

林野庁 令和5年度林業・木材産業国際競争力強化対策のうち
林業のデジタル化・イノベーションの推進のうち
林業機械・木質系新素材の開発・実証事業

自動集材・造材マルチワークシステムの実証
(架線集材とプロセッサのワンオペ作業)

林業イノベーション現場実装シンポジウム

木材会館 大ホール

2025年2月5日(水)

イワフジ工業株式会社・株式会社中井林業

1-1. 新たな架線集材システム(量産機)

新たな架線集材システム 搬器実走行



1-2. 新たな架線集材システム(量産機)

集材オペ

架線式グラップル

荷掴み

作業人員:2名
(以前は4名)

先柱

主索

横行
キャレージ

巻上げ/
引込み

索下

集材範囲

架線式
グラップル

伐倒木

集材オペ

造材オペ

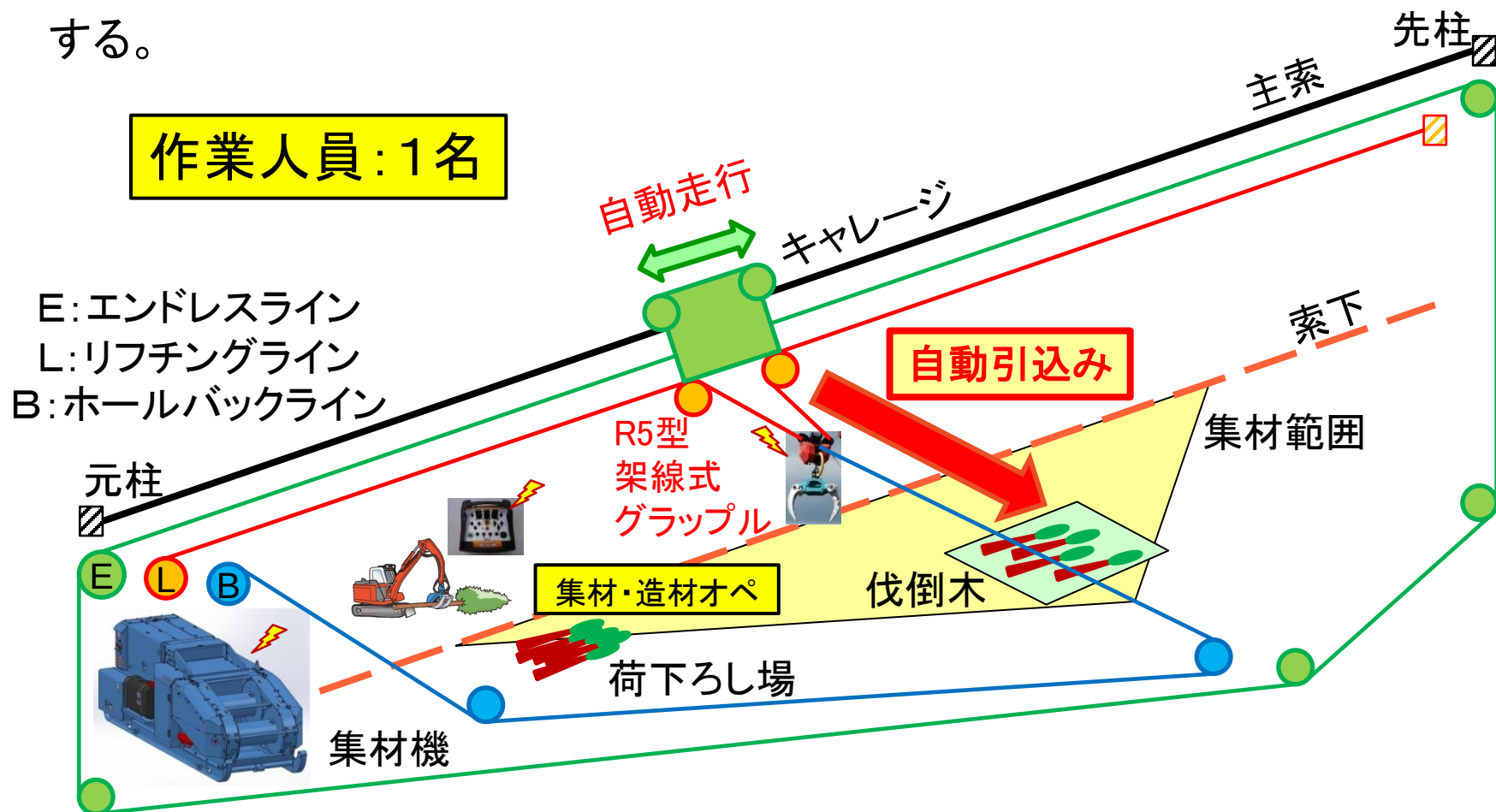
荷下ろし場

集材機

「省力化」・「労働災害の防止」を実現！

①自動引込みシステム

架線式グラップルが設定した位置まで自動搬器空走行を行い、次に自動引込みを行いながらAI画像認識で木を見つけ、木の直上付近で自動停止する。



②デジタルツイン映像表示

→3DCGの架線式グラップルをデジタルツイン表示

3DCGの架線式グラップルを実機同様にデジタルツインでトング開閉・旋回、機体傾斜させる。トングの爪先と集材木の相対位置把握およびトング閉じによる集材木の掴み具合が認識可能になり、映像荷掛けの操作が向上できる。



