

## 自動走行フォワーダによる無人集材作業の技術体系

試験研究計画名：無人走行フォワーダによる集材作業の自動化に関する実証研究  
 地域戦略名：運材作業の無人化による生産性の向上  
 研究代表機関名：（研）森林研究・整備機構森林総合研究所

### 地域の競争力強化に向けた技術体系開発のねらい：

中山間地域における労働力不足に対応するとともに、伐出作業の労働生産性の向上を目的として、作業班の構成人数を一人減らしても、生産量を減らすことなく作業できる自動走行フォワーダを開発しました。複数の作業員が作業班を構成し、伐木・造材・集材と流れ作業で行われる伐出作業において、フォワーダによる集材作業は素材生産の最後の工程であり、集材距離が長距離化している現場において作業能率低下の原因となっています。この問題を解決するために、土場先山間の往復運転および土場における荷おろし作業を無人化して、フォワーダの運転手を必要としない作業体系を開発しました。この作業方法では、先山におけるフォワーダへの材の積み込み作業は、先山の造材担当の作業員が兼務することになりますが、フォワーダの往復回数が減らなければ労働生産性は向上します。プロセッサ等による造材工程は作業能率が高いことから、積み込み作業と造材作業の兼務は可能です(図1)。

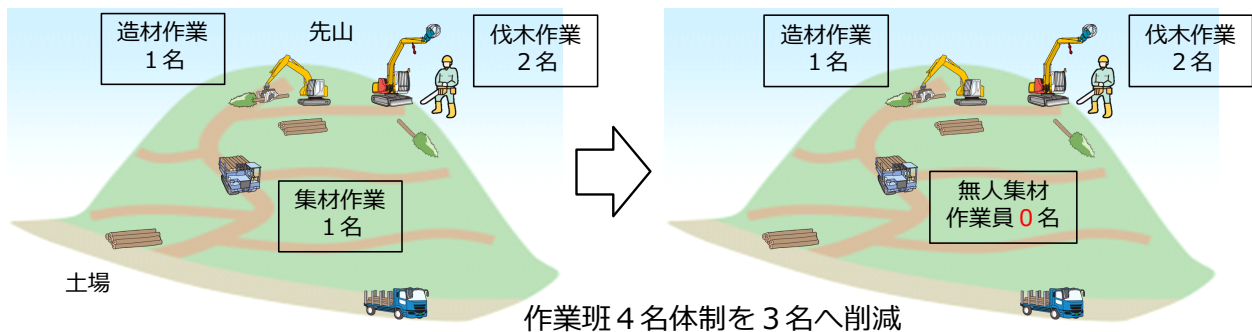


図1 無人走行フォワーダによる伐出作業システム

### 技術体系の紹介：

#### 1. 自動荷おろし機構

自動走行フォワーダが土場まで材を運んだあと、材を荷台からおろす作業員を土場に配置するようでは作業班の構成人数を減らすことは不可能です。このため、開発機では荷台を車体横方向に傾けることによって材をおろすサイドダンプ方式を採用して、荷おろし作業も自動化しました(写真1)。山の傾斜を利用して作設された盤台に向かって荷台の材をおろすことで、おろされた材はバラバラにならずに貯めておくことが可能です。一日の作業による材を貯めるには一つの盤台では足りないため、土場



写真1 無人荷おろし作業中のフォワーダ

には複数の盤台を作設する必要があります。開発機では複数の盤台を識別するとともに、荷おろし作業に適切な位置で停止できるように、QRコードを利用した看板を用いて、土場における自動停止位置の指示を行いました。

## 2. スイッチバック走行にも対応可能な誘導制御

自動走行機能には誘導電線を用いた制御方法を採用しています。この方法は作業道上にあらかじめ電線を敷設しておき、フォワーダの底部に追加装備されたピックアップコイルで電線を検知して、電線に沿ってフォワーダは自動走行します。フォワーダは先山と土場の間を繰り返し往復走行するので、開発機では前後進ともに自動走行可能となるように、ピックアップコイルは車体前部だけではなく、後部にも追加しています。この機能により、土場においてフォワーダはUターンすることなく往復走行が可能となりました。急傾斜地に作られる作業道は、急カーブを避けてスイッチバック区間を設ける場合がありますが、開発機はスイッチバックの折り返し走行にも対応しています。この機能を利用するには、発信器を二つ使用し、どちらの電線に沿って自動走行するかを選択することで対応しています。スイッチバックの折り返し地点には、先述のQRコードを用いた看板を使用して、発信器の選択を行っています(図2、写真2)。自動走行時の作業道幅員方向の制御誤差は車幅の1.2倍以下に収まっており、既存の作業道に対して拡幅工事等を行うことなく自動走行機能は利用可能です。

