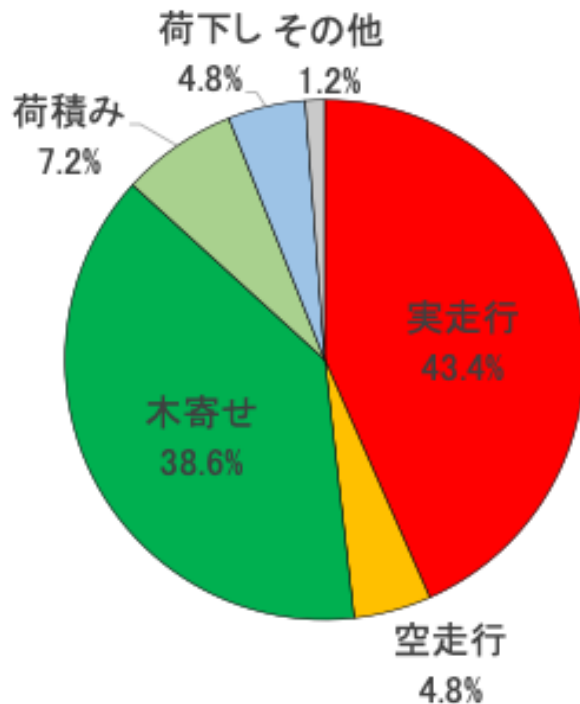
車両系木材伐出機械作業による労働災害防止のための措置を実施する会員を50%以上

# 人間に代わってロボットが伐木する将来

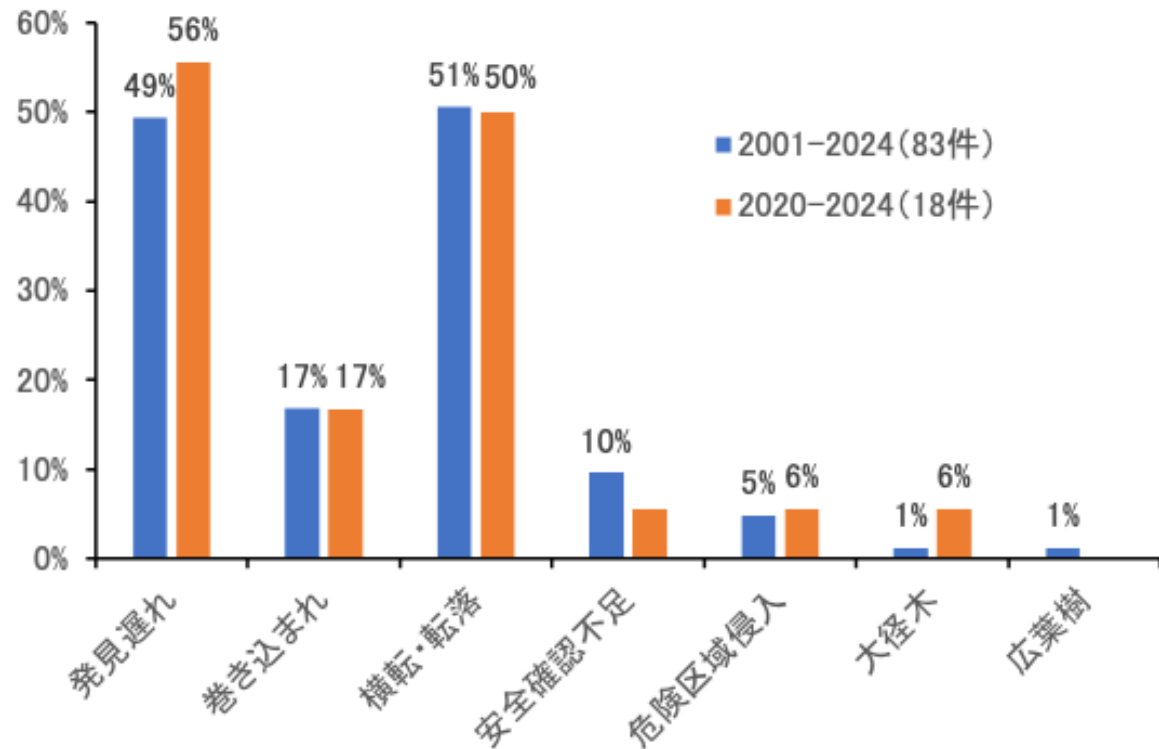


# 24年間の車両系集材の死亡災害

## 2001年～2024年



全83件



死亡災害の9%を占めている車両系集材の死亡災害はフォワーダが中心となる。走行中に林道や作業道から転落する災害、木寄せ作業中の災害が多く、これらで約9割を占めている。



# 自動走行フォワーダ

農林水産省ホームページより

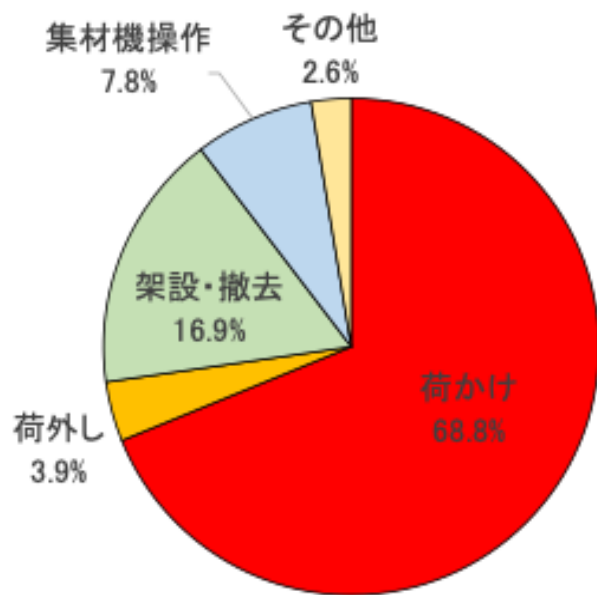


[https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/2004/spe1\\_04.html](https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/2004/spe1_04.html)

