

卒業論文要旨

全自動搬送装置「ユークリーター」における最適経路制御および新構造の提案

システム工学群

材料革新サステイナブルテクノロジー研究室 夏井 孝輔

1. 序論

近年、都市部への人口集中や高齢化の進行に伴い、人々の生活様式が多様化し、移動・輸送手段の重要性が高まっている。これにより、モビリティには効率性・柔軟性・安全性が求められ、電動化や自動運転、Mobility as a Service (MaaS) などの技術発展が進んでいる⁽¹⁾。また、我々は既に移動手段の利用に慣れている為、距離や時間、費用に応じて交通システムを使い分ける術を有している。図1に、移動・搬送手段の適用範囲を整理する為、距離と輸送コストの関係に基づく既存手段の活躍領域を示す。

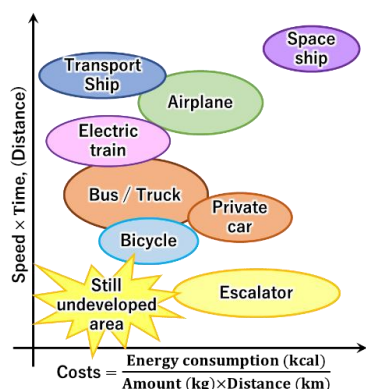


Fig. 1 Area of activity of transportation

しかしながら、低コストかつ高密度な環境に適した輸送手段は、十分であるとは言えない。特に、物流現場や都市再開発地域では、狭小空間での安全な移動が可能なモビリティが求められている。したがって、本研究室では高い自由度と安全性を兼ね備えた、新しい搬送システムの開発を目標とし、全自動搬送装置「ユークリーター」を提案する。

2. 先行研究

2-1 ユークリーターの基本構造

本研究室では、球体同士の点接地で回転動力を伝達し搬送を行う球体型ユークリーターを開発した。ユークリーターの基本構造は、上段、中段、下段の3段構造から成り立っている。その基本概念を記す構造の側面図および上面図を図2に示す。ユークリーターの下段にはモータおよび球体が配置されており、各モータの回転により小径球体が駆動される。小径球体は中段に配置された大径球体と点接触しており、この接触を介して回転動力が中段球体へと伝達される。さらに、下段に配置された3つのモータを個別に制御することで、中段の大径球体に対して任意の回転方向を与えることが可能である。中段球体の回転は上段の小径球体へと伝達される為、上段に配置された小径球体を任意の方向へ回転させることができる。この原理に基づき、ユニット上部に置かれた搬送

物を運搬する構造体が設計された⁽²⁾⁽³⁾。現在は構造の最適化によって、2つのモータを方向回転と搬送動力として中段に設置して構成されている。

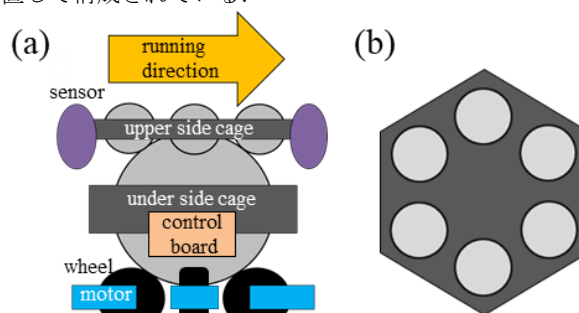


Fig. 2 Basic structure of the thr device
(a)Side view (b)Top view

2-2 ユニットの通信

本装置の通信方法は、PC から変換器までがノイズやクロックずれに強いシリアル通信を用いて、変換器からユニット間の通信を拡張性と信頼性に優れた CAN (Controller Area Network) 通信が採用された⁽⁴⁾。CAN 通信は、複数ノードを共通バスに接続することでネットワークを構成でき、配線が簡素で保守性に優れる。本装置では、ノードの追加・交換が容易なライン型トポロジを採用し、耐ノイズ性と信頼性の向上を図った。CAN 通信の接続形態を図3に示す。