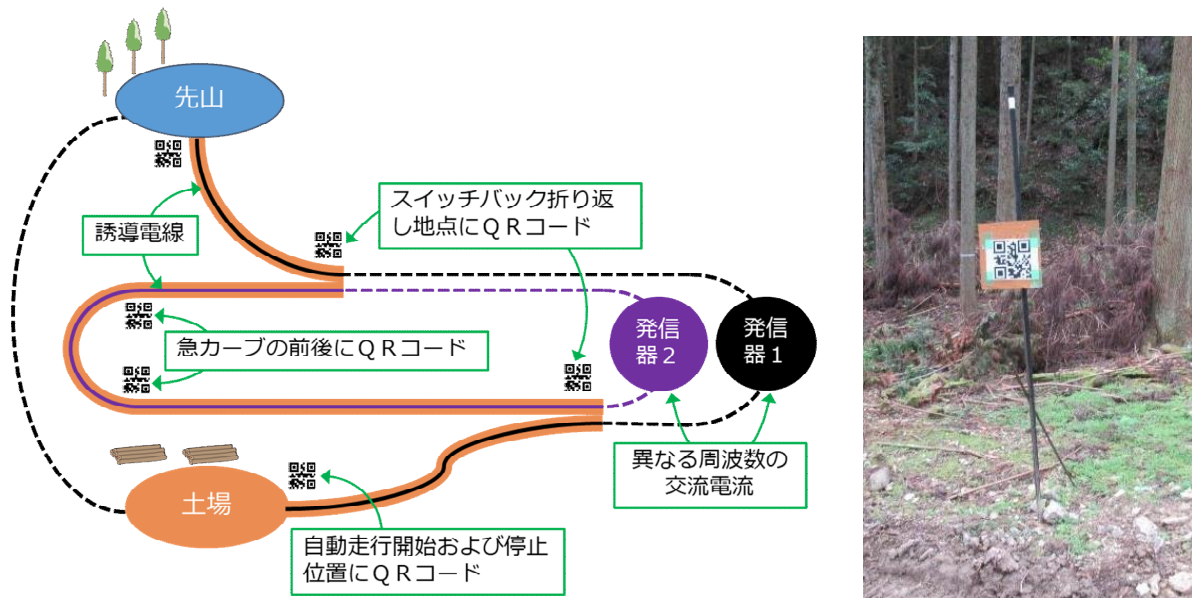


図2 スイッチバック走行へ対応した誘導電線敷設方法 写真2 作業道脇に設置されたQRコード

## 3. 有人運転時と同じ速度で無人走行

無人走行で作業道を往復できても、走行速度が遅くなってしまえば生産量が減ってしまいます。作業道は急勾配、急カーブ等、安全な速度で走らなければならない箇所が多数存在するものの、比較的高速で走行可能なところもあり、一定速で走っている作業能率の向上は望めません。このため、開発機では、作業員が搭乗して運転した時の速度を記憶しておき、自動走行時にはその速度を再現することで速度の調整を行っています。この速度調整方法は自動走行開始時からの経過時間をもとに再生しているため、走行時間の経過とともに再生時間の誤差が蓄積します。この誤差を修正するためにも、先述のQRコードを用いた看板を使用しています。作業道の脇にはあらかじめ看板を設置しておき、有人運転時に看板を検知した時間を記憶しておき、無人運転時には通過時間を修正しています。QRコードの看板は急カーブ等の危険な場所に設置しておくことで、過速度による作業道からの逸脱を防止できるとともに、再生時間の修正を行えます。有人運転による走行は、朝始業時に行うことを想定しています。これ