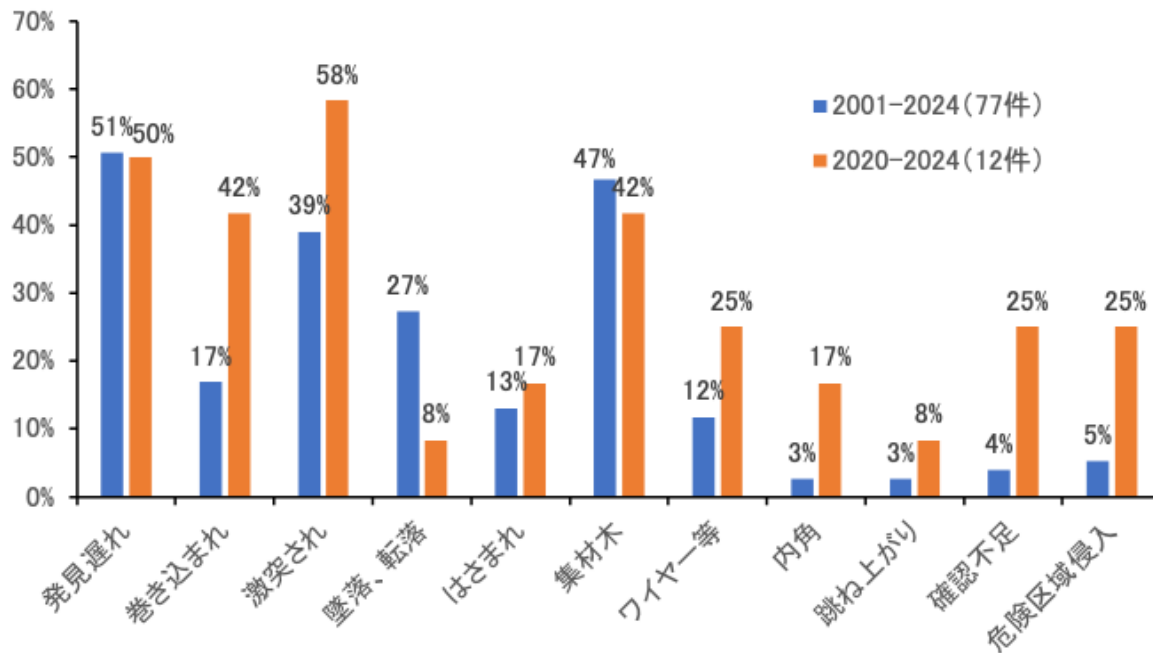


# 24年間の架線系集材の死亡事故

## 2001年～2024年



全77件



死亡災害の8%を占めている架線系集材の死亡災害は、約69%が荷かけ作業中となっている。その原因として、荷かけ手と機械オペレーターの間の連絡不十分が考えられる。例えば、荷かけ手が退避前にオペレーターが集材を始めることなど。

# 油圧式リモコン集材機と架線系グラップル



# スマート林業のメリットとデメリット

## メリット

- 軽労化(生理的負担の軽減)
- 安全性向上(労働災害の撲滅)
- 省力化(労働生産性の向上)

## デメリット

- 高価格(稼働率を上げる事業量確保)
- 通信状態(林内の障害物)
- オペレータ教育(VRによる訓練)

# 林業は二極化

- 大規模集約型（スマート林業の推進）

- リモコン化、自動化の方向

- VRシミュレーターによる訓練

- 皆伐と造林の機械化、施業の団地化

- 木材流通の改革

- 小規模分散型（小型林業機械の推進）

- チェーンソーによるマニュアル作業

- リアルタイムの林業技能指導デバイス

- フリーランスの共同作業

- 地元製材業とのつながり、地産地消の推進

# 大規模集約型のスマート林業 リスクと安全対策

# 目視内遠隔操作と目視外遠隔操作

## ● 目視内遠隔操作

- 機械の動きを視認しながら操作ができる
- 緊急時の対応がリアルタイムに取れる
- 作業現場の近くに行かなければならない

## ● 目視外遠隔操作

- 機械の動きをVRで視認しながら操作する
- 周囲の状況がわかりづらい
- 緊急時の対応が遅れる
- コントロールエリアで快適に作業ができる



# 林業機械の遠隔操作に関する 安全性確保ガイドライン

目的:遠隔操作林業機械を使用することで生じる新たなリスクを回避・軽減すること。

【本ガイドライン Ver.1.0 の適用範囲とする遠隔操作林業機械】

| 機械の種類   | 目視内・目視外の別            | 機械の主な機能                           |
|---------|----------------------|-----------------------------------|
| 伐倒作業車   | 目視内遠隔操作及び<br>目視外遠隔操作 | 立木の伐倒、伐倒木の把持及び<br>けん引ができるもの       |
| フォワーダ   | 目視内遠隔操作              | 荷台に木材を積載して運搬できるもの                 |
| 集材機及び搬器 | 目視内遠隔操作及び<br>目視外遠隔操作 | ワイヤロープ等により、木材等を<br>空中に吊り上げて集材するもの |

