

傾斜地や不整地での荷台水平化を実現する 遠隔操作型運搬ビークルの開発

Development of Transporter with Remote-control for Realizing Platform Leveling on Uneven Terrain

2151026



研究代表者

山梨大学大学院 総合研究部

准教授

野田 善之

[研究の目的]

農地や建設現場において、作物や資材の運搬作業は欠かせない。しかしながら、農地における畝間や果樹の間、建設現場における建築物の近傍のようにトラックの乗り入れが困難な場所が多く存在し、そこでの運搬作業は、台車などを用いた人力運搬が主に行われている。この人力運搬では、車体中心旋回が可能で狭い環境での取り扱いが容易な一輪台車が主に用いられている。しかし、荷台が水平になるようにバランスを取りながら運搬するため、運搬労力のみならず、荷台姿勢を水平化するための気配りも必要となる。特に、不整地での一輪台車は高齢者や女性には取り扱いが困難である。そこで、狭い環境での移動や方向転換が可能で、かつ操作が容易であり、不整地や傾斜地での荷台水平化を可能にする運搬ビークルの開発が望まれている。

著者らは上記の課題に対して、図1に示す低



図1 低重心型平行二輪運搬ビークル

重心型平行二輪運搬ビークルを開発している。この運搬ビークルは車体重心が車軸よりも低位置にあることから、安定な振り構造を有する平行二輪ビークルである。したがって、制御系や駆動系が故障しても転倒しない安全な平行二輪ビークルを実現している。そして、車体にはアクティブマスシステムを内蔵し、加減速時に生じる車体のピッチ方向揺動を抑制している。また、車体のロール方向の傾斜や揺動にはフレキシブルラック&ピニオンによる荷台ロール方向姿勢制御機構を開発し、荷台のロール方向姿勢水平化を実現している。このビークルの操作は、力覚センサを基台とした操作ハンドルに操作力を与えることで、操作力を増幅した車輪駆動力を発生させるパワーアシスト操作である。これらのシステム統合により、不整地や傾斜地でも荷台を水平にし、安全に、かつ自在に荷物運搬が可能となる運搬ビークルを実現している。

本研究ではパワーアシスト操作機能に加えて、広範囲での運搬作業を効率化するために、遠隔操作機能を導入した低重心型平行二輪運搬ビークルを開発する。遠距離移動では遠隔操作を行い、近距離ではパワーアシスト操作を行うことで、効率的な運搬作業が実現できる。

[研究の内容, 成果]

1. 低重心型平行二輪運搬ビークルの概要

本研究で開発している低重心型平行二輪運搬

ビークルの概要を図2に示す。この運搬ビークルは全長0.80 m、全幅0.85 m、全高0.73 mで車体質量は50 kgである。大径車輪を用いることで車軸下の空間を確保し、車体重心位置を車軸よりも低くすることを可能にし、かつ高い走破性を実現している。ここで、運搬ビークルの主要要素技術を次に示す。

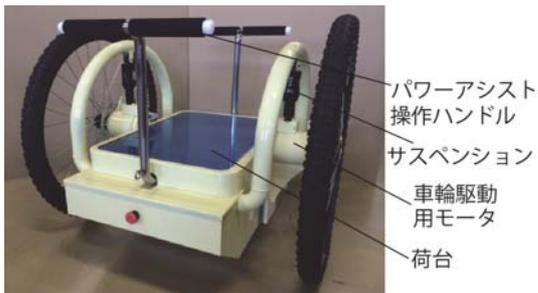


図2 低重心型平行二輪運搬ビークル外観

1.1 パワーアシスト操作

重量物を搭載したビークルを自在に扱うことを目的に、パワーアシスト操作システムを開発している。本研究では力覚センサを車体中央に配置することで、一つの力覚センサでビークル前後に設置された操作ハンドルに与えられる操作力を検出し、その操作力に応じた車輪駆動力をモータが生成する。ビークル前後に操作ハンドルを設置することで、狭い畝間でもビークルを旋回させることなく、パワーアシスト操作を可能にしている。

1.2 アクティブマスシステムによる車体ピッチ方向の荷台水平化

低重心型平行二輪ビークルは、運搬物を含めた車体重心を車軸よりも低位置に配置することで、構造的な安定姿勢を実現している。しかしながら、振り構造のため、ビークル加減速時に車体がピッチ方向に揺れてしまう。そこで、図3に示すように車体内部のウエイトを前後方向に搬送制御することで、車体揺動を抑制するアクティブマスシステムを開発している。

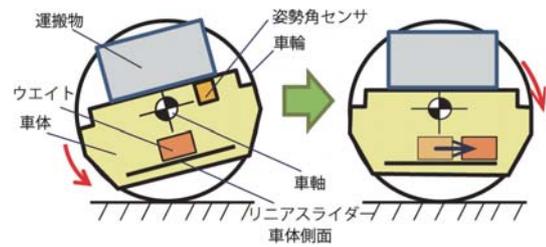


図3 アクティブマスシステム

1.3 荷台ロール姿勢制御機構による荷台ロール方向の荷台水平化

傾斜面を横行する際には荷台をロール方向に対して水平に保つことが求められる。そこで、図4に示す荷台ロール方向姿勢制御機構を開発している。姿勢角センサによって、荷台角度を検出し、曲線ラック&ピニオンとモータで荷台のロール方向姿勢制御を可能にしている。

