

全方向搬送装置ユークリーターの自律制御システムの開発

Development of autonomous control system for omnidirectional transport device Euclitor.

知能機械工学コース

材料革新サステナブルテクノロジー研究室 1265011 澤田 陸斗

1. 研究背景

徒歩圏内での搬送用機械ツールは一部存在するが、多くの場合は搬送環境に合わせたオーダーメイドであり、環境の変化に合わせて柔軟な対応を行うことが難しい。そこで、機械自身による自動制御により、全方向に搬送可能かつ環境に合わせた柔軟な対応を行える、徒歩圏内という比較的狭い範囲に利用できる搬送支援ツール「ユークリーター」を提案した。

ユークリーターとは、床面に敷き詰めることで全方向に搬送を可能とする小型の装置である。装置の設置する位置・数によって、搬送可能範囲の細かな調整が可能であり、装置を必要数・必要時間のみ作動させることで、消費エネルギーの最小化が図れる。また、搬送方向の自由度の高さと、搬送物の搬送軌道の予想のしやすさによる事故の発生予防の高さを持ち合わせている。モノを搬送することと、モノを置いておくための保管場所の両方の役割を果たすことができるため、倉庫などの保管施設において全く新しい利用法が期待される。

2. 先行研究

2-1 機械構造

現在ユークリーターには2種類の構造型が存在し、各最新機の写真を図1に示す⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。



Fig. 1 Spherical euclitor and Belt type euclitor

点接地での動力伝達により、高い搬送方向の自由度を持つ「球体型ユークリーター」は現在4号機まで開発が進み、単位面積当たりの推定搬送可能重量は約330kgである。歯車とタイミングベルトの仕様により、球体型より動力伝達率を向上させた「ベルト型ユークリーター」も4号機まで開発が進み、単位面積当たりの推定搬送可能重量は約970kgである。

2-2 通信制御

ユークリーターは数百～数万台のユニット群の同時制御によりシステムの運用を想定している。各ユニット間の通信方法には耐ノイズ性に優れたバス型トポロジーであるCAN(Controller Area Network)通信を採用した。PCをコントローラーとした制御を行うため、シリアル通信を使用してUSBポートから接続し、CAN通信用プロトコルに変換する変換機を作製した⁽⁴⁾。通信形態のイメージを図2に示す。

2-3 システムプログラム

コントローラーとしてPythonを使った操作用プログラムを作成した⁽⁵⁾。ユニット群をウィンドウに表示し、マウスクリックにより搬送目的地点を決定する。マウスカーソルの位置を搬送物の現在位置として位置情報を取得し、ユニットの内外判定により現在位置に対応したユニットのみを目的地に向け搬送するよう作動させる。操作画面を図3に示す。

ユークリーターの構造上、敷き詰める際に正六角形を隙間なく埋めるような配置になるため、ユニットのアドレスは60度の斜交座標系を用いて決定している。

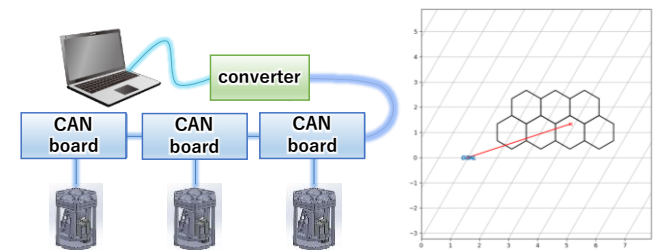


Fig. 2 Communication system

Fig. 3 Control panel

3. 研究目的

本研究の目的は、これまで装置単体として開発が進められていたユークリーターを、複数で一つの装置として連携させ、機械自身による制御処理によって目的地へ搬送を行う自律システムの構築である。また、ユニット群として使用する際に発生する課題に対し、システムの変更による解決や性能の付与により付加価値を高める。

4. 太陽光発電システムの開発

球体型ユークリーターには搬送に使用しない空きスペースが存在するため、その空間に太陽光パネルの搭載することで電力自給を提案した⁽⁶⁾。太陽光発電による不安定な電力供給から、鉛蓄電池の蓄電状況を考慮し、過剰な負荷を与えずに充電を行えるよう電力を安定化させる電力コントローラーを作製した(図4)。動作実験の結果を図5に示す。理想的な充電電圧・電流への電力制御を行えていることが分かる。

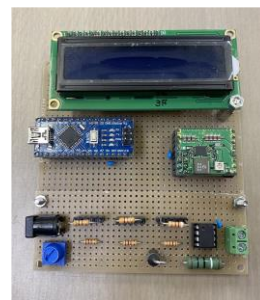


Fig. 4 Power controller

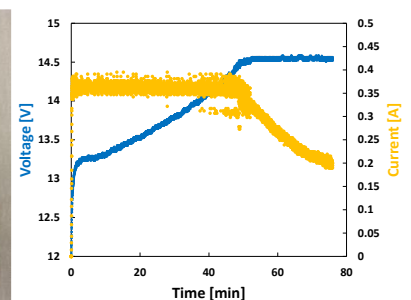


Fig. 5 Test result

一般に太陽光パネルによる発電電力は出力電圧により左右されるため、充電電圧に合わせて電圧を昇降圧させると電流は大きく変動する。本システム開発において、その改善案としてスーパーキャパシタを組み込み、平滑化された電力を鉛蓄電池充電用に昇降圧させることで、さらなる充電の安定化と一時的な日陰による発電電力不足の対応を行った。