安全性確保の原則:リスク低減プロセスの前提

- ① 人はミスをする
- ② 機械は故障する
- ③ 絶対安全は存在しない

# 建設現場における安全に対する前提条件

## 国土交通省：建設機械施工の自動化・遠隔化について

### 建設現場における安全に対する前提条件：建設現場の責任は第一に施工会社が負う

#### 【自動・遠隔施工における安全対策】

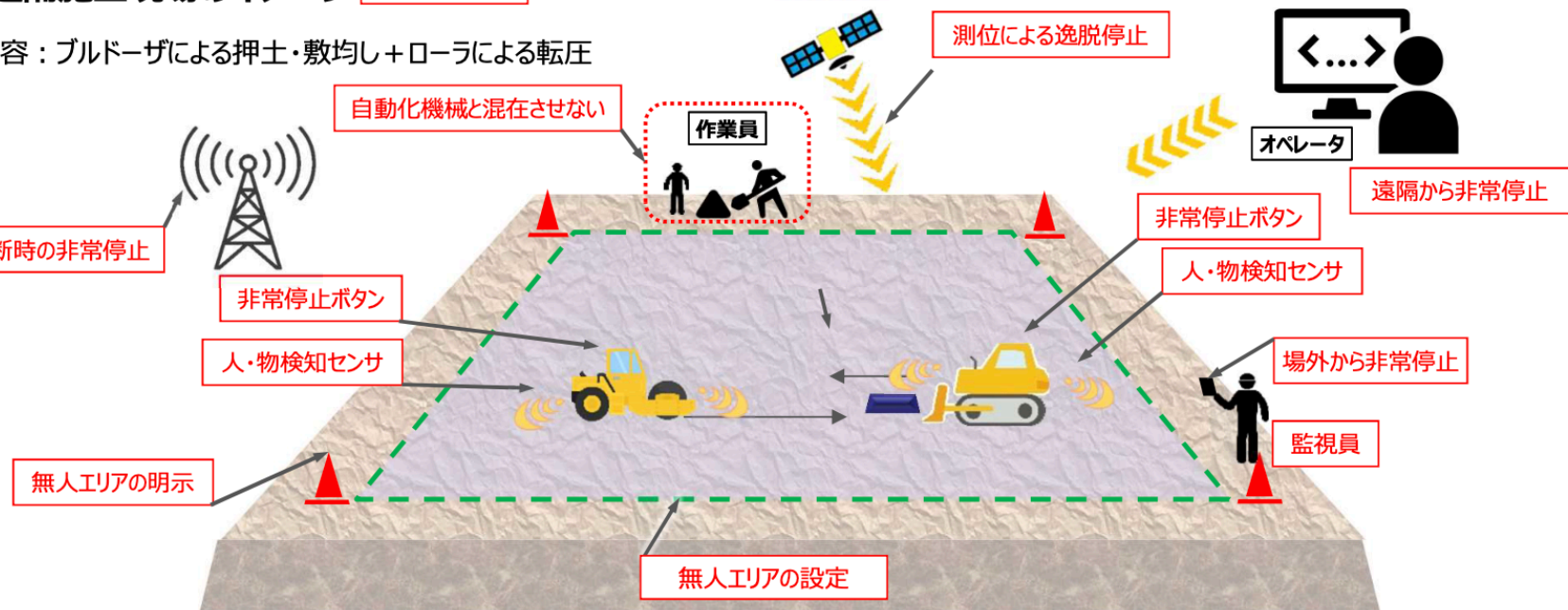
現状では、建設現場の自動・遠隔施工に関する決まりがないため、現場の安全対策は施工会社から労基署へ個別に届出・説明を行い、了承を得た上で実施。

自動・遠隔施工における安全対策の事例を踏まえて安全ルールを標準化し設定することで、速やかに施工着手可能となり、開発目標も明らかになることで現場導入が促進される。

さらに、全く新しい領域で使われる機械に最低限具備すべき機能も明らかになる。

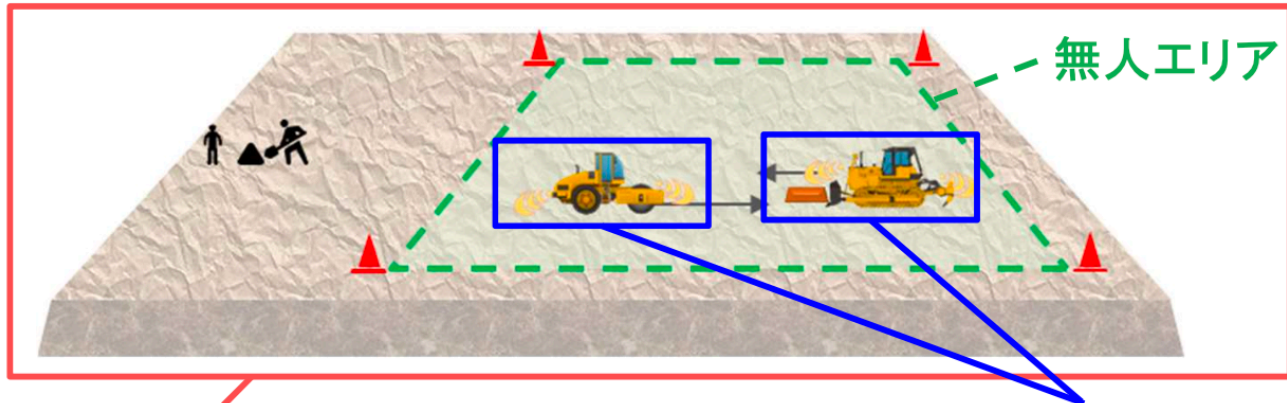
#### 自動・遠隔施工現場のイメージ 安全対策事例

- 作業内容：ブルドーザによる押土・敷均し+ローラによる転圧



# 自動・遠隔施工の「安全ルール」と「機械の機能要件」

国土交通省：建設機械施工の自動化・遠隔化について



## 自動・遠隔施工の安全ルール

(一般人の立入るリスクに応じて段階毎に設定)