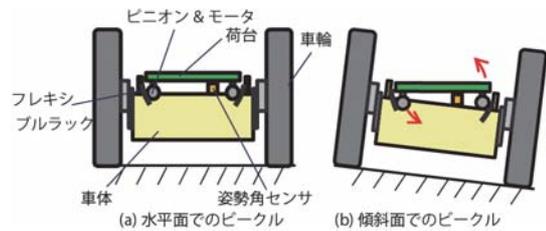


図4 荷台ロール方向姿勢制御機構

2. 障害物衝突回避を可能にする力覚提示ジョイスティックを用いた操作支援システム

運搬ビークルの遠隔操作において、誤操作により障害物へ衝突する危険性がある。そこで、安全な遠隔操作を実現する目的で、力覚提示ジョイスティックを用いた障害物衝突回避を可能にする操作支援システムを開発する。開発システムは、図5に示すようにビークル車体前方に設置されたレーザ測域センサで周囲環境を計測し、生成された環境マップを基にビークルと障害物の最短距離を算出し、最短距離に基づいて力覚提示ジョイスティックにより反力提示を行う。障害物との距離が近づくと、ジョイスティック反力が増大し、ジョイスティック操作が動的に制限される。以降では、開発され

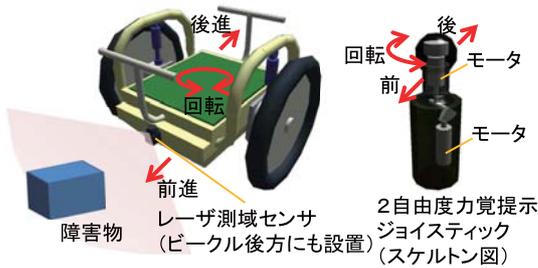


図5 運搬ビークル遠隔操作の概要

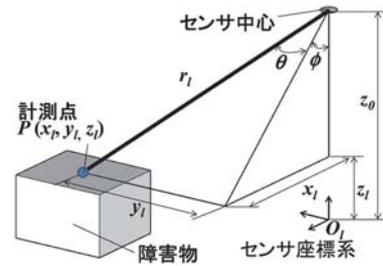


図6 レーザ測域センサ設置環境

た操作支援システムを構成する環境認識システムと反力提示制御システムの詳細を示す。

2.1 環境認識システム

図5に示すレーザ測域センサによって周囲環境を計測する。レーザ測域センサを図6に示すように、斜め下方を照射するように設置する。これにより、センサより低位置の障害物の計測も可能になる。レーザ測域センサでは照射距離 r_i [m] とセンサ回転角 θ [rad] が計測され、センサ設置角度 φ [rad]、センサ設置高さ z_0 [m] からセンサ座標系における計測点が次式のように得られる。

$$x_i = r_i \sin \theta, \quad (1)$$

$$y_i = r_i \cos \theta \sin \varphi, \quad (2)$$

$$z_i = z_0 - r_i \cos \theta \cos \varphi \quad (3)$$

(1)~(3)式によって得られた計測点を基に環境マップを構築する。ここでは、全体座標系における運搬ビークルの位置 (x_0, y_0) 、運搬ビークル中心からセンサ中心までの距離 (x_c, y_c) を加えて、全体座標系における環境マップを生成する。環境マップには次式のグリッドマップ $M_g(i_x, i_y)$ を用いる。

$$i_x = [(x_0 + x_c + x_i) / \Delta x], \quad (4)$$

$$i_y = [(y_0 + y_c + y_i) / \Delta y], \quad (5)$$

$$M_g(i_x, i_y) = z_i \quad (6)$$

ここで、 Δx および Δy は x 軸、 y 軸それぞれのグリッドマップの分解能を示す。

上述に示される環境認識システムによって構築された環境マップの結果を図7に示す。また、

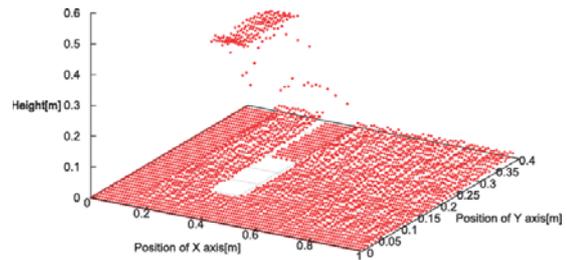


図7 環境マップ

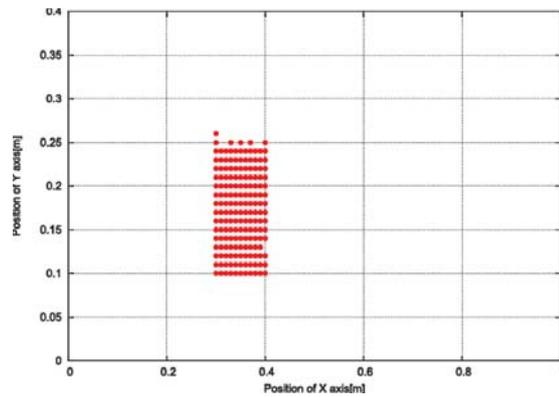


図8 2次元障害物マップ

環境マップから障害物の有無を判別する2次元障害物マップを構築した結果を図8に示す。2次元障害物マップは環境マップの要素である高さ情報を $z_i > \delta$ で1とし、それ以外は0として表現している。ここで、 δ は閾値を示す。この2次元障害物マップを用いて、運搬ビークルと障害物との距離を算出し、反力提示を行う。

