

2023年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

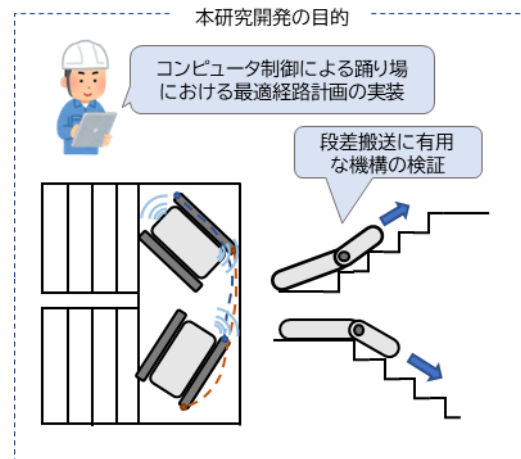
「階段クローラーの機能検証用縮尺モデルの開発」

[鳥取大学工学部・准教授] [竹森 史暁]

1. はじめに

未舗装道路や建設現場、災害現場などの不整地環境における搬送用台車として、クローラー車両が有用である。クローラーとは無限軌道のことで、起動輪、転輪、誘導輪を履帯で囲んだ走行機構である。クローラー車両は、左右独立した起動輪の制御により超信地旋回を含む任意の曲率の軌道を走行できる点や、履帯全面で接地することから不整地面における重量物の搬送に適した利点を有する。しかし、クローラー車両を階段環境のような連続段差が存在し、かつ移動空間が限定されている狭小空間において人の目視で運用する場合、ソフトランディングや切り返しなどの複数の操作が連続的に必要となりシームレスで効率的な走行は難しい。

そこで本研究開発では、実機クローラーをこのような階段環境や踊り場において運用する場合コンピュータ制御による自動走行化が効率的と考える。これを実現する前段階として、本研究開発では縮尺モデルを試作しそのモデルに対して、(a)階段環境において昇段降段に有用な機構の検証、(b)踊り場旋回に有効な計測制御のノウハウの構築に関して研究し、その知見を実機開発にフィードバックすることにより、実機開発の高効率化や実機車両の高知能化を目差す。



2. 概要

検証用モデルは実機の約 1/3 の縮尺とし、メインの走行用クローラーの他にサブクローラーを追加したマルチクローラー型とする。サブクローラーとメインクローラーは図1に示すように屈折する構造になっており直動モーター（RS-PRO, Max3000N@24V）の伸縮により屈折機能を実現する。この屈折機能により対地傾斜に応じたトラクション（＝駆動力）の確保や積載物の傾斜変動の抑制が期待できる。

直動モーターおよび左右のクローラー駆動はそれぞれ独立したモーターで制御する。電源はバッテリー24V とする。各モーターへの制御信号の演算プログラムはラズベリーパイ 4 および Arduino に実装する。本研究では、本モデルを用