目的：現場の安全の確保

内容：自動・遠隔施工機械の運用にあたって遵守すべき項目

- 役割・本ルールの位置づけ
- 用語の定義
- 無人エリアの設定と運用
- 現場の安全対策における役割分担など

## 無人エリアにおける

## 自動・遠隔施工機械の機能要件

(段階毎に設定する安全ルールに対応して設定)

目的：効率的な施工の確保

内容：自動・遠隔施工機械が最低限具備すべき機能

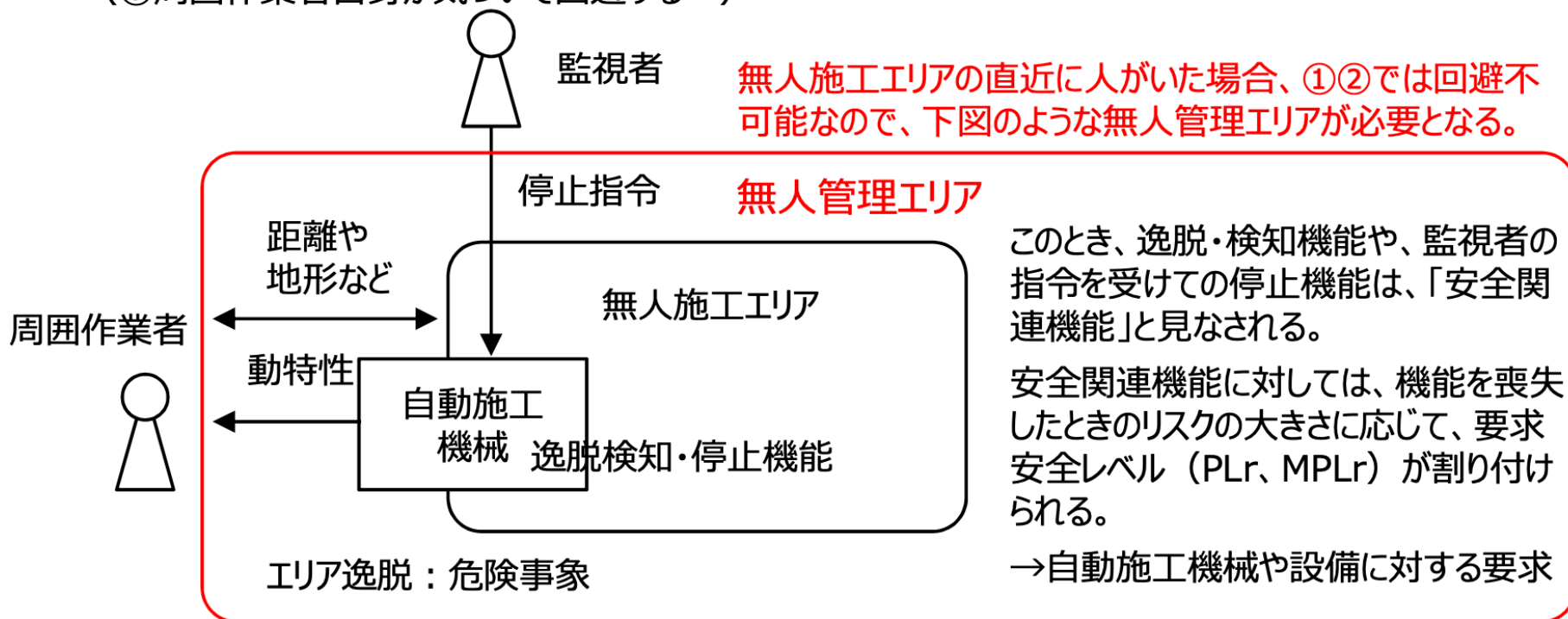
- 遠隔で始動および停止する機能
- 必要な精度でのポジショニング機能
- 原単位作業(掘削、積込み)の作業効率
- 所定の範囲から逸脱しないことなど

# 無人施工エリア外の人に及ぼす危害リスク

国土交通省：自動・遠隔施工の安全ガイドライン(案)

代表的な危害回避のアクション

- ① センサ等で逸脱を検知して自動施工機械を停止させる
- ② 自動施工を注視している監視者が判断して、自動施工機械を停止させる
- (③ 周囲作業員自身が気づいて回避する…)



※要求安全レベル PLr: JIS B9705-1 MPLr: JIS A8341-1

# 要求安全レベル PLr(MPLr)

国土交通省：自動・遠隔施工の安全ガイドライン(案)

参考： 要求安全レベル PLr: JIS B9705-1 MPLr: JIS A8341-1

JIS B 9705-1:2019 (ISO 13849-1:2015)

## 記号の説明

1 : リスク低減に安全機能の寄与度を評価するための開始点

L : リスク低減への寄与度“低い”

H : リスク低減への寄与度“高い”

PLr : 要求パフォーマンスレベル (a~eの5段階)

## リスクパラメータ

S : 傷害のひどさ

S1 : 軽症(通常, 回復可能な傷害)

S2 : 重傷(通常, 回復不可能又は死亡)