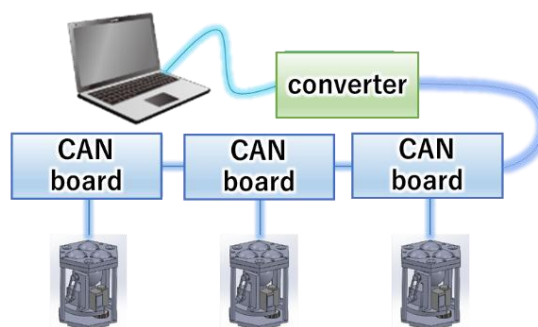


Fig. 3 CAN communication connection image

3. 研究目的

本研究では、高い機動性と安全性を両立する全方向搬送装置「ユークリーター」におけるプログラムと構造の改良を目的とする。プログラム面では従来の搬送システムでは対応が困難であった複雑環境において、障害物回避や経路最適化を含む移動制御を導入することで、効率のかつ柔軟な移動を可能にすることを目指す。構造面からは、現行モデルにおける課題点を整理・分析し、それらを解決する為の改良設計モデルを提案・構築することを本研究の目的とする。

4. 最適経路制御プログラムの作成

従来のプログラムでは現在位置と目標位置を直線的に結び、その経路に沿って移動するというものだった。しかし、この方式では、直線経路上に壁や荷物が存在すると衝突の可能性が考えられる。したがって本研究では、A*探索アルゴリズム⁽⁵⁾を軸に障害物回避と最短経路を算出するプログラムを作成した。また、C-space⁽⁶⁾やスムージング処理を用いることで、搬送物が障害物に衝突しない柔軟な経路を算出することが可能である。作成した最適経路制御のユーザーインターフェースを図4に示す。

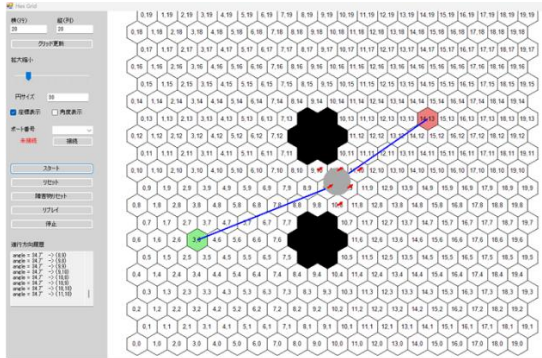


Fig. 4 User Interface for the best route searching program

5. 通信動作実験

作成したソフトウェアとユニット間で通信実験を行った。ソフトウェア上の搬送物がユニット上を通過するタイミングで、移動角度および対応する座標を中継器に送信した。その結果、通信自体は正常に行われたものの、実機搬送においては不安定な挙動が確認された。これは、ソフトウェアが理想的な動作を前提としているのに対し、実機では保持器による不安定性から搬送角度の誤差が生じる為である。今後はセンサの情報を組み込み、ソフトウェアと実機動作の高精度な同期を図る予定である。図5に通信実験の様子を示す。