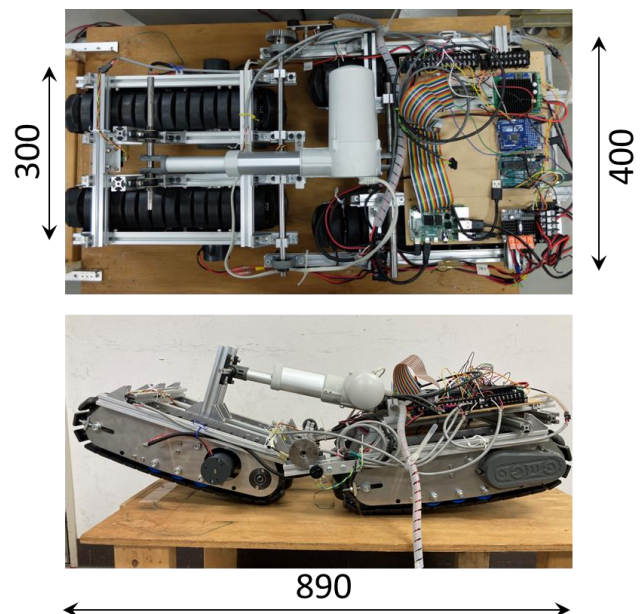


図1：縮尺モデル試作機

いて(a)階段昇降に効果的なサブクローラーの屈伸制御法、(b)狭小空間に有効な走行軌道計画法について取り組む。

3. 研究成果および今後の課題

(a) 階段環境において昇段降段に有用な機構の検証

図 1 に示す試作機のサイズを基に図 2 に示す階段を製作した。階段の勾配は実際の階段の蹴上げと踏面の寸法を基準に 40° とした。この階段に対して、まずクローラー台車が自律的に降段および昇段可能であることを検証した。次に降段開始時および昇段終了時の台車の加速的な倒れ込みを緩和するためのサブクローラーの制御則を実装した。このとき、図 4 に示す通り本機の複数箇所に距離センサ(シャープ GP2Y0A21YK0F)を取り付けサブクローラーの位置や状態をリアルタイムで計測することで、降段初期および昇段終了時の判定が可能となりサブクローラーの最適な屈折運動が自律的に実行できることを検証した。この機能の一部キャプチャを図 3 に示す。



図 2 : 傾斜角 40° 縮尺比 1/2.83 の階段

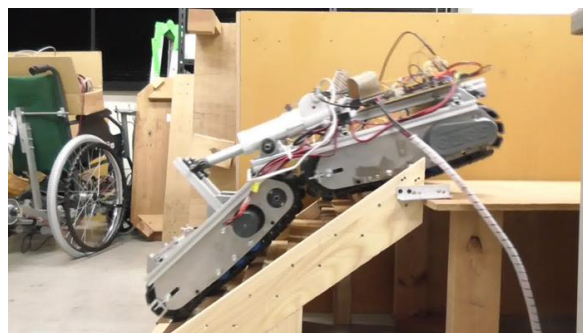


図 3 : 昇降機能検証の一部

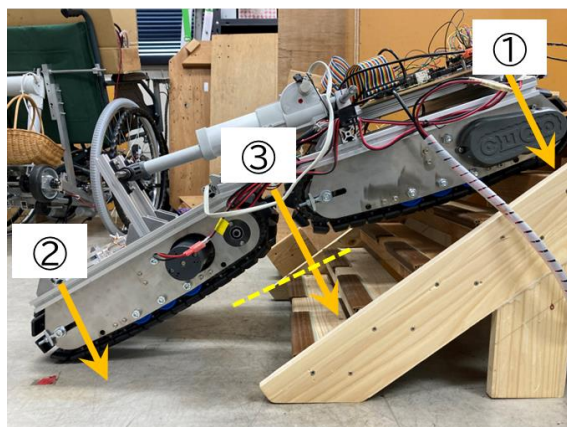


図 4 : 距離センサの配置



今回、降段開始時および昇段終了時の台車の加速的な倒れ込みの緩和については、画像による定性的な検証にとどめたが、今後の課題として加速度計を実装した定量的な評価が望ましい。

(b) 踊り場旋回に有効な計測制御のノウハウの構築

階段踊り場のような狭いエリアでクローラー車を運用する場合、旋回時に壁と接触する恐れがある。この課題に対して本研究では切り返し軌道計画法を実装しその解決を図った。提案する切り返し軌道計画

は、本機の初期座標を始点として本機が旋回可能な最終座標までの経路を切り返ししながら移動する手法である。この移動を実現するためには、踊り場における本機の自己位置を算出および踊り場全体の計測をする必要があるため、図5に示すように本機中央に測域センサを設置した。切り返し経路計画の概念図を図6に、シーケンスを以下に示す。

- ① クローラー車の踊り場における初期点を始点 **S** とし、**S** から車体端点が周囲の壁に接触することなく到達可能な最遠点を **M1** とおく。
- ② 旋回可能な最終到達点を **F** と設定し、**F** から逆走して車体端点が周囲の壁に接触することなく到達可能な最遠点を **M2** とおく。
- ③ **M1** と **M2** を繋ぐ。