は、作業道の路肩の崩壊、作業道上への落石、倒木等による事故を未然に防ぐことに有効な方法です。

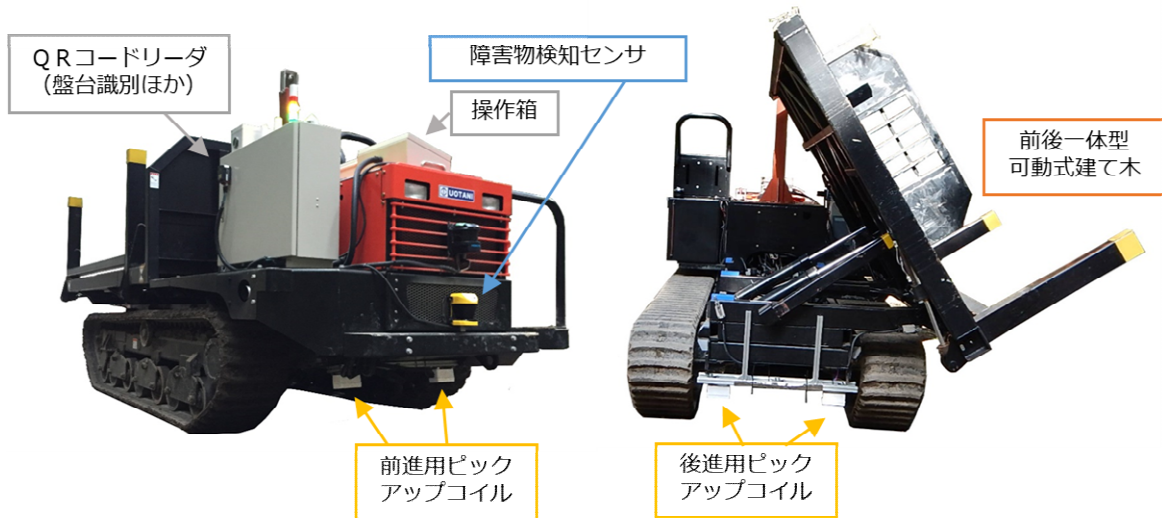


図3 開発機の外観図

### 技術体系の経済性は：

#### 経営改善効果

##### 1. 省力化

フォワーダを用いて集材作業を行っている現場では、伐木・木寄せ作業に2名、造材作業に1名、集材作業に1名の計4名で作業班を構成する場合が最も多いと考えられます。自動走行フォワーダを用いることによって、作業班の構成人数を4名から3名へ減らしても素材生産量を保てるので、労働生産性は1.33倍に上げることができます。また、複数の作業班を所有している事業体においては、作業班の構成を見直すことにより、作業班を増やして素材生産量を増やすことも可能となります。誘導線の敷設工事の人工数を実測した結果、作業道1kmに電線を敷設するには3人日、撤去には1.5人日を要しました。また、荷おろし盤台の作設および撤去には2.5人日を要しました。無人集材機能を利用するために必要となる付帯工事に要する人工数は約7人日となることから、おおむね200m<sup>3</sup>以上の搬出作業を行う現場では無人集材作業が有利になると試算されました。

##### 2. 運搬コスト

自動走行フォワーダには、センサとして誘導電線を検出するピックアップコイル、走行開始位置、停止位置等を指示するQRコードリーダー、サイドダンプ式荷台のリミットスイッチ等が追加装備されるとともに、制御装置としてコンピュータおよび電磁比例式圧力制御弁等が必要となります。これらの追加装備の総額は量産されることを前提とすれば500万円となりますが、自動走行フォワーダを利用することにより作業員を削減することが可能となります。国内の素材生産事業体の年間生産量の平均値は約4,200m<sup>3</sup>であり、1日当たり30m<sup>3</sup>の素材生産が行えれば、作業員が伐採作業に従事する日数は年間140日となります。伐木作業員の平均賃金を13,500円とすると、作業員を一人減らすことにより年間約200万円の賃金を削減できることとなります。フォワーダに追加装備される制御機器等の金額と賃金を比較すると、約3年でフォワーダに追加された装備類に伴う経費は回収可能であると試