3-3. AIマルチワーク作業(令和5年度実証)

AIマルチワーク作業

AI自動引込みおよびデジタルツイン
映像表示を活用した遠隔操作集材

IWAFUJI

AI自動引込みおよびデジタルツイン
映像表示を活用した遠隔操作集材

IWAFUJI

林野庁 令和5年度 林業デジタル・イノベーション総合対策のうち
戦略的技術開発・実証事業 先進的林業機械の実証

AIを活用した集材・造材マルチワークシステムの実証

AI自動引込みおよびデジタルツイン
映像表示を活用した遠隔操作集材

IWAFUJI

AI自動引込みおよびデジタルツイン
映像表示を活用した遠隔操作集材

IWAFUJI

自動集材・造材マルチワークシステムの実証

昨年度実証した自動引込みシステムを、自動搬器送りからAIによる自動引込み後、位置合わせ、荷掛け、横取り並びに搬送までを自動化したシステムとして実証し、自動集材の工程範囲の拡大及びオペレータが造材作業に専念できるシステムに進化させ、集材作業の**効率化、生産性向上、軽労化を図る。**

①自動引き込みシステムの開発

搬器送りと横行を同時に行い、記憶した前回の荷掛け位置まで自動で直線的に移動するシステムを開発する(エンドレスドラムとリフティングドラムの回転数で位置把握)。