F : 危険源への暴露の頻度及び／又は時間

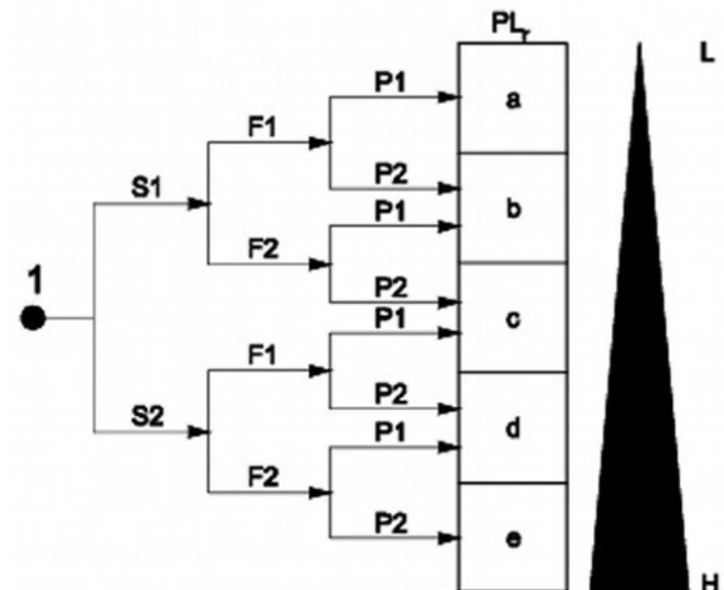
F1 : まれ～低頻度, 及び／又は暴露時間が短い

F2 : 高頻度～連続, 及び／又は暴露時間が長い

P : 危険源回避又は危害の制限の可能性

P1 : 特定の条件下で可能

P2 : ほとんど不可能



PLr(Required Performance Level)とは、「安全機能の各々に対し、要求されるリスク低減を達成するために適用されるパフォーマンスレベル」としてa~eの5段階に区分され、危害の大きさ(S)、頻度(F)、回避の可能性(P)の選択によりリスク低減への寄与度が求められる。

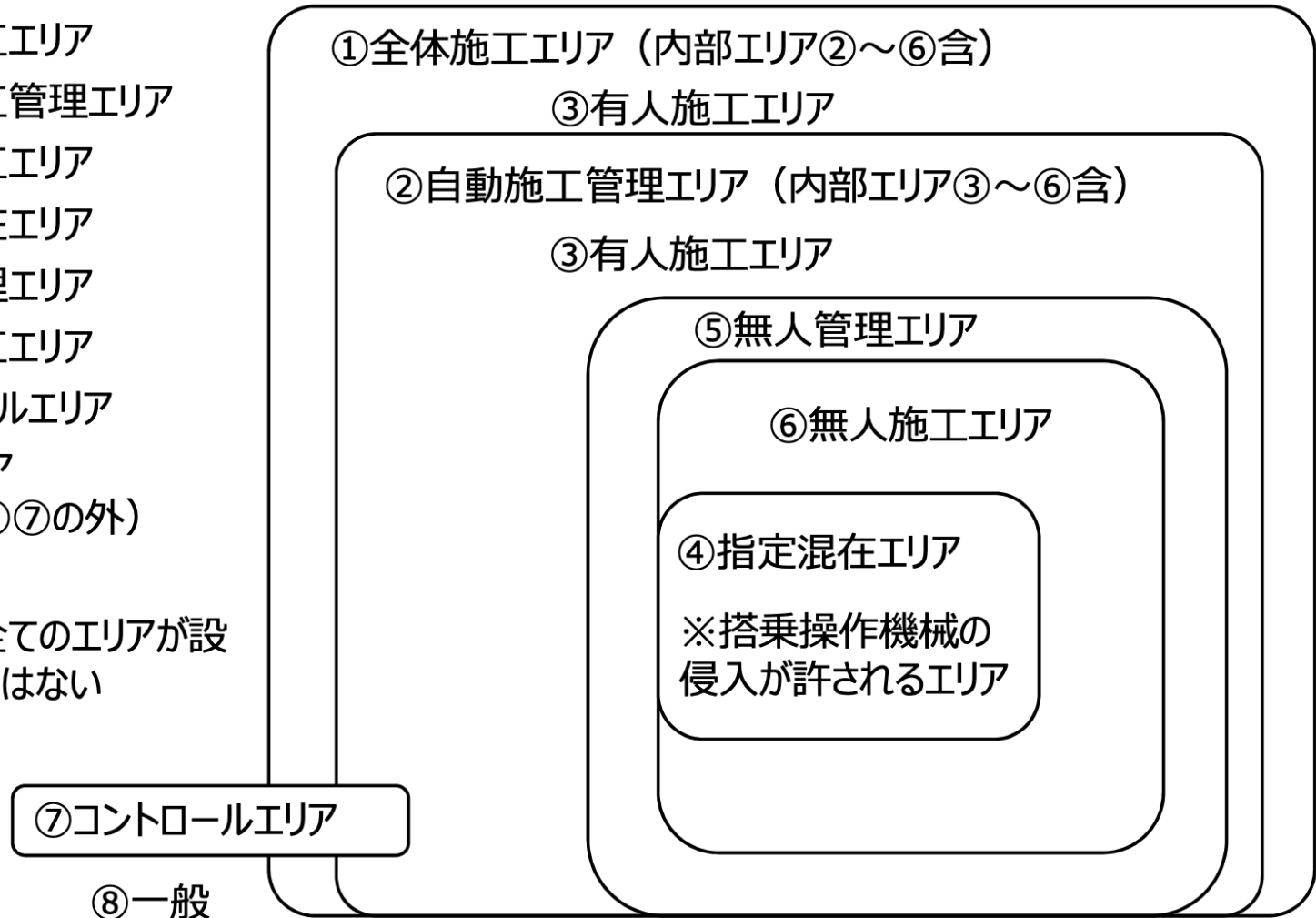
# エリアの計画と管理

国土交通省：自動・遠隔施工の安全ガイドライン(案)

## 3.1 エリアの種類と定義

- ① 全体施工エリア
- ② 自動施工管理エリア
- ③ 有人施工エリア
- ④ 指定混在エリア
- ⑤ 無人管理エリア
- ⑥ 無人施工エリア
- ⑦ コントロールエリア
- ⑧ 一般エリア  
(エリア①⑦の外)