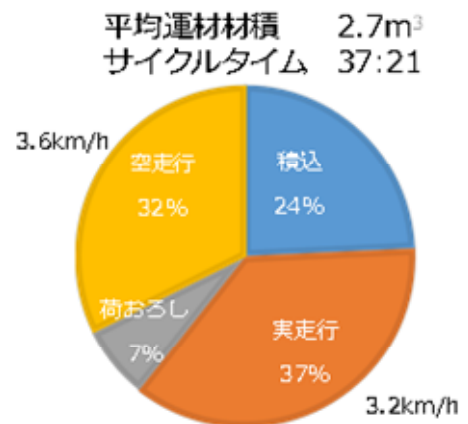


図4 実証試験結果



算されました。

### 経済的な波及効果

開発したフォワーダを使用した無人集材作業の調査を行った結果、1サイクル約38分で作業を行うことが可能でした(図4)。この現場の最大集材距離は915m、平均積込材積は2.7m<sup>3</sup>、46サイクルの搬出作業を行いました。この調査結果を用いて集材距離1km、積込材積3m<sup>3</sup>に換算すると、1日10往復して30m<sup>3</sup>の材を搬出するのに要する時間は約6時間半と計算されました。自動走行フォワーダは昼休みも作業可能ですので、1日30m<sup>3</sup>の目標は達成できました。先山での伐木造材作業を3人で30m<sup>3</sup>生産できれば、労働生産性は10m<sup>3</sup>/人日とすることができます。自動走行フォワーダを使用することで集材距離が延びても生産性を落とすことなく作業可能となるので、作業道の路網密度を大きくすることも可能となります。

兵庫県の年間素材生産量24万m<sup>3</sup>をすべて自動走行フォワーダで運材し、1班当たり3名体制で1日の生産量30m<sup>3</sup>を達成できれば、年間8,000日分の人件費の削除が可能と試算されます。これは、年間約1億円の人件費削除の効果があると試算されます。

### こんな経営、こんな地域におすすめ：

作業道を作設してフォワーダによる集材作業を行っている現場であれば、全国どこでも開発したフォワーダを導入することは可能です。森林作業道作設指針に沿って作設された作業道であれば、自動走行フォワーダを導入するために幅員拡幅工事等は必要ありませんので、既存の作業道に誘導用電線を敷設することで自動走行機能を利用可能です。誘導電線に電気を供給する発信器は2kmまでの長さの電線に対応していますので、総延長距離1kmまでの作業道に対応可能です。作業道を開設しながら伐出作業を行っている現場で、土場・先山間の距離が長くなり、フォワーダによる集材工程の作業能率が低下している現場においては、作業員の削減効果による労働生産性の向上効果を楽しむことができます。

また、集材作業時の作業道からのフォワーダの逸脱・転倒事故も多数発生しているとともに、オフロードである作業道上の運転作業は振動騒音が激しく、運転手の労働負担も大きな問題となっていることから、自動走行可能なフォワーダによる集材作業は、労働負担の低減および安全性の向上効果もあります。

### 技術導入にあたっての留意点：

開発したフォワーダを用いて集材作業を行うには、土場に荷おろし盤台を作設するとともに、作業道には誘導用の電線を敷設しなければなりません。この作業に要する人工数は約7人日となることから、総生産量が約200m<sup>3</sup>以下の現場においては、無人集材作業による人工数の削減効果は得られませんので、搬出量には注意が必要です。また、土場に作設する荷おろし盤台を作設するスペースも確保できなければなりません。一日の搬出量を貯めておくには荷おろし盤台は3基から4基が必要となります。荷おろし盤台の横幅は材長の1.5倍程度の長さが必要となりますので、荷おろし盤台の端から端までは20m程度の距離が必要となります。トラックが侵入可能な道端に傾斜を利用して荷おろし盤台を作設する必要があることも注意が必要となります。

**研究担当機関名：**（研）森林研究・整備機構森林総合研究所、（株）魚谷鉄工、（株）舞鶴計器、  
丹波市森林組合、兵庫県立農林水産技術総合センター森林林業技術センター

**お問い合わせは：**（研）森林研究・整備機構森林総合研究所

電話029-829-8283 E-mail mozuna@ffpri.affrc.go.jp

**執筆分担**（（研）森林総合研究所 林業工学研究領域 毛綱昌弘）