

集材時の負担を低減する技術の研究

Research of the Technology for Reducing the Load of Yarding

竹 村 佳 也*

Yoshinari TAKEMURA

松 下 右 京*

Ukyo MATSUSHITA

山 岡 洋 斗*

Hiroto YAMAOKA

川 上 智 弘*

Tomohiro KAWAKAMI

要 旨

里山には様々な価値があり、人と自然の共生の象徴でもあることから保全が望まれる。Honda の自然体験施設ハローウッズでは、保全活動を行いその価値を享受している。

本研究では里山保全のために、ハローウッズを事例とし、切った木を運ぶ作業の負担低減技術を構築した。

これはクローラ式小型運搬機をベースとした、里山における無人搬送、傾斜地走行時の横転の抑制、容易な木の積み降ろしの機能のための技術である。

これらの技術については、実験機を製作し要件達成を確認した。これらの機能の実現により集材時の負担を軽減し、里山保全が期待できる。

ABSTRACT

Satoyama provide a variety of services and are symbolic of the coexistence of people with nature, so their conservation is to be desired. HELLO WOODS' is a facility that Honda maintains as a place for people to experience nature. Here, we perform conservation initiatives and receive benefits from the woods in return.

This research uses HELLO WOODS' as a case study in Satoyama conservation. Technology was developed to reduce the environmental burden of yarding; that is, moving trees after they have been logged (cut down).

This technology uses a small crawler-type power carrier and has an unmanned carrier function, overturn suppression function through sloping areas and loading/unloading function.

An experimental carrier was built and used to confirm that each function worked as required. These functions could reduce the burden created by yarding and help to conserve Satoyama.

1. ま え が き

古くから人々は、自然から適度に資源を調達し持続可能な生態系を維持することで、自然と共生してきた。このように人々の生活のために維持されてきた山林を里山と呼ぶ。里山には、燃料などの資源の供給以外にも、生物多様性、防災、水源涵養、環境保全、景観や環境教育の場といった様々な価値が存在する。

しかし、高度経済成長期より化石燃料の普及が進み、経済的観点から維持するほどの価値は無いとみなされ、里山は放置され始めた。その結果、里山は藪が増え木は大きく育ち暗い森へと変化しつつある。

Honda のツインリンクもてぎ内の自然体験施設であるハローウッズでは、里山保全のための活動をワークショップの参加者と共に行っている。木を育てて切って使うサイ

クルをまわすことで、里山価値を体現している。里山は定期的に伐採を行うことで Fig. 1 のように明るく若い森として維持される。なお、切った木は薪や炭などに利用される。保全作業には草刈やつる切りなどの育林作業と伐採や集材などの収穫作業がある。一連の作業のうち集材が最も負担となる作業である。

本研究は、集材作業の経験が少ない一般の人が、作業を行う際の負担を低減することを目的としている。ハローウッズを事例として集材時の負担を低減するための技術構築を目指す。負担低減技術が普及すれば、ハローウッズ以外の里山においても多くの人が保全活動に参加でき、多くの里山が保全されると期待できる。

本稿では、集材作業の負担を低減する機能を提案し、設定した要件に対して製作した実験機の概要と達成技術および性能検証について述べる。

*基礎技術研究センター



Fig. 1 Satoyama in HELLO WOODS' (Provided by HELLO WOODS')

2. 作業の分析と達成目標

集材作業とは伐採地において切った木、すなわち材を集積地である土場まで運ぶことであるが、まず、作業内容と作業負担について、ハローウッズにて調査を行い把握した。

ハローウッズの集材作業では Honda 製のクローラ式小型運搬機である力丸を用いる。伐採地において、玉切りと呼ばれる適切な長さへの切断を行った材を人力で力丸に積み込み、力丸を操作しながら伐採地内と作業道を走行し、土場において材の荷降ろしを行う。以上を繰り返し、年間 0.4 ha の里山で伐採した木を集材している。

調査において三つの負担となる項目が抽出された。一つ目は運搬のために山道を何度も往復することである。不整地で傾斜のある作業道において、運搬機を操作しながら歩いて往復している。距離が長くなるほど時間がかかり体力を消耗する。二つ目は傾斜地で走行しているときに横転しやすいことである。横転しない様にするため、走行時には最大積載容量の半分以下の材しか載せることができず、その分往復する回数が多くなる。三つ目は、重い材の積み降ろしである。20 kg から 35 kg の材が重量ベースで約半分を占めており、ワークショップでのアンケートでは材の積み降ろしが身体的に最もつらいという回答が多い。以上の三つの負担を低減するために、Fig. 2 で運用を示すように以下の無人搬送、横転抑制、積降補助の三つの機能の構築を目標とする。

(1) 無人搬送

無人で搬送することにより、作業者は他の作業が可能となり効率的である。また長い距離を歩かなくてよいので身体的負担が低減される。

手法としては、予め設定したルートを自動で走行し運搬することである。里山では木が障害となって GPS を利用できないことを踏まえて二つの手段により実施した。一つ目は電磁誘導で、土場から土場といった変更されることが無い経路を降雨や降雪環境でも走行できることを想定して