②自動荷掛けシステムの開発

巻下げおよび地表面との距離検知を行いながら、AI画像認識で適正な位置合わせをして木を掴むシステムを開発する。

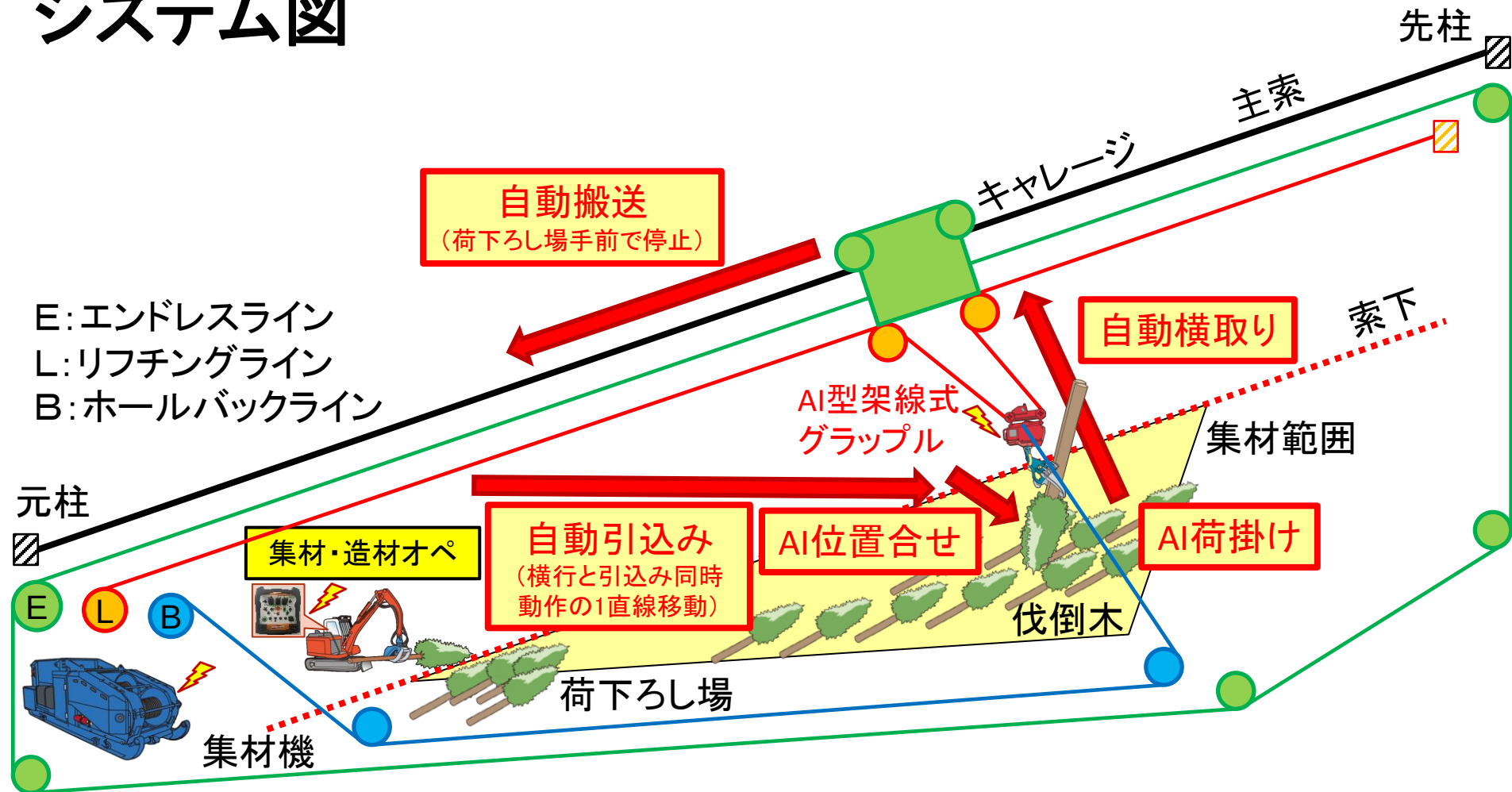
③自動横取りシステムの開発

荷重検知をしながら適正荷重の範囲内で巻上げを行い、主索まで最短ルートで移動するシステムを開発する。(巻上げ時、集材木が適正荷重の範囲内ではない場合や移動時に集材木が伐根等に引っかかった場合には掴み位置を変更する等のリトライを行う。)

④林業現場での実証試験

伐採事業地において上記開発システムにより集材・造材を実行し、所要時間等を観測して生産性・経済性等を評価する。

システム図

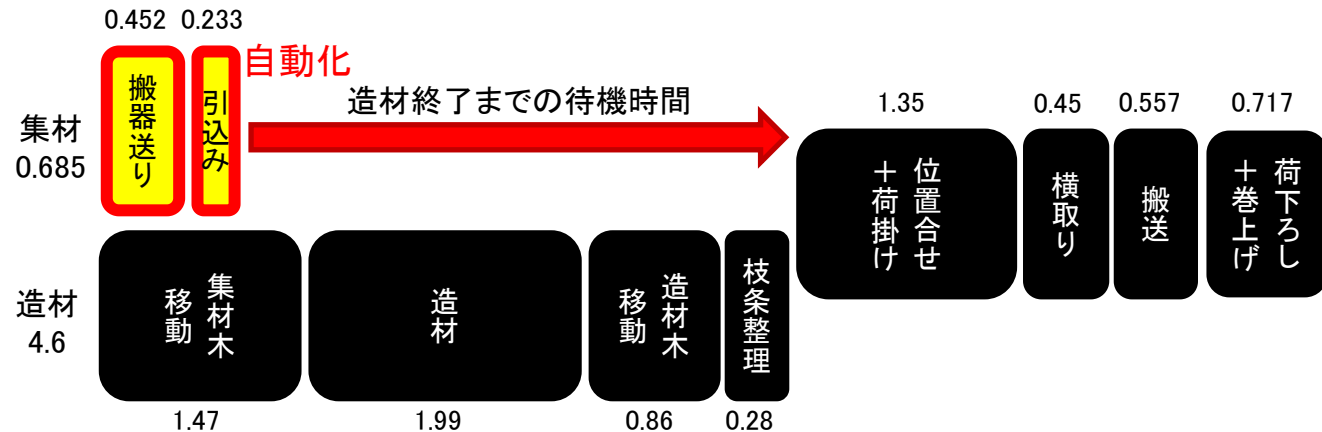


マルチワーク手順

R5年度 AIマルチワークシステム (0.2クラス)

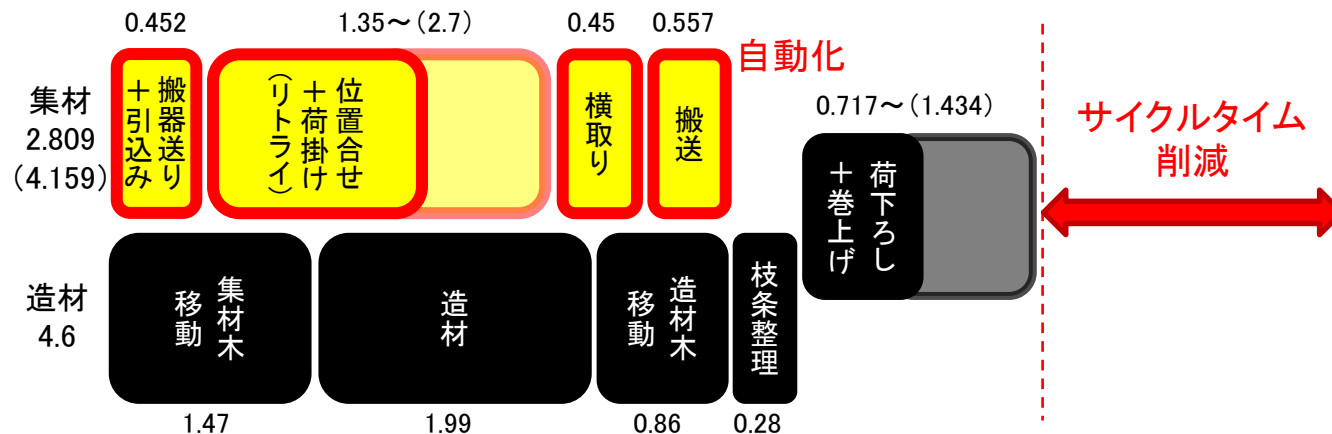
単位: 分

サイクルタイム: 7.674分



R6年度 自動集材・造材マルチワークシステム (0.2クラス)