2.2 反力提示制御システム

力覚提示ジョイスティックは図5に示すようにジョイスティック内部にモータが内蔵されており、モータのトルク制御によりジョイスティック操作端に反力を提示する。ジョイス

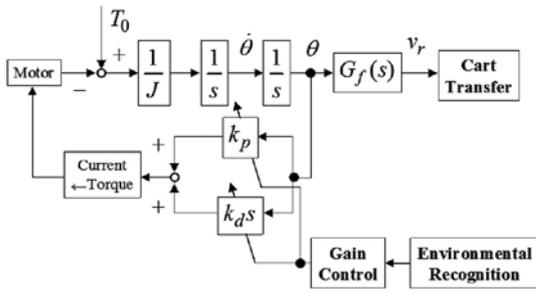


図9 反力提示制御システム

ティックは前後傾動および回転操作が可能である。各操作軸に図9に示すインピーダンス制御を構成する。図9に示すようにジョイスティック傾動角度 θ [rad] に対してPD制御を構成し、比例ゲイン k_p を増大させることでジョイスティックの復元力が増大し、反力が増大することとなる。微分ゲイン k_d は力覚提示ジョイスティックの振動現象を抑制するために、次式のように与えられる。

$$k_d = 2\zeta\sqrt{k_p J}, \quad (7)$$

ここで、 ζ は減衰比であり、本研究では振動現象を抑制し、良好な応答性を得るために、 $\zeta=0.7$ を与える。 J はジョイスティック可動部の慣性モーメントを示す。(7)式より、微分ゲイン k_d は比例ゲイン k_p に従属することがわかる。比例ゲインと障害物との距離の関係を図10に示す。図10からわかるように障害物に近づくにつれて、比例ゲインが増大する。これに伴い、ジョイスティック反力も増大する。

反力提示制御システムによるジョイスティック

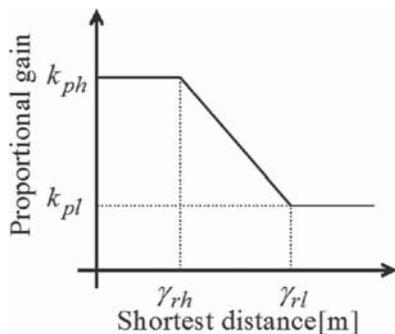


図10 障害物との距離と比例ゲインの関係

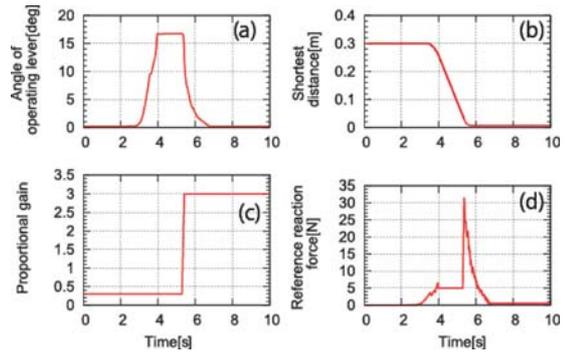


図11 反力提示制御システムの実験結果

動的な操作制限の実験結果を図11に示す。図11において、(a)はジョイスティック傾動角を示し、(b)は障害物までの最短距離、(c)は比例ゲイン、(d)は提示反力を示す。5秒付近で比例ゲインが増大し、提示反力も増大した結果、ジョイスティック操作が抑制され、ジョイスティックが直立状態へ戻されることで障害物に衝突する前にビークルが停止していることが確認できる。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、低重心型平行二輪運搬ビークルを安全に遠隔操作可能な操作支援システムを開発した。現状では、操作支援システムの環境認識システムおよび反力提示制御システムの各要素技術が実現しているが、運搬ビークル搭載の車載PCの性能が低いため、システム統合までには至っていない。今後は、本開発システムが実装可能な車載PCを搭載して、運搬ビークルの安全遠隔操作が可能な操作支援システムを実現する。

[成果の発表, 論文等]

[1] 野田善之, 佐郷幸法, 柿原清章, 傾斜面での荷台水平化を実現する低重心型平行二輪運搬ビークル, 日本ロボット学会学術講演会, 3K2-05, 2015年
 [2] 大阿久善仁, 野田善之, 荷台水平化を実現する平行二輪運搬ビークルの荷台ロール方向姿勢制御, 日本機械学会関東学生会第55回学生会卒業研究発表講演会, p.802, 2016年