いる。二つ目は視覚誘導で、毎年、場所が変わる伐採地からの搬送の際に、少ない作業量で経路変更ができることを想定している。

(2) 横転抑制

多くの材を積載し傾斜した伐採地を走行することで、土場までの往復回数を減らし、また、傾斜地を迂回することも少なくなるので、作業として効率的である。

クローラの接地面の形状より前後より左右の方が不安定であることから、左右に倒れにくくする。また、三尺道と呼ばれる里山に古くからある道は、幅が 90 cm であり狭い。広い道を造成すると環境破壊となるので里山保全の観点から適切ではない。三尺道を走行できる運搬機のサイズを維持して、左右に倒れることを抑制する。そのために、揺動駆動機構を設け制御することで、車体における重心バランスを維持して走行する。

(3) 積降補助

材の積み降ろし作業を、小型クレーンにより行う。これにより身体的負担を低減できるが、クレーンの操作においてレバーやボタンといった一般的なコントローラを用いると移動方向が前後、上下、左右の三方向であるため煩雑となり不慣れな人にとって効率を大きく落とすことになりかねない。また、誤操作による事故の可能性もある。

そこで材の移動を直接操作するインターフェースにより容易な操作を実現し、集材作業に慣れていない人が効率を大きく低下させずに楽な積み降ろし作業を可能にする。

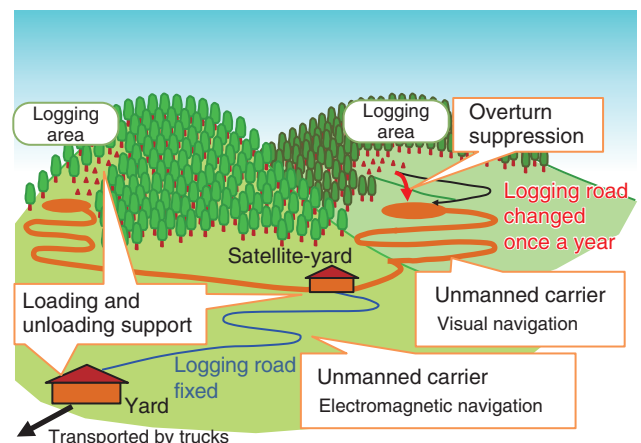


Fig. 2 Three functions for logging in Satoyama

3. 実験機と検証項目

ここでは、機能検証に用いる実験機と検証項目について述べる。

3.1. 実験機

実験機は力丸 HP500 をベースとして駆動系を電氣化し、

Table 1 Experimental carrier specifications

	Experimental carrier	Honda Power Carrier HP500
Length	2090 mm	2030 mm
Width (cargo bed)	850 mm	Max. 900 mm
Surface area of the grounding of unilateral crawler belt	180 mm × 694 mm	180 mm × 694 mm
Weight of carrier and max. load	703 kg	542 kg
Max. velocity (forward)	2 km/h	4.3 km/h
Max. angle of rise	20°	15°
Type of drive of crawler	2 Motors	Engine
Power source	Li-battery	Gasoline

3機能の機構やセンサ、駆動系を搭載し、全ての機能を制御するためのシステムコントローラを搭載した。3機能搭載時の実験機の基本諸元を Table 1 に示す。走行時の最高速度は、ハローウツズでの集材時のスピードを参考に決定した。

3機能を含む実験機の電装システムを Fig. 3 に、製作した実験機を Fig. 4 に示す。

積降補助のためのクレーンは荷台の隣に配置し、荷台周辺の材をクランプできるブーム長とした。ブームは、走行時は折りたたみ、実験機の脇に収納する。視覚誘導のためのカメラは材との接触を防ぐためアームに関して荷台と逆側とした。無人搬送時はカメラ側を前にして走行する。

3.2. 検証項目

無人搬送では、テストコースを走行し、後述の誤差要件内で走行できることを検証する。横転抑制では、テストコースを積載状態で走行できることを検証する。積降補助

では本機能による積み込みと積み降ろしの時間が後述の要件を満たすことを検証する。

無人搬送と横転抑制のために、ハローウツズの集材に関わる走行路面の特徴を反映して Fig. 5 に示すテストコースを造成した。無人搬送の走路は一周約 50 m であり、横転抑制検証用のトラバース走行用の路面を別途造成した。



Fig. 4 Experimental carrier

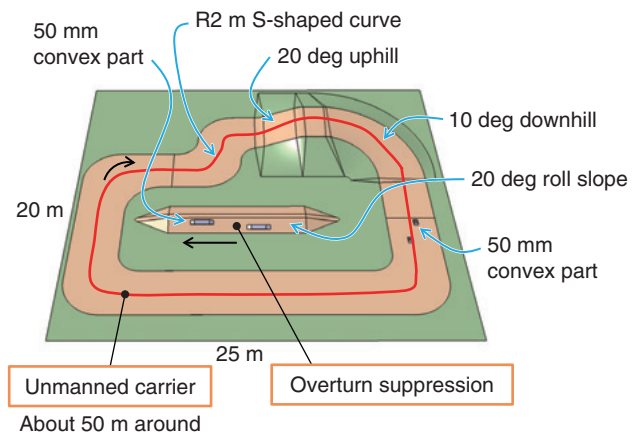


Fig. 5 Test course

4. 主要技術と達成内容

4.1. 電磁誘導

走行する作業道は、三尺道とハローウツズの路面状況から幅 900 mm、最大ロール角 7°、最大路面凹凸を 50 mm と設定する。後述の視覚誘導も同様である。

不整地を走行するため、誘導線と車載センサは左右だけでなく上下方向についても位置変動が発生する。左右の位置変動への対応に特化したゴルフカートのような一般的な手法では、上下の位置変動により誘導線との左右方向の