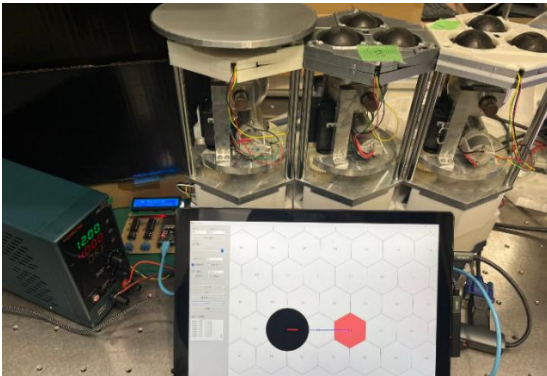


Fig. 5 Data communication experiment

6. 装置構造の改良

従来のモデルには安定性の観点から課題があり、主に2点の変更を行い、安定性の向上を図った。

1つ目は、球体保持機構である。従来モデルでは断面形状が矩形であった為、搬送物の重心位置に依存して沈み込みが生じ、安定性に課題があった。本モデルでは球体形状に加工することで、小径球の脱落を防止した。さらに2段構造だった従来モデルの下段を2分割し、本モデルでは3段構造に変更した。変更した2段目と3段目の間に、円環状に穴加工を施すことでベアリング機構を簡易的に再現し、搬送時の回転を滑らかにするとともに、安定した搬送を実現した。球体保持機構の断面図の比較を図6に示す。

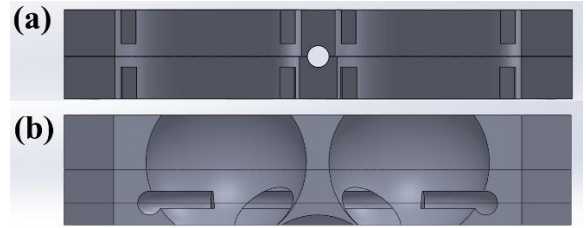


Fig. 6 Cross-sectional view of the sphere holding mechanism (a)Previous model (b)Current model

2つ目は、テーブル回転方法の変更である。従来モデルでは、サーボモータの回転を、ギアを介して軸へ伝達していたおり、伝達効率の低下が課題であった。本モデルでは、サーボモータの回転を軸へ直接伝達する方式を採用した。これにより、回転機構に必要な部品点数を6点から1点へ削減し、高効率かつ簡素な構造を実現した。また、ボールローラをテーブルと下板の間に3つ設置することによって支える点を軸の1点から4点にし、軸足まわりを強化した。図7にテーブル回転方法の比較を示す。

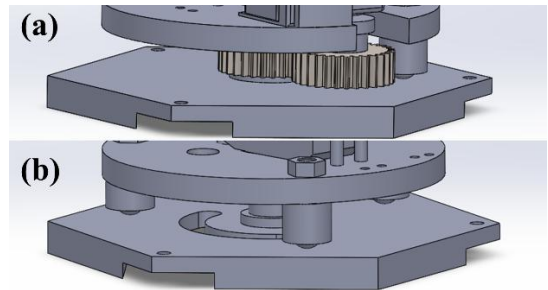


Fig. 7 Comparison of Table Rotation Methods (a)Previous model (b)Current model

7. 結論

本研究では、全方向搬送装置「ユークリーター」を対象に、最適経路制御プログラムの作成および装置構造の改良を行った。プログラムではA*探索アルゴリズムを用いた最適経路制御ソフトウェアを開発し、実機との通信が可能であることを確認した。一方で、実機搬送においては不安定な挙動が確認されており、ソフトウェアと実機動作の同期精度向上が今後の課題である。将来的には、センサ情報を活用した制御精度の向上と、複数搬送物の同時制御への拡張を検討する。構造面では、保持器および構成部品の見直しにより、構造の簡素化と信頼性向上を達成した。今後は応力解析を通じて、長期使用に耐える構造設計を確立する予定である。

文献

- (1) 国土交通省 “日本版 MaaS の推進” (参照日 2026-01-08) <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/japanmaas/promotion/index.html>
- (2) 藤川涼平: 「球体伝達機構と全方向移動装置を用いた次世代移動手段の開発」高知工科大学大学院 修士論文 (2017)
- (3) 竹中克昭: 「次世代型全方向輸送機構の開発」高知工科大学大学院 修士論文 (2019)
- (4) 鈴鹿紅音: 「全方向移動システムの為の回路設計と制御・通信手段の開発」高知工科大学大学院 修士論文 (2020)
- (5) Peter E. Hart; Nils J. Nilsson; Bertram Raphael. “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimal Cost Paths”. (1968)
- (6) Tomás Lozano-Pérez “Spatial Planning: A Configuration Space Approach” (1983)