サイクルタイム: 5.317分～(6.034分)

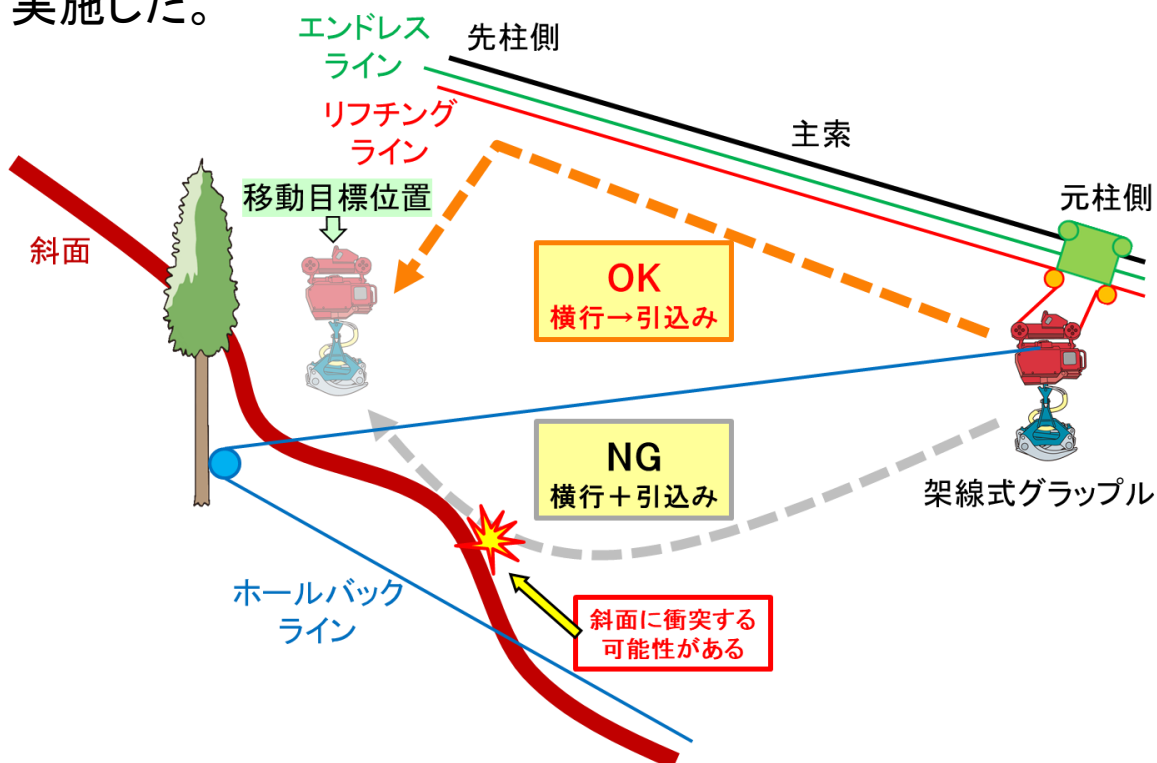


①自動引き込みシステムの開発

横行と引込みを同時に行い、記憶した前回の荷掛け位置まで自動で直線的に移動するシステムはエンドレスおよびリフティングドラムの回転数検知で開発が可能だった。

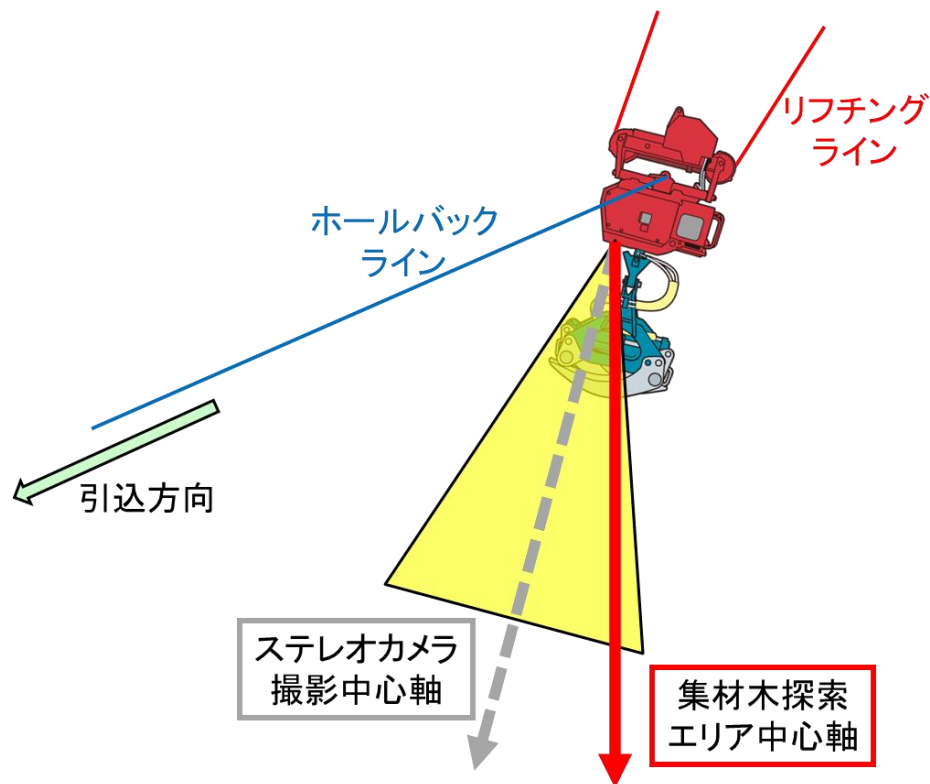
しかし、実証現場は下げ荷で集材を行う急傾斜の場所であり、横行と引込みを同時に行う最短距離の移動を行うと凸部が連なる斜面に衝突する危険があった。