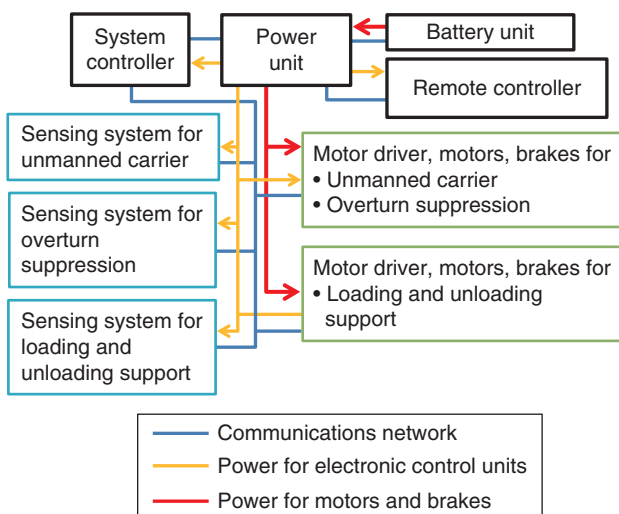


Fig. 3 Electric system of experimental carrier

検出距離が大きく影響を受けるため上下位置変動にも対応する。

4.1.1. 機能要件

無人搬送において、Fig. 6のように直線部 900 mm の道幅に対して、外幅 600 mm のクローラが走行することから、走行時に許容できる全体の最大誤差は±150 mm となる。作業道のコーナにおける最小半径を作業道中央において回転半径 (R) 2 m とする。R2 m 部では、従来作業において力丸が走行可能な作業道の幅として 1100 mm と設定した。誘導線の敷設誤差、誘導線に対する実験機の位置姿勢すなわち自己位置の推定誤差、追従走行の誤差について Table 2 のように許容できる最大値として要件を定めた。速度についての要件は、直線部において 2 km/h 以上の走行が可能なこととした。

4.1.2. 達成技術

実験機は作業道中央の路面上に敷設された誘導線により発生する磁場を磁気センサで検出し、自己位置を推定しながら走行する。停止時は誘導線上に設置した磁界遮蔽板により停止位置を検知して停止する。

磁気検出センサとして、誘導線との左右方向と上下方向の距離検出が可能となるように、互いにその軸が直行した縦センサと横センサからなる二つの磁気センサを配置する構成とした。クロスセンサモジュールと呼ぶ。

誘導線には、発信機により一定周期で繰り返し同じ電流パターンを発生させる。この電流パターン毎に、磁気センサ内のコイルに誘起される誘導起電圧のピークを検出する。縦センサで検出した誘導起電圧ピーク V_{VP} と横センサで検出した誘導起電圧ピーク V_{HP} の合ベクトル V_P は、アンペールの法則から明らかなように、式 (1) のように誘導線からの距離 r に反比例し電流の一階微分のピークに比例する。ここで、 V_{VP} と V_{HP} は式 (2) で表される値となり、式 (3) のように水平距離 y 、高さ z を導出できる。なお、式 (1) から式 (3) の定数 C は、実験により同定した値を使用する。試作した二つの実験機では車体金属のばらつきによる磁場歪みがあり検出結果が同じではない。そこで、二つ

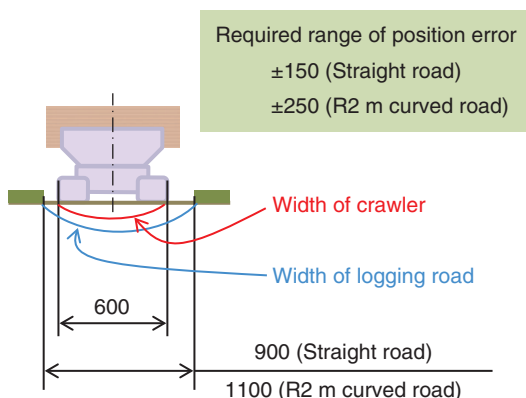


Fig. 6 Width of carrier and logging road

Table 2 Required range of position error

No.	Factor of position error from center of road	Required range of position error from center of road [mm]	
		Straight road	R2 m curved road
1	Gap of laid cable and center of road	±50	±120
2	Position estimation (Included in No.3)	±60	Not setting
3	Trajectory tracking control	±100	±130
Lateral margin (No.1+No.3)		±150	±250

の実験機において検出距離の誤差量が同等となるように C を同定した。

$$V_P = \frac{C}{r}, \quad C = \frac{\mu NS}{2\pi} \cdot \left(\frac{di}{dt} \right)_{\text{peak}} \quad (1)$$

$$\begin{cases} V_{VP} = \frac{C}{r} \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2 + z^2}} = \frac{Cy}{y^2 + z^2} \\ V_{HP} = \frac{C}{r} \cdot \frac{z}{\sqrt{y^2 + z^2}} = \frac{Cz}{y^2 + z^2} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} y = \frac{CV_{VP}}{V_{VP}^2 + V_{HP}^2} \\ z = \frac{CV_{HP}}{V_{VP}^2 + V_{HP}^2} \end{cases} \quad (3)$$

走行制御のために、Fig. 7 に示すように車体前後にクロスセンサモジュールを固定し、各モジュールより得られた誘導線と車体中心位置の水平距離 y と誘導線と車体のなす角度 ϕ より、旋回速度 Ω_c^{ref} を与え、直進速度 V_c^{ref} を一定値とし左右のクローラ速度指令値を算出する。