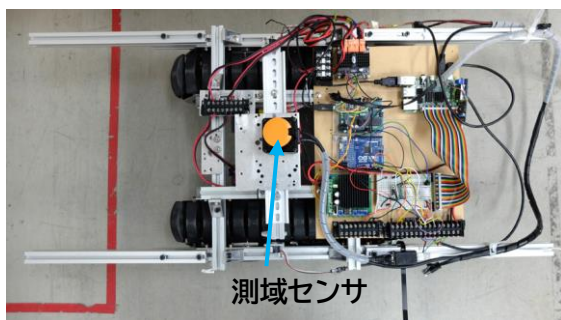


図5：検証機上の測域センサ

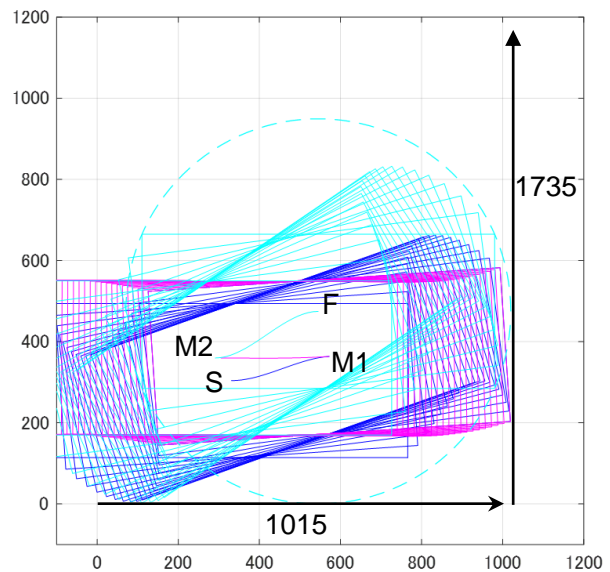


図6：切り返し軌道計画の例

以上のシーケンスは走行前にコンピュータ内で実行しておき、実機の走行の際は①→③→②の順で経路追従制御を組み込む。図7に切り返し経路計画の実行例を示す。この実験では踊り場の奥行き1900、幅3250と実環境の寸法を想定し、検証用クローラー車の寸法を基準にして縮尺0.52の踊り場を設定した。実験の結果、事前に計画した通り車体端点が周囲に接触することなく自律的に切り返し軌道を追従できることを確認した。

今後の課題として、本検証機では機構上エンコーダーの取り付け箇所に制約を受けたためオドメトリによる自己位置の精度が良好ではなかったことから、エンコーダーの取り付け位置の改善および SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) の組み込みによる自己位置推定が望まれる。また、駆動系の自由度を増やして全方位移動機能の開発も望まれる。全方位駆動系ではホロミックな移動が実現でき

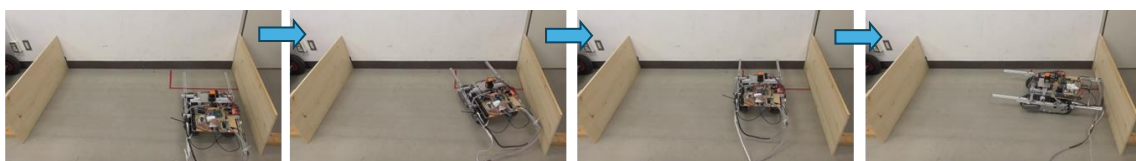


図7：実寸法（奥行き1900、幅3250）の踊り場を縮尺比0.52に換算した切り返し走行実験

ることから踊り場のような狭小空間の移動に有効である。

4. おわりに

本研究開発では、階段クローラーの機能検証用縮尺モデルの開発に取り組んだ。前半の課題として、階段昇降に効果的なサブクローラーの制御法について取り組んだ。具体的には階段の昇降移動に関して人の操縦の介入なしで自律的に走行可能なアルゴリズムを実装した。種々の実験の結果、降段開始時と昇段終了時の台車の加速度的な倒れ込みを緩和するサブクローラーの制御法を確認した。後半の課題として、台車が踊り場に到達した際の踊り場を移動するための経路計画法について取り組んだ。一般的に踊り場は台車端点とのマージンに余裕がない狭小空間であるため、繰り返し軌道の組み合わせが有効と考えた。具体的には車体に搭載した測域センサを用いて、踊り場における台車の初期座標と到達目標座標を算出しそれらを最適に繋ぐ繰り返し経路の計画法を実装した。実験の結果、台車の任意の初期座標から最終到達点まで自律的に移動できることを検証し、本提案する繰り返し経路計画法の有用性を確認した。

5. 本研究の今後の計画

本研究開発で得た知見を実機クローラー車の設計や操縦系の組込みに反映する予定である。

6. その他

(1) 出願特許(タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)

特になし。

(2) 投稿論文(タイトル・学会名等)

特になし。

(3) 本研究会の参加企業・団体名

株式会社タグチ工業

以上