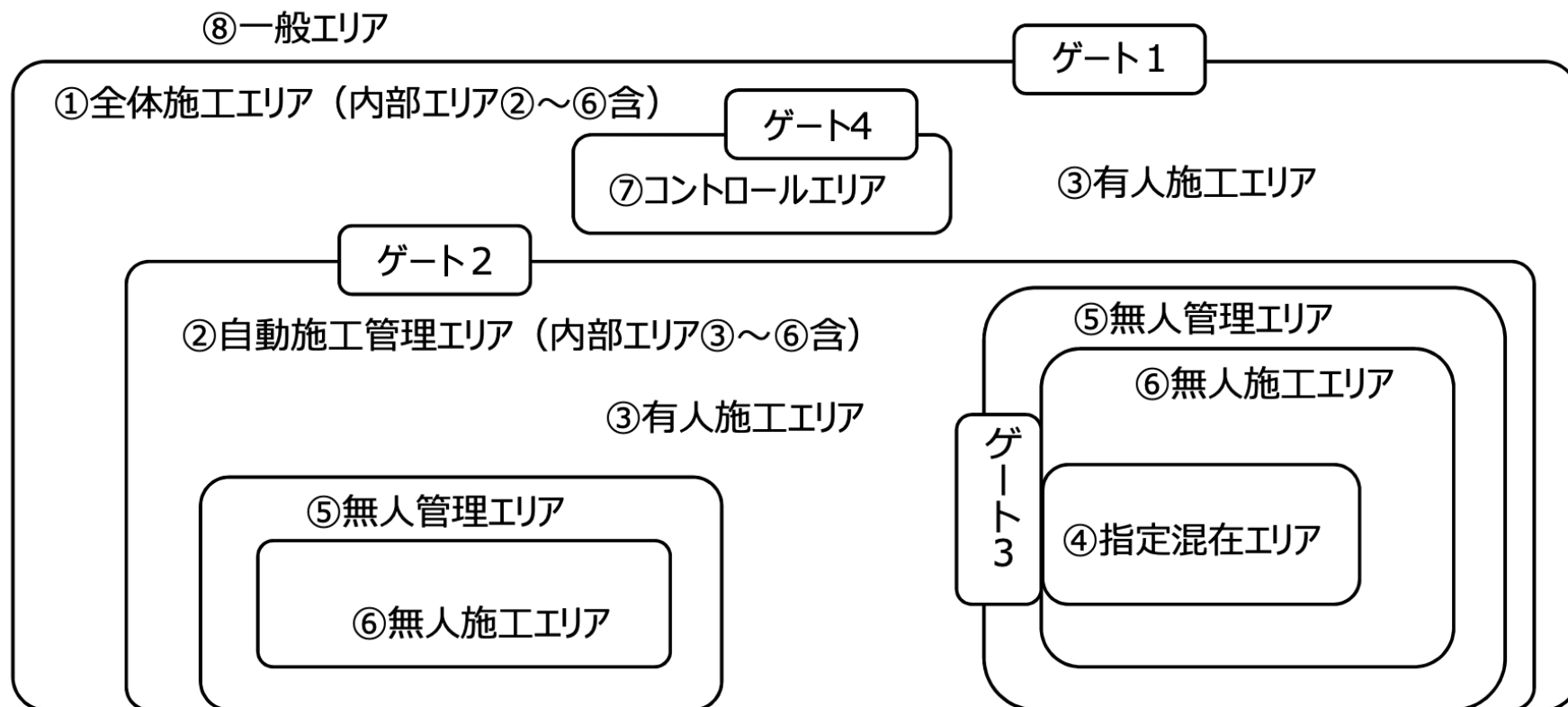
※必ずしも、全てのエリアが設置されるわけではない  
→例示





# 有人施工と無人施工が混在するエリア

国土交通省：自動・遠隔施工の安全ガイドライン(案)