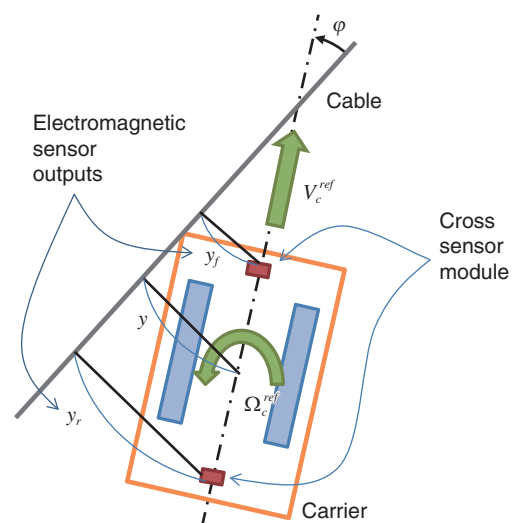


Fig. 7 Position of carrier and sensor output

Table 3 Tolerances measured about each factor

No.	Factor of position estimation error	Error estimate [mm]
1	Slope of cross sensor module (roll 10 deg, pitch 10 deg, yaw 20 deg)	±12
2	Electromagnetic strain (max measured value of 2 carrier-bodies and 4 sensors)	±28
3	Measurement error in calibration	±5
4	Electromagnetic noise	±4
5	AD convert and arithmetic error	±2
6	Others	±3

自動停止は、Fig. 8 で示すようにクロスセンサモジュールに到達する磁場が磁場遮蔽板により弱まることで、式(3)の検出高さ z の値が設定した閾値を超えることを検知して車体を停止させる。

4.1.3. 検証結果

車載した状態でのクロスセンサモジュールの誤差要因と、特性試験において計測した誤差の最大値を Table 3 に示す。車載のクロスセンサモジュールとしての最大誤差量は全ての誤差量の和として±54 mm であった。

本手法によりテストコースの走行を実現した。Fig. 9 に電磁誘導により走行している様子を示す。なお、視覚誘導と同じコースを走行することから、次節で述べる視覚誘導用のマークも配置されている。追従走行における誤差量

Table 4 Position error of automatic traveling

	Straight road [mm]	R2 m curved road [mm]
Required range of position error	±100	±130
Test result	±35	±43
Consider a production tolerance of carrier and sensor	±63	±71

Table 5 Required range of position error

No.	Factor of position error from center of road	Required range of position error from center of road [mm]	
		Straight road	R2 m curved road
1	Operation by user in teaching phase	±50	±100
2	Position estimation in teaching phase (Included in No.4)	±25	±25
3	Position estimation in playback phase (Included in No.4)	±25	±25
4	Trajectory tracking control	±100	±150
Lateral margin (No.1+No.4)		±150	±250

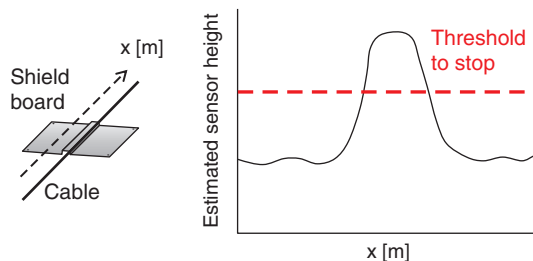


Fig. 8 Automatic stop by shielding magnetic field



Fig. 9 Automatic traveling by electromagnetic navigation

を、クローラの轍と誘導線の距離を定規により測定し換算することにより得た。Table 4 に示すように走行結果は、Table 2 のNo.3 に示す許容誤差要件を満足している。また、車体ばらつきによる磁場歪みを考慮しても要件を達成できている。

4.2. 視覚誘導

里山では日の出から日没、あるいは四季を通して、光学環境や目印となる植物の状態が異なるため、ロボаст性高く自己位置を得ることは難しい。そこで、人工物であるマークを走路周辺に敷設してマークに対する実験機の位置姿勢である自己位置を確実に検出する手法とする。また、走行や停止以外に切り返しなどを含めあらゆる軌道の走行を可能にするために、ティーチングプレイバックによる自動走行を行う。

4.2.1. 機能要件

道幅に対する走行精度要件は電磁誘導と同じである。各要素の許容できる最大誤差について Table 5 に示す。教示走行時の許容誤差については実験機の操作性より決定した。また、教示走行時と追従走行時にそれぞれ自己位置推定を行うことから後述する視覚系位置決め誤差が2倍の量として加算される。

4.2.2. 達成技術

本手法では、安定した自己位置推定を実現するために、

視覚センサを用いた自己位置推定結果と、内界センサによる自己位置推定結果を統合する構成とした。

視覚センサによる自己位置推定のためのマーク配置は、まずカメラの画角とコース形状を基に仮決めし、次いで実験機を走行させて検出できる位置を確認しながらその位置を決定した。視覚センサを用いた自己位置推定では常に2本以上のマーク位置検出が必須のため、Fig. 9で示すように直線ではマークを左右交互に約0.7 m間隔で配置し、曲線では外側に約0.9 m間隔で配置した。マークには再帰性反射材が、長手方向に一定の比に従って貼付されており、投光器の赤外線光を高い強度でカメラに反射する。