1直線移動には適さない現場であることから、運用不可と判断し2直線移動に変更して実施した。



②自動荷掛けシステムの開発

- 加速度センサーとジャイロセンサーの情報に基づいてカルマンフィルタを用いて、常に重力加速度方向を推定し集材木探索エリアである緑色枠を追従させるアルゴリズムを適用した。これにより、引込み時の前後・左右への揺れでカメラ向きが変化しても、巻下げした際に架線式グラップルの着地予想とされる集材木探索エリアを常にAIが注目することを可能とした。



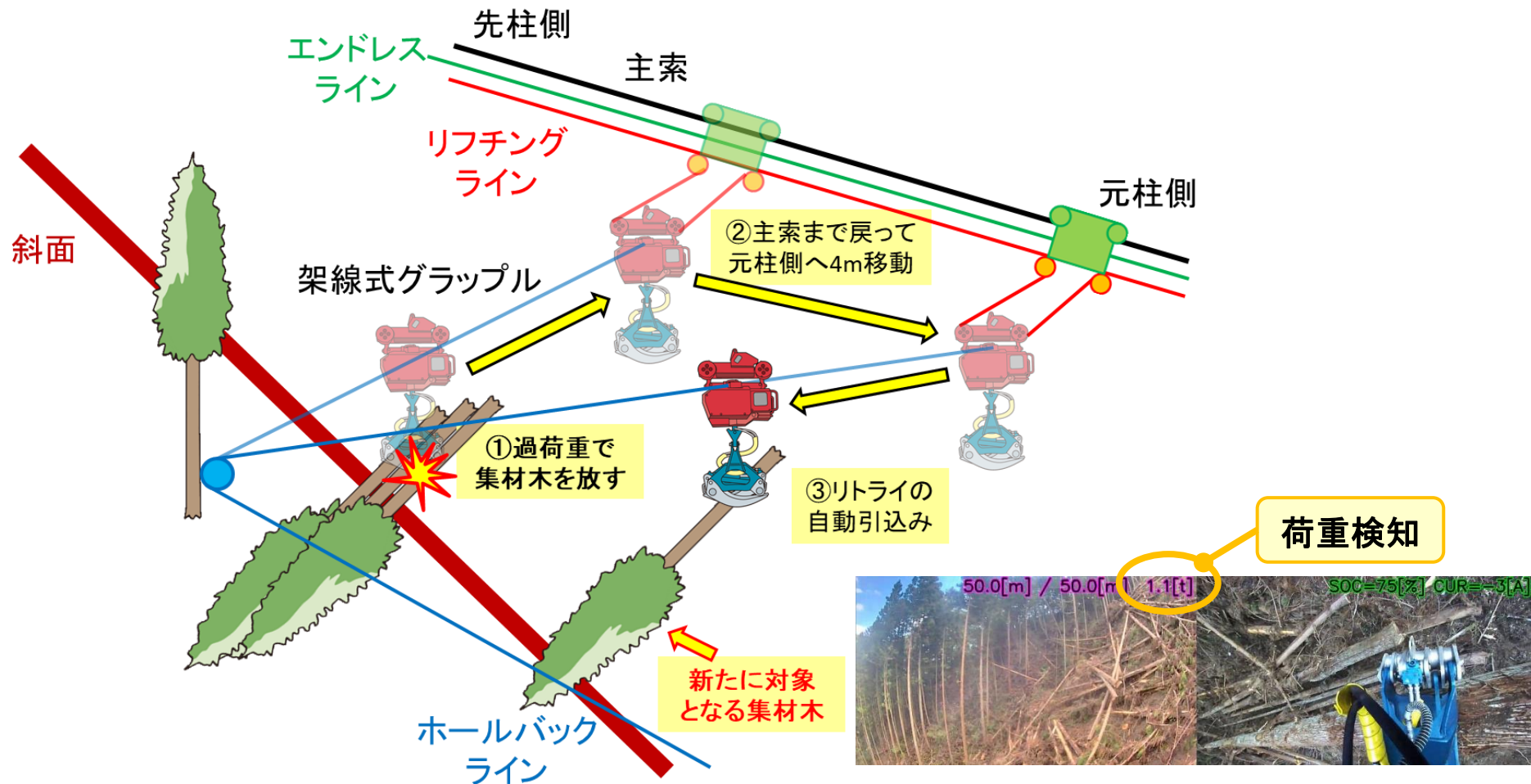
②自動荷掛けシステムの開発

- 荷掛け時のバックテンション調整やスピード調整などオペレーターの繊細な操作を自動荷掛けシステムに実装した。これによって、複雑な凹凸をもつ現場において自動運転時においてもホールバックラインの適切なテンション制御が実現できた。
- 現場は集材木が折り重なって密集した状態になっており、荷掛け時に複数本を掴んで過荷重を検知することが多い。将来的に安定して集材木を一本ずつ掴めるよう、AI画像認識で集材木の個別判別を実装した。



③自動横取りシステムの開発

横取り時に荷重検知で2.5t以上の過荷重を検知した場合や木を掴み損ねた場合は引込みラインを変更して、再度自動引込みを行うことに成功。



4-4. 自動集材・造材マルチワークシステム作業 IWA FUJI INDUSTRIAL CO., LTD.

自動集材・造材マルチワークシステム作業



4-5-1. 架線式グラップルの構成品

架線式グラップルの構成品



LiDARセンサー x2
(前後)

無線モジュール x2/
5GHz帯フルHD画像伝送装置
(通信改善のため元柱方向へ
位置変更)

AIエッジコンピュータ
NVIDIA Jetson AGX Orin



ステレオカメラ x2
(前後底面)

GMSL2カメラ x2
(左右側面)

エンコーダ/シグナルホン/
ロードセル



4-5-2. 架線式グラブールの構成品

ブロック図

入出力制御ラジコン受信機

制御基板

無線モジュール
(ラジコン操作)

マイコンボード

出力基板

※無線モジュールは全て1216MHzを
使用し、ブースターを使用

- ・油圧パワーパッケージ
- ・電動式旋回モーター
 - ・バルブ×2
- ・LEDランプ×2
- ・パワーリレー
- ・シグナルホン

発電機

リチウム
イオン電池

ディスプレイ

CANバスライン①

アンテナ

GNSS受信機

TTLコンバータ

慣性センサ

慣性センサ×2

(WIFI)

無線BOX

5GHz帯フルHD画像伝送装置

無線モジュール
(自動運転送信)

無線モジュール
(ドラム回転受信)

LiDARセンサ×2(前/後)

ステレオカメラ×2(前/後)

GMSL2カメラ×2(左/右)