# 施工計画と施工管理

国土交通省：自動・遠隔施工の安全ガイドライン（案）

## ⑦コントロールエリア

自動施工を計画・管理する設備、  
及び/又は、  
コンピュータのプログラム

自動施工の実行、及び/又は、自動  
施工機械の外部操作・制御を行う設  
備、及び/又は、コンピュータのプログラム

## ⑦コントロールエリア 又は、⑧一般エリア

施工データの記録を行う設備、  
及び/又は、  
コンピュータのプログラム

ローカルネットワーク

オープンネットワーク

## ②自動施工管理エリア

自動施工を計画・管理する設備、  
及び/又は、  
コンピュータのプログラム

施工の実行・自動施工機械の外部操  
作・制御を行う設備、及び/又は、  
コンピュータのプログラム

施工データの記録を行う設備、  
及び/又は、  
コンピュータのプログラム

ローカルネットワーク

オープンネットワーク

搭乗操作機械  
追加機能部

自動施工機械  
追加機能部

固定設備  
（環境計測）

固定設備  
（イベント監視）

固定設備  
（境界監視）

通信設備

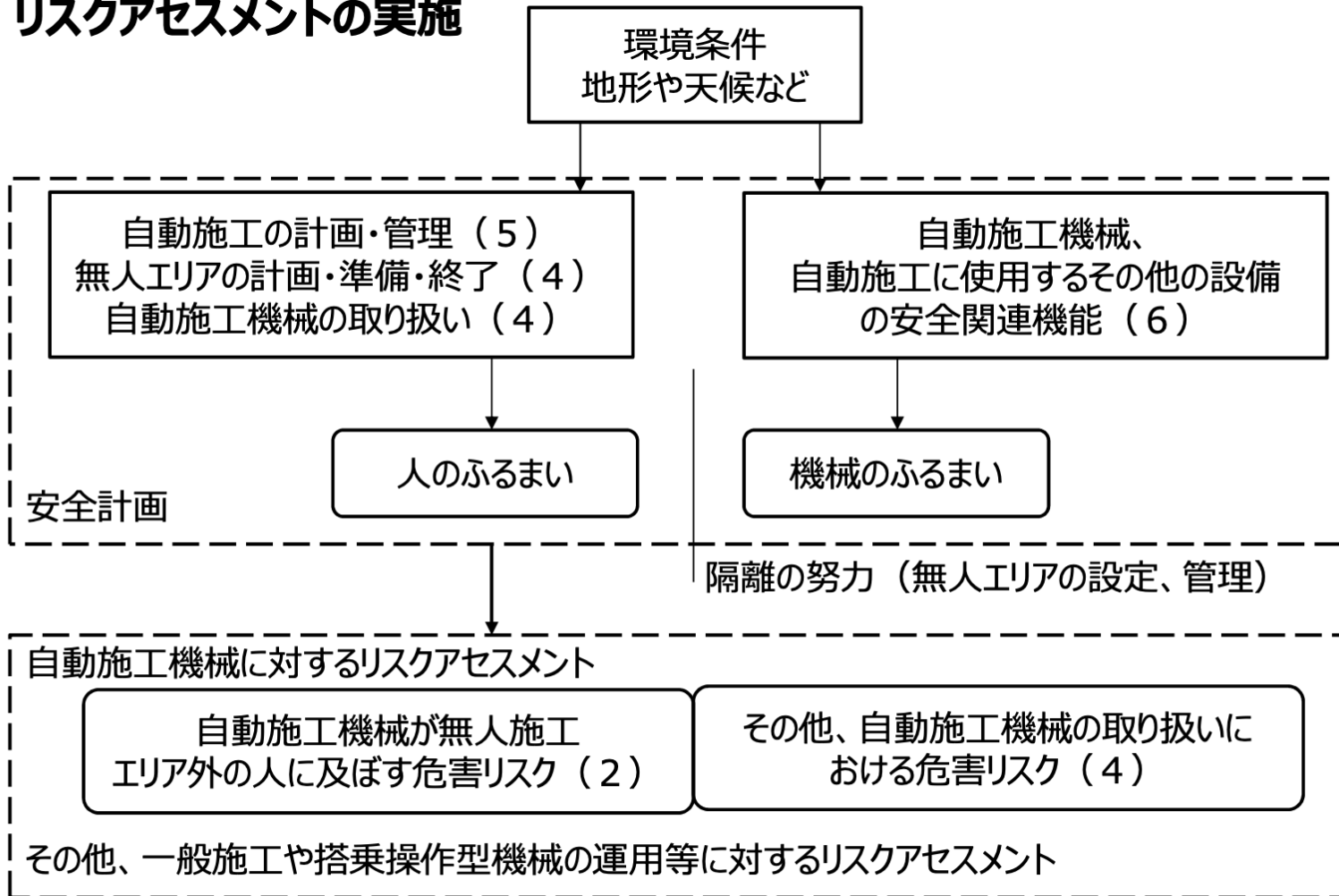
搭乗操作機械

自動施工機械  
基本部

# リスクアセスメント

国土交通省：自動・遠隔施工の安全ガイドライン(案)

## 7. リスクアセスメントの実施



立案した安全計画に基づく、リスクアセスメントの実施を規定

# ヒューマン・エラー

## ➤ 認知・確認のミス

思い込み、錯誤、危険感覚の違い

## ➤ 記憶・判断のミス

慣れや慢心、近道反応、省略行為、憶測判断

## ➤ 動作・操作のミス

場面行動、忘却、周縁的動作、考えごと、無意識行動

## ➤ 他の要因によるミス

性格、疲労、睡眠不足、アルコール、疾病、加齢

# ヒューマン・エラー対策

- 作業計画を検討する本質的対策  
場面行動、忘却、周縁的動作、考えごと、無意識行動、  
性格、疲労、睡眠不足、アルコール、疾病、加齢
- 安全機械・器具を導入する工学的対策  
思い込み、錯誤
- 安全ルールづくりや職場風土の醸成など管理的  
対策  
慣れや慢心、近道反応、省略行為、憶測判断、  
危険感覚の違い、

# フールプルーフとフェイルセーフ

認知ミスや思い込みによるミスを回避するために

## フールプルーフ

エラー発生以前に**エラーそのもの起きないように**対策を立てること(未然防止)

**間違った操作ができないようにあらかじめ設計しておくこと**

## フェイルセーフ

エラーが起これども**エラーによる被害の拡大を防いだり、エラー前の状態に回復**できるようにするエラー対処

故障や事故などの**異常時に安全側に作動する仕組みのこと**



# 「機械の包括的な安全基準に関する指針」 などの運用によってその効果を確実なものにするために

大関 親:新しい時代の安全管理のすべて

- ① 経営者は、機械の安全化のために必要な資源(人、組織、資金など)の投入を決断し、指示する必要があること
- ② 基本システムの的確な運用のためには、手順の明確化、文書化などの作業があり、全体の管理、修正等を継続して行わないと形骸化してしまうおそれがあること
- ③ 運用に当たっては、安全管理者等の他かなり専門的な知識、技術、経験を有する設計技術者、生産技術管理者、保守管理技術管理者、発注部門担当者などの参画・協力が不可欠であり、これらの者に対して関係法令を含めた安全衛生対策に関する知識の付与等が必要であること
- ④ リスクアセスメントの結果に基づく安全方策(低減措置)を講ずる場合には、安易に下位の方策を採用することなく、常に上位の方策について十分な検討を行う必要があること
- ⑤ システム運用には、実務(実践)の主役である労働者の理解と協力が不可欠であるので、関係情報の伝達や実践のための教育訓練の時間を確保する必要があること