視覚センサは差分カメラ⁽¹⁾を用いたステレオカメラであり、投光器の光と環境光を分離することができる。これにより、投光器の光のみによるマークの映像を短時間で抽出することが可能となる。反射光強度を高くするには、投光器とカメラの距離を短くする必要があるが、Fig. 10のように投光器を左右のカメラに対して一つずつ配置した。ステレオカメラの基線長は長くすると精度向上が期待できるが搭載可能な範囲で0.3 mとした。

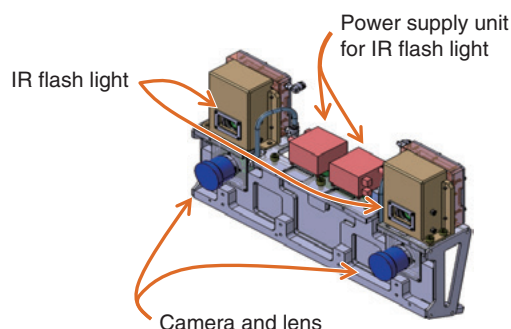


Fig. 10 Stereo difference camera unit

Table 6 Features of position estimation by each sensor

	Processing Time	Noise	Drift
Position estimation by visual recognition	Large	Large	Small
Position estimation by inner sensors	Small	Small	Large

視覚センサを用いた自己位置推定の主な処理内容は、(1)画像読み込み、(2)マーク検出、(3)ステレオ演算、(4)補正前位置姿勢取得、(5)自己位置姿勢補正、(6)補正済位置姿勢出力となっている。

視覚センサによりマーク検出を行い、自己位置を算出する手法と併用して、加速度および角速度センサとクローラ速度検出器すなわち内界センサを利用して、積分により自己位置の推定を行う。Table 6にそれぞれの自己位置推定結果の特徴を示す。この表より、視覚センサによる自己位置推定は低周波域が、内界センサによる自己位置推定は高周波域が、それぞれ優位となる特徴を有していると言える。この特徴を生かすために、構築した自己位置推定システムでは、Fig. 11で示すように視覚センサにより得られた車体位置に対しローパスフィルタを内界センサにより得られた車体位置に対しハイパスフィルタを適用し統合を行うことで、安定した自己位置推定を実現している。

追従走行では、教示走行時のクローラ速度をフィードフォワード項として、教示走行時の走行軌道と現在の位置の偏差をフィードバック項として、左右クローラ速度指令値を算出する。

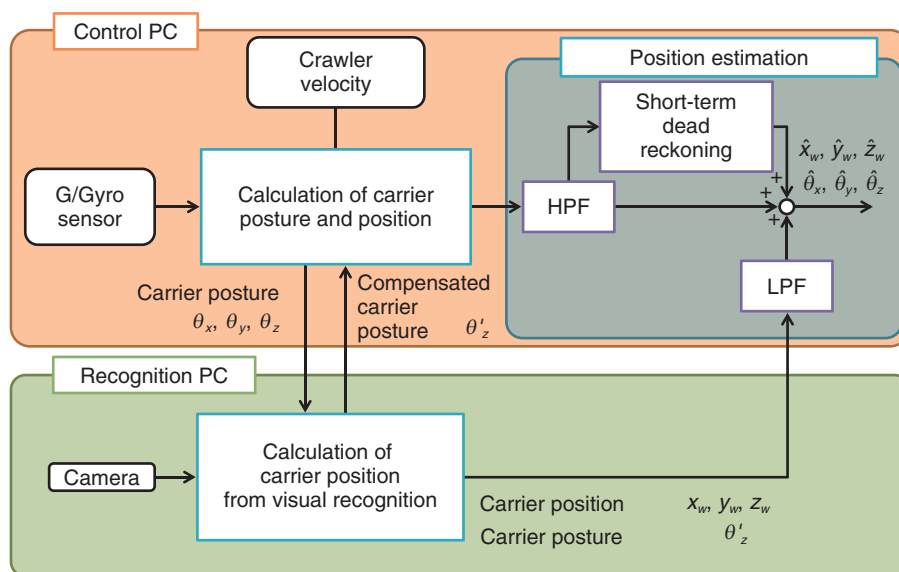


Fig. 11 Process of integration position estimation

4.2.3. 検証結果

まず、視覚システムによる自己位置の検出精度を評価する。本システムは教示、追従走行のシステムであるため、教示軌道に対するトレース精度が求められ、絶対的な位置決め精度は重要でない。そのため、視覚システムとしては同じ軌道を移動したときの検出位置のばらつきすなわち視覚系位置決め誤差により評価する。なお、このばらつきは視覚センサの出力のばらつきに起因する。

視覚システムの出力変数のうち精度検証の対象となるのは、制御に利用されない θ_x 、 θ_y を除いた X 、 Y 、 Z 、 θ_z の4変数である。そこでFig. 12のようにカメラシステムを X – Y – Z – θ_z テーブルに設置し、反射マークを検出しながらテーブルを移動／回転させることで変位量を確認した。検出を想定する最も遠い X 軸方向の位置において、 Y 軸方向にカメラが変位した際の、 Y 軸方向の視覚系位置決め誤差をFig. 13に示す。最も条件が厳しいこの結果より、視覚系位置決め誤差(3σ)は ± 7.7 mmであり、要件として設定した ± 25 mmを十分達成したことが確認できる。