エンコーダ

ロードセル

イーサネット

USB

GMSL

AIエッジコンピュータ
NVIDIA Jetson AGX Orin

HDMI

RS232

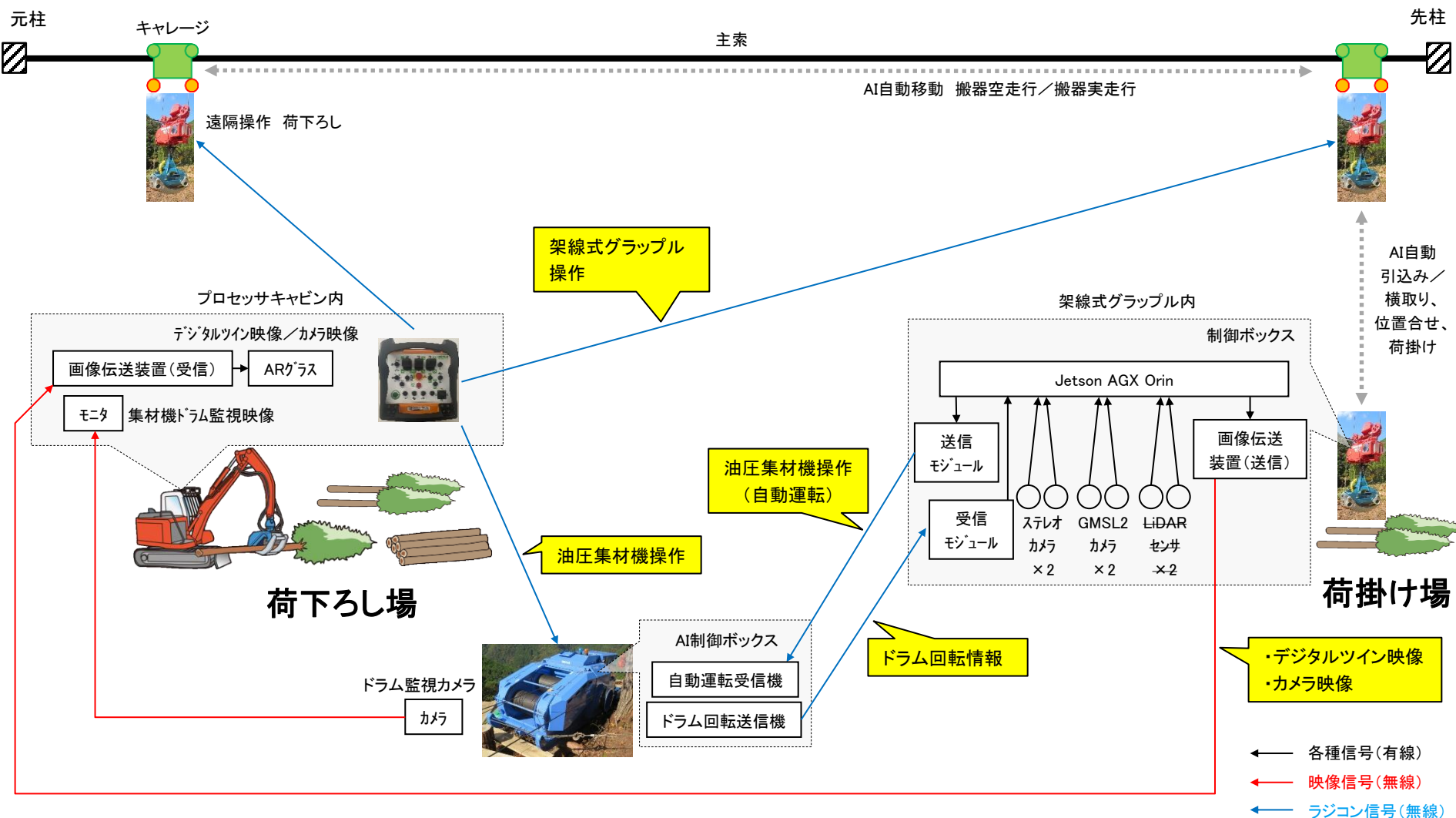
RS232

CANバスライン②

シグナルホン

4-6. 通信システム図

各信号および映像通信図



昨年度の課題に対して、自動集材・造材マルチワークシステムが対応・改善できるかを検証する

昨年度の課題

搬器空走行、索引込みを自動化して自動制御時間に造材を行うが、時間が短いため、造材に要する時間が確保できない

- 搬器空走行、索引込み、荷掛け、横取り、搬器実走行を自動化し、サイクルタイムへの影響を検証・分析
- 従来型「AIマルチワークシステム」等との比較検証から、現場導入に向けた分析も実施

5-2-1. 検証の成果（実施内容と結果概要）

	調査対象①	調査対象②
システム名称	AIマルチワークシステム(R5開発従来型)	自動集材・造材マルチワークシステム(R6開発改良型)
作業機械	油圧集材機(集材) 架線式グラップル(集材) プロセッサ(造材)	油圧集材機(集材) 架線式グラップル(集材) プロセッサ(造材)
作業人員	集材・造材オペレータ 1名 (マルチワークシステム操作)	集材・造材オペレータ 1名 (マルチワークシステム操作)
マルチワークシステム詳細	<u>プロセッサ内モニター視認</u> による架線式グラップル操作・集材 <u>半自動索引き込み</u> (空走行+索引込まで自動)	<u>プロセッサ内モニター視認</u> による架線式グラップル操作・集材 <u>半自動集材</u> (空走行～搬器実走行まで自動)
調査標本数	4サイクル	8サイクル
収穫材積計	4.385m3	5.494m3