# 小規模分散型のスマート林業 技能向上のAIデバイス

# 小規模分散型のスマート林業

## 小型林業機械の開発



## Carv Digital Ski Coach ウェアラブル機器



## カメラ付 骨伝導イヤホン

# VR訓練のメリットとデメリット

## ● 目視内遠隔操作の場合

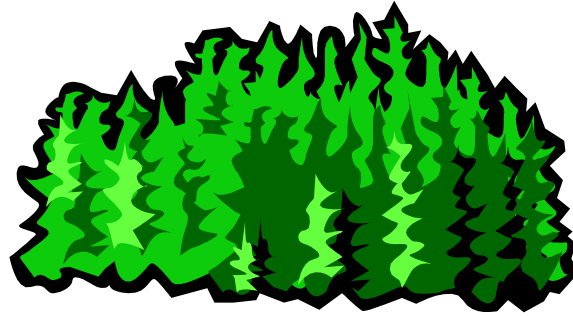
- 現場での即に応用作業が行える
- トラブル時の対応もVR訓練で行う
- 熟練者の技能をVRで指導することも可能

## ● 目視外遠隔操作の場合

- 現場での体験がない場合は、現場感覚がつかめない
- 初心者がVR訓練を受けて、すぐに実作業を行うことはとても危険である
- 事前にマニュアル作業の経験を積んでおくべき

# 森林と機械と人間

# 森林と機械と人間



ヒューマン・エラー  
機械の故障

↓  
周囲の人的被害  
周囲の森林損傷



事後対応型の  
コンプライアンス

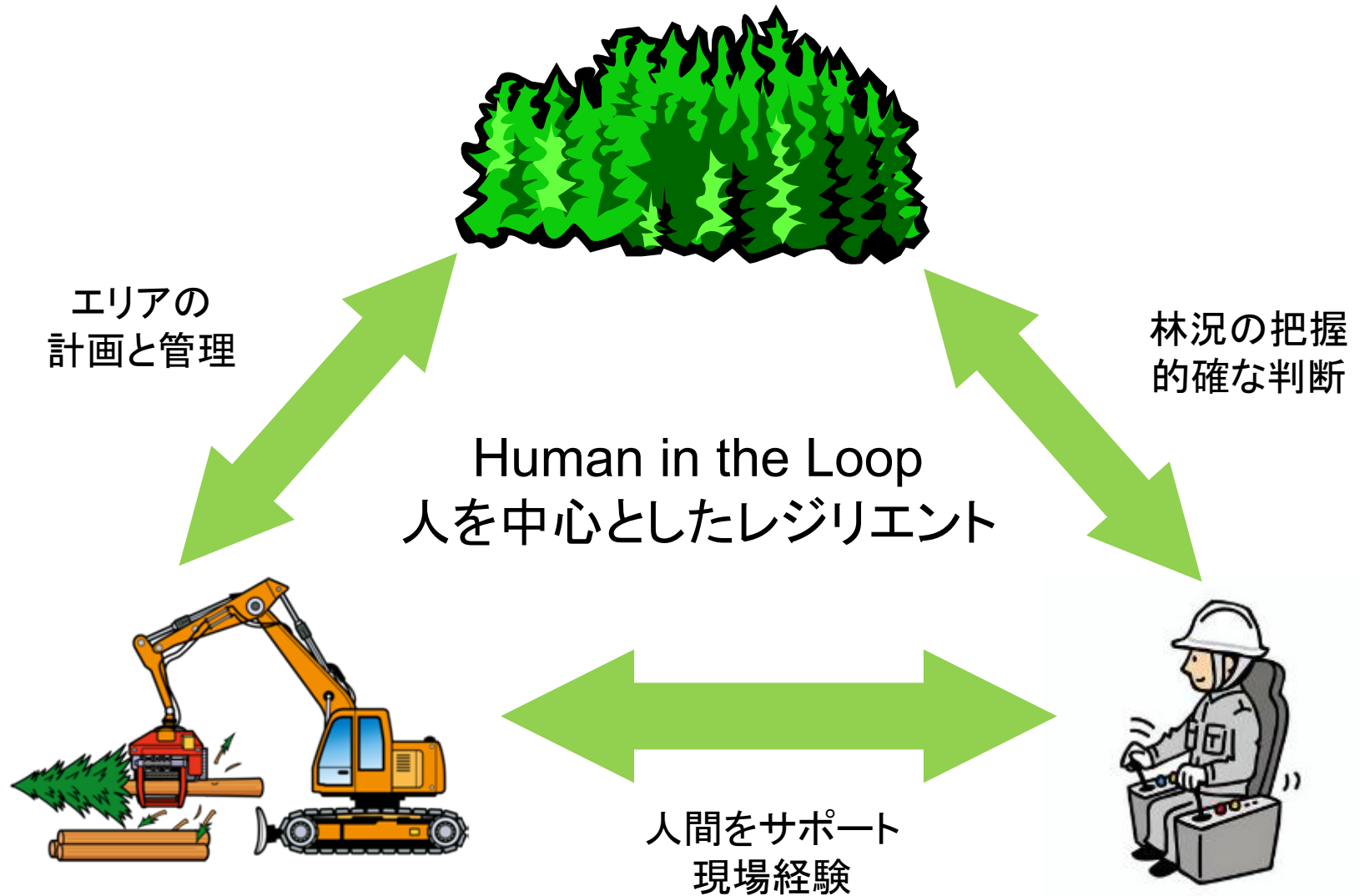
責任問題  
賠償請求

情報不足

↓  
ヒューマン・エラー



# 森林と機械と人間



# ご清聴ありがとうございます。

お時間がありましたら、下記のQRコードから、  
当研究所のホームページを是非ご覧ください。



森林ヒューマン・ファクター研究所  
ホームページのQRコード