本手法により、テストコースの走行を実現した。追従走行時の教示軌道とのずれについてTable 7に示す。結果より、Table 5のNo.4に示す許容誤差要件を満たすことが確認できる。

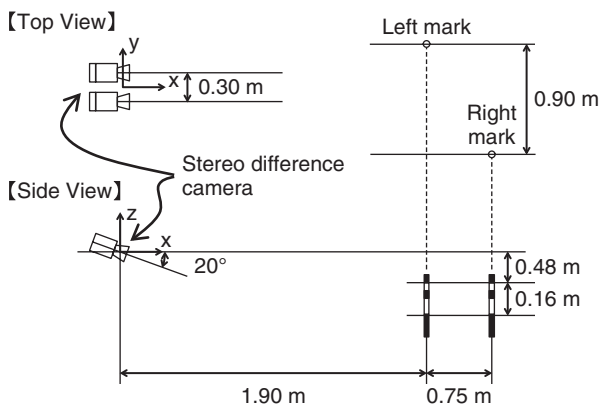


Fig. 12 Bench for measurement of locational error of visual recognition

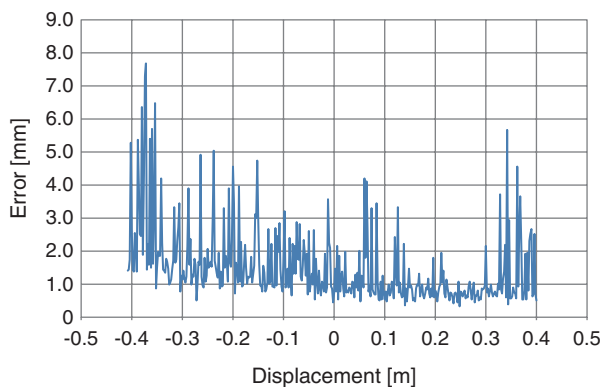


Fig. 13 Locational error of visual recognition

Table 7 Position error of automatic traveling distance from teaching orbit

	Straight road [mm]	R2 m curved road [mm]
Required accuracy	± 100	± 150
Test result	± 15	± 40

4.3. 横転抑制

横転抑制は主に伐採地の走行を前提としている。伐採地において走行すべき最大傾斜は 20° とした。 20° 以上の傾斜地においては、玉切りした材を転がして 20° の斜面まで移動させることを想定している。

4.3.1. 機能要件

機能の要件としては、最大ロール角 20° の斜面において最大50 mmの凹凸のある路面を積載状態で走行することである。

4.3.2. 達成技術

姿勢安定化のために、車体を車台と荷台の二つの構造として、重心バランスを維持するように左右に揺動駆動する。荷台のロール角を荷台に固定した傾斜センサにより検出し、ロール角が 0° つまり水平となるようにフィードバック制御を行う。

揺動駆動機構において、左右の重心バランスと走行安定性を維持するために、回転中心を路面に近づける必要がある。Fig. 14で示すように回転中心位置が高い場合、(1)揺動駆動をしても荷台側の重心位置が大きく変動しないので、Zero Moment Point (ZMP) がトレッド外に出やすく機能として成立しない。ZMPとは、路面上のその点回りの運動によって発生する慣性力と重力の合力モーメントの水平成分が0となる点である。(2) ZMPがトレッド内であっても左右のグリップ力に差が生じるので直進性が劣化する。(3) 回転軸が左右に揺れることにより、荷崩れが生じやすくなる。という影響が発生しやすくなる。

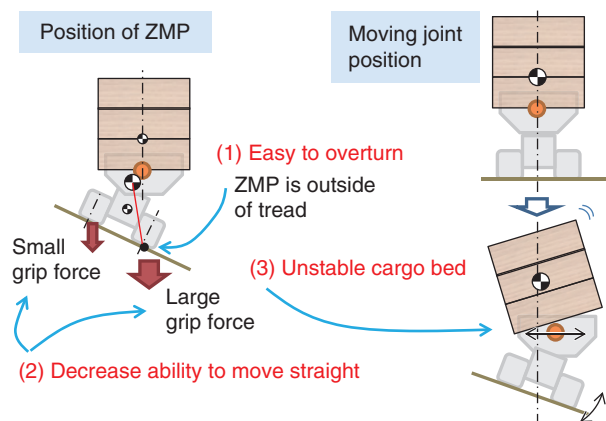


Fig. 14 Harmful effect of high position of joint

そこで、Fig. 15 のように回転中心が低くなるように円弧型のレールと多節リンクを適用して設計した結果、揺動軸の仮想的な回転中心の地面からの高さは 90 mm となった。

4.3.3. 検証結果

本手法により、50 mm の凸部を配置したロール角度 20° の路面において、1.5 km/h での走行が可能となった。Fig. 16 に 20° 斜面において山側のクローラが 50 mm の凸部を乗り越えて走行している状態を示す。

姿勢安定性について ZMP を用いて評価を行う。走行時の ZMP のトレッドに対する比率のモデルを Fig. 17 に示す。実験機のトレッド長を左右のクローラの中心間距離 420 mm と定め、ZMP が片側のクローラ中心位置に存在する場合、ZMP の位置比率である y_{ZMP} は 1 となる。横転