5-2-2. 検証の成果(実施内容と結果概要)

調査対象① (AIマルチワークシステム)		調査対象②（自動集材・造材マルチワークシステム）									
		(1) 1回目で荷掛けが成功した場合		(2) 2回目で荷掛けが成功した場合		(3) 3回目で荷掛けが成功した場合		(4) 荷掛け3回失敗、手動に切り替えた場合			
A 搬器空走行	自動	A 搬器空走行		A 搬器空走行		A 搬器空走行		A 搬器空走行		A 搬器空走行	
B 索引込み		B 索引込み		B 索引込み		B 索引込み		B 索引込み		B 索引込み	
C 荷掛け	手動	C 荷掛け(成功)	自動	C 荷掛け(失敗)	自動	C 荷掛け(失敗)	自動	C 荷掛け(失敗)	自動	C 荷掛け(失敗)	自動
D 横取り		D 横取り		D 横取り		D 横取り		D 横取り		D 横取り	
E 搬器実走行		E 搬器実走行		G 横行位置合わせ		G 横行位置合わせ		G 横行位置合わせ		G 横行位置合わせ	
F 荷外、索上		F 荷外、索上		B 索引込み		B 索引込み		B 索引込み		B 索引込み	
				C 荷掛け(成功)		C 荷掛け(失敗)		C 荷掛け(失敗)		C 荷掛け(失敗)	
				D 横取り		D 横取り		D 横取り		D 横取り	
				H 搬器実走行		G 横行位置合わせ		G 横行位置合わせ		G 横行位置合わせ	
				F 荷外、索上	手動	B 索引込み		B 索引込み		B 索引込み	
						C 荷掛け(成功)		C 荷掛け(失敗)		C 荷掛け(失敗)	
						D 横取り				J 索引込、荷掛	
						I 搬器実走行				D 横取り	
						F 荷外、索上	手動	K 搬器実走行		K 搬器実走行	手動
										F 荷外、索上	