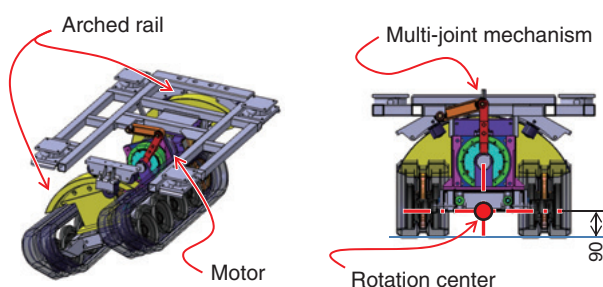


Fig. 15 Swinging mechanism with arched rails



Fig. 16 Traveling on slope using overturn suppression

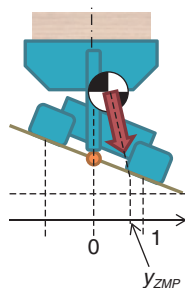


Fig. 17 Ratio of ZMP on tread

抑制機能がある実機による走行データと、横転抑制機能が無い場合を仮定して実機パラメータを用いたシミュレーション結果を Fig. 18 に示す。横転抑制機能がある場合は、ZMP は常にトレッド範囲内であり、十分安定していると言える。横転抑制機能が無い場合は、ZMP はトレッド外に変動するので転倒する可能性がある。

4.4. 積降補助

積み降ろし対象の材は調査の結果重量ベースで 80% が 35 kg 以下の材であることから、最大重量を 35 kg とする。材の長さは調査より 70 cm とする。なお、35 kg を越える重量の材については 35 kg 以下になるように短く玉切りするものとする。作業する路面傾斜の要件を最大 20° とする。

4.4.1. 機能要件

本機能は容易に操作できることを目指すことから、積み降ろし時間を要件とする。

ワークショップでの調査の結果、積み込みまたは荷降ろしに要する時間は平均 13 秒/本であった。負担を軽減し、かつ大幅に作業効率を落とさない目標を踏まえ、許容できる積み降ろし時間として 20 秒/本を要件とする。なお後述するように、他の 2 機能により運搬作業において効率化できることから、本機能により多少効率が低下しても全体としては効率化を行うことができる。

4.4.2. 達成技術

小型クレーンによる積み降ろし作業は傾斜地で行うことから、ブームの駆動として旋回および上下の駆動が必要で、それぞれモータにより行う。ワイヤの巻取り巻き出しについてもモータにより駆動を行う。

操作者が持つグリップの上方にワイヤを支持するブームの先端が常に追従することで、安定保持した状態を維持することが出来る。ワイヤの傾斜情報を入力とし、ワイヤが常に鉛直になるようにブームの位置を制御し追従動作を行う。ここで、グリップ部の加速度や力を参照する方法では、ワイヤのねじれによるグリップのヨー周りの姿勢を把握することが困難であるので適切ではない。またブーム先端部

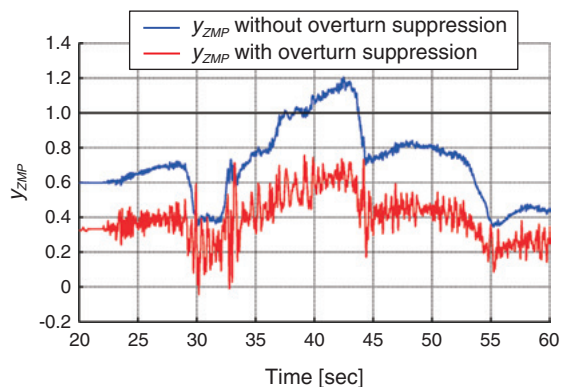


Fig. 18 ZMP on traveling on slope

に及ぼすワイヤの力を参照する方法では、傾斜地での利用時に、重力による力とユーザの操作力を分離できない。そこで、ワイヤと鉛直方向との相対角度2成分を追従制御の入力値とし、ピッチ軸の相対角度よりブームのピッチ軸目標角を算出し、ロール軸の相対角度よりブームのヨー軸目標角を算出し、フィードバック制御した。同時に、グリップの高さが一定となるように、ブームのピッチ駆動と連動してワイヤの巻き出し量を制御した。また、グリップ部に備えるボタンを押しているときのみ追従制御が作動するように構成し、意図しないブームの駆動を防いだ。追従駆動と独立したワイヤの巻取り、巻き出しである上下方向操作については、グリップに備えるコントローラによるものとした。

ワイヤの傾斜の検出機構を Fig. 19 に示す。2 自由度のワイヤの傾斜を検出でき、かつワイヤ張力による影響を無くするために常にワイヤがプーリの接線となるように設計した。また、ワイヤガイドや傾斜計の質量による振り子要素による自励振動を低減するために、各軸にウェイトを配置して、重心を回転軸付近に位置させた。

また、70 cm の材を吊上げることから、Fig. 20 および Fig. 21 に示すように、吊上げ可能なエリアを荷台周囲 400 mm とし、ブーム長を 2020 mm とした。