自動荷掛けは失敗することもあるため、3回失敗した場合は手動操作に切り替える。

自動荷掛けは失敗することもあるため、3回失敗した場合は手動操作に切り替える。

5-2-3. 検証の成果（実施内容と結果概要）

調査対象②の自動制御荷掛け成功率

サイクル数	荷掛トライ 1回目	荷掛トライ 2回目	荷掛トライ 3回目	備考
1	失敗	失敗	成功	
2	成功			
3	失敗	失敗	失敗	手動に切り替えて集材
4	失敗	失敗	失敗	手動に切り替えて集材
5	失敗	失敗	失敗	手動に切り替えて集材
6	失敗	成功		
7	失敗	失敗	失敗	手動に切り替えて集材
8	失敗	失敗	失敗	手動に切り替えて集材

- 調査対象②の自動荷掛けは21回のうち3回成功（14.3%）
- 何回目で荷掛けが成功するかの回数は幾何分布に従い、その確率(発生割合)を1日当たりの発生割合として、生産性を推定

5-3-1. 検証の成果(生産性の検証①)

サイクルタイム集計結果

	調査対象① (AIマルチワークシステム)	調査対象② (自動集材・造材マルチワークシステム)			
		(1)1回目で荷掛けが成功した場合	(2) 2回目で荷掛けが成功した場合	(3) 3回目で荷掛けが成功した場合	(4) 荷掛け3回失敗、手動に切り替えた場合
造材サイクルタイム平均(分) (1サイクル当たり)	4.683				
マルチワーク時合計 サイクルタイム(分)	10.204	7.126	8.391	10.572	11.841
想定発生回数 (1日当たり)		5	4	3	21
発生確率 (1日当たり)		15.2%	12.1%	9.1%	63.6%

- 調査対象①、調査対象②-(1)のケースでは自動制御中に造材が完了しないが、調査対象②-(2)~(4)は自動制御中に造材完了
- 調査対象②では、推定される1日当たりの自動制御荷掛け成功割合(1~3回目で荷掛け成功するケースの合計)は3割強、6割強が手動荷掛け

5-3-2. 検証の成果(生産性の検証②)

生産性等集計結果

	調査対象① (AIマルチワークシステム)	調査対象② (自動集材・ 造材マルチワークシステム)
1サイクル当たり 集材材積(m ³)	1.0963	0.6868
1日当たり生産性 (m ³ /人日)	38.37	22.66
1日当たり生産経費 (集材・造材経費)(円)	91,631	
m ³ 当たり生産経費 (集材・造材経費)(円)	2,388	4,043

- ①集材材積に差が出た事、②調査対象②の荷掛け成功率の低さにより、日当たり生産性は従来システムに及ばなかった。
- 現場導入にあたっては今後の検証、改良が必要となる。

5-4-1. 現場導入に向けて①

調査対象②「自動集材・造材マルチワークシステム」集材工程の改善余地

荷掛成功確率と集材材積による1日当たり生産量(m ³ /日)		1サイクル当たり集材材積	
		0.6868m ³	1.0963m ³
荷掛成功確率	14.3%	26.10	41.66
	50.0%	30.22	48.24
	90.0%	33.65	53.72

- 造材完了の時点で手動に切り替えると生産性が22.66m³/人日⇒26.10m³/人日に改善
- 荷掛成功率、1サイクル当たり集材材積が改善できた場合、上表のように**最大53.72m³**となり、**昨年度の1.4倍**に生産性が改善する

5-4-2. 現場導入に向けて②

その他生産性に関する試算

	調査対象① (AIマルチワークシステム)	調査対象②(自動集材造材マルチワークシステム)	調査対象②'(自動集材造材マルチワークシステム)
1日当たり労働生産性 (m ³ /人日)	38.37	26.10	37.56
m ³ 当たり生産経費 (集材・造材経費)	2,388	3,511	2,440

- 調査体調②の手動操作を調査対象①と同じ数値にすると生産性、経費は上表のように改善する（調査対象②'）。
- 調査対象①との差はわずかであり、今後の荷掛け成功確率向上、1サイクル当たり集材材積向上により、上回る可能性は十分にある。

1. 成功率および生産性の向上について

- 生産性の向上を図るため、位置合せの精度向上や短時間でのリトライ荷掛けによるサイクルタイムの短縮や複数本掴みを目指す。
- 自動集材の範囲拡大を図るために、荷下ろし場のプロセッサと干渉しない安全な荷下ろしを目指す。
- トライアンドエラーで要素技術を向上させ着実なステップアップを図るためには、傾斜が緩やかで試験に適した現場が必要。

2. その他

- 事務所で現場の状況把握をできるためには、衛星通信と林内無線通信を利用した外部との情報共有を可能にする通信システムの構築が必要。

WITH FOREST

IWAFUJI
INDUSTRIAL CO., LTD.



森林(もり)と共に



IWAFUJI
INDUSTRIAL CO., LTD.

イワフジ工業はいつまでも林業機械を創り続けます

終