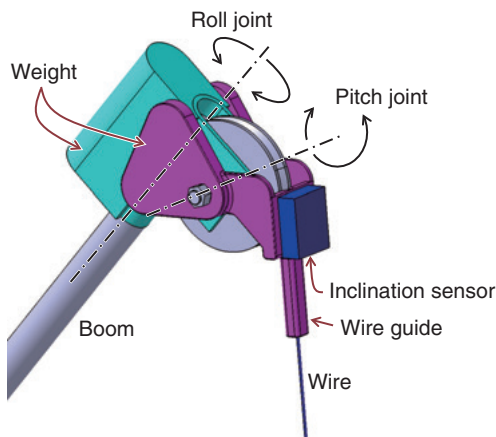


Fig. 19 Guide mechanism for sensing inclination of wire

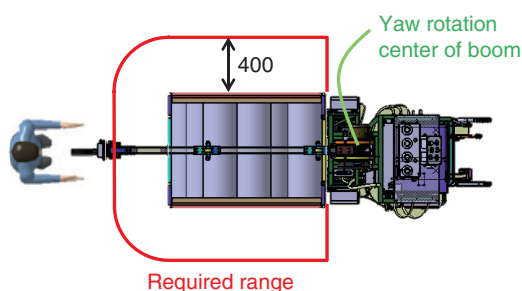


Fig. 20 Required range for picking up logs

4.4.3. 検証結果

本手法により、直接的な操作による材の積み降ろしを実現した。作業の状況を Fig. 22 に示す。

また、本機能の性能を把握するために、実現可能な最も短い積み降ろし時間を把握した。積み降ろしの規定動作を Fig. 23 のように定める。(a) 運搬機の周囲に4本の材を置いた状態から始め、(b) 材を荷台に積み込み、(c) 運搬機の脇に並べて配置する。この作業において、積み込みおよび荷降ろし時のそれぞれの材について、(1) 材までグリップを移動する (2) 材をクランプする (3) 目的の場所まで移動させる (4) 材のクランプを開放する、の四つのステップに分けて時間を計測する。本検証では、4名により各2回分の動作について計測を行う。

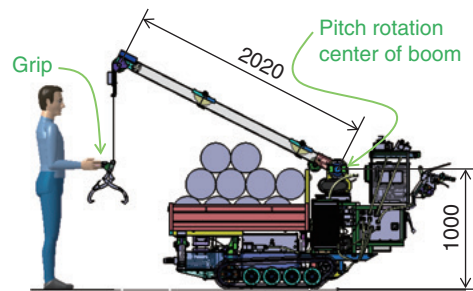


Fig. 21 Crane design of loading and unloading support



Fig. 22 Loading and unloading support

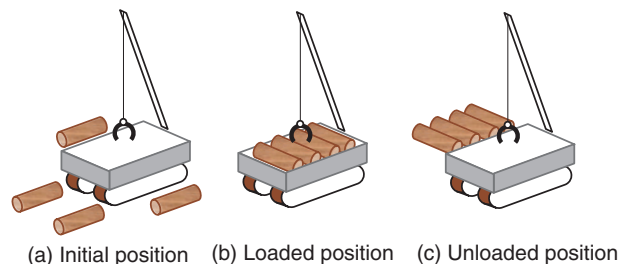


Fig. 23 Steps for measurement time of loading and unloading

各ステップについて最も短い積込み時間の和は17秒であり、同様に最も短い荷降ろし時間の和は17秒であった。これより、要件としていた20秒を達成した。

5. 効果の見込み

以上の機能および達成された要件により、集材作業の負担の低減が期待できる。

3機能による、集材時の作業開始から終了までの総作業時間、作業者と作業時間の積である工数について試算を行った。2人の作業者と1台の運搬機により、傾斜のある0.4 haの伐採地から片道300 mの作業道を2 km/hで走行し土場まで繰り返し運搬する想定で試算を行った。ワークショップの調査より各作業時間や運搬量を設定し、積降補助の効率低下分を加味して試算した。3機能を搭載した運搬機は、従来の運搬機を用いる場合と比べて、総作業時間は44%、総工数は51%の削減が見込まれる。

また、運搬機の作業道の総走行距離は従来手法の場合303 kmである。無人搬送により、その分歩行が不要になるので身体負担低減のメリットは大きい。積降補助においても、作業時間を大きく増加することなく、積み降ろし作業時の身体負担が軽減できる。

6. まとめ

里山保全のために、ハローウッズを事例として集材時の負担軽減が見込める無人搬送、横転抑制、積降補助の3機能を提案した。製作した実験機により、ハローウッズの事例に基づく要件を満たすことを確認した。以下に、各機能について、手法の概要と達成した主な内容を示す。

(1) 無人搬送

電磁誘導においては、不整地に対応できるクロスセンサモジュールを実装した運搬機と路面の誘導線により、自動走行と停止を実現した。

視覚誘導においては、ステレオ差分カメラを実装したシステムと走路周辺のマークにより、ティーチングプレイバックによる走行を実現した。

(2) 横転抑制

効果的に姿勢安定化するために円弧型のレールを用い、荷台の傾斜を制御する姿勢安定機構を実現した。

(3) 積降補助

容易なクレーン操作のために、ワイヤの傾斜を検知する機構と常に鉛直とする駆動制御システムを構築した。

なお本研究では、造成したテストコースにおいて各機能についての基本的な性能を把握した。実際の集材現場は複雑な環境であり、様々な課題が予想される。各機能の構成や要件が適切かどうかについて実際の現場において検証する必要がある。

謝辞

本研究にあたり、里山やその保全作業についてご助言頂いた東京農工大学地域環境科学部、宮林茂幸教授と、京都学園大学バイオ環境学部、中川重年教授に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 青山千秋: 太陽光下で利用可能な投影式2眼立体視システムの研究, Honda R&D Technical Review, Vol. 25, No. 1, p. 128-135

■ 著 者 ■



竹村 佳也



山岡 洋斗



松下 右京



川上 智弘