5. 通信制御システムの開発

CAN 通信は通常、バスと呼ばれる 1 本の通信線にノードをつないで通信を行うが、ユークリーターは数百～数万単位での使用を考えているため、電圧降下により十分な通信を行うことができない。そのため、バス数を増やすことで数百台の同時通信にも耐えうる通信システムの構築を行った。改良後の通信システムのイメージを図 6 に示す。

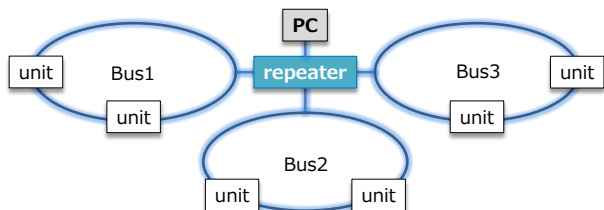


Fig. 6 Improved communication system

変換機を改良するにあたり、制御用のマイコンと CAN 通信を行うための CAN コントローラーを SPI 通信によって繋ぐため、1 バス増やすのに 2 本の信号線を要する。そのため、従来使用していた Arduino NANO では接続可能なピン数が少なく、最大 8 バスの CAN バスの接続が可能な ESP32 へ変更を行った。その際、マイコンの出力電圧が 5 V から 3.3 V に変わるため、CAN トランシーバーを MCP2561 から MCP2562 へ変更。ユニットのアドレス情報にバスナンバーの情報も付与し、使用バスを切り替えて通信を行うスイッチング機能をつけた。現在、3 バスに対応する中継器が完成した。

6. 自動搬送システム

6-1 入力装置

外部刺激の入力装置として、赤外 LED から障害物により反射した赤外光によって抵抗値が変化するフォトトランジスタの負荷電圧で物体検出を行うフォトリフレクタを利用する。そのデータを基に搬送対象物の位置・大きさの把握を行う。

1 ユニットにつき 2 個センサを設置する。敷き詰めたときのユニットとセンサの位置関係のイメージを図 7 に示す。

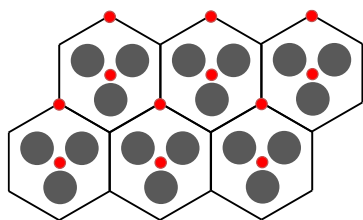


Fig. 7 Sensor positioning

中心部の他に角部にセンサを設置することで、角部に設置されたセンサは隣接する 2 つユニットとの境界になるため、敷き詰めた際に実質的に中心と 3 つの角にセンサが設置されることになる。

6-2 システム構造

各ユニットが取得した位置情報を PC に収集し、そのデータを基にルートを決定してユニットへ制御命令を送信する中央型制御でシステムを構築した。中央型制御ではすべての情報をまとめて管理ができ、全体を俯瞰しやすくシステムの構

築が容易になる。その反面、通信データ量が多く処理が複雑になりやすいため、外部入力に対する応答が遅れてしまう。

反応のある全てのセンサ座標の中心点を求め、そこから反応のあるすべてのセンサのうち最も速いセンサ座標までの距離を半径とした円を搬送対象物の範囲として扱う。予想搬送物範囲円にかかっているユニットと、反応している中心センサを搭載しているユニットを必要ユニットとして搬送動作を行わせる。センサの情報が変更されるたびに上記の処理を行い、逐次軌道を修正しながら目的地として設定されたユニットの上面にたどり着くまで動作を続ける。

6-3 搬送実験

ユニットを 6 台使用し、DC モーターの出力を 40% で搬送実験を行った。ユニットのアドレスは左下を 1-1、右上を 3-2 として設定し、搬送開始位置をユニット 2-2 として搬送対象物を乗せ、目的地をユニット 3-2 の真上に設定した。搬送物はユニットの対角の距離を直径とした円形のプレートを使用した。動作実験の様子を図 8 に示す。

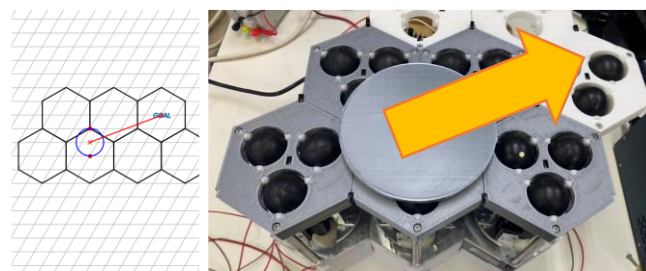


Fig. 8 Control panel and transport experiment

機構面の問題により目標搬送方向と実際の搬送方向がずれることがあるが、ずれた方向に搬送されたとしても、新しくセンサの情報が更新されれば軌道を修正し、目的地に向け搬送されることが確認された。ただし現段階においては応答の遅れにより搬送方向の修正・搬送停止の遅れが見られたため、システムとしての搬送速度の上限が応答速さによって決まってしまう可能性が見られた。また、搬送物が大きくなるほどセンサの処理情報が増えるので応答速さは遅くなると考えられ、対策を講じる必要がある。

7. 結論

ユークリーターをユニット群として見たときに発生する空間を利用した機能付与、および、通信制御課題の解決を行った。そして、複数ユークリーターを一つの装置としてとして連携させて、機械自身による制御処理によって目的地へ搬送を行う自律システムの原型が完成した。今後は複数搬送物に対応させ、導入の第一目標である倉庫などでの運用に向けて開発を進めていきたい。

文献

- (1) 狩野大輝：「球体を用いた敷詰型全方向搬送機構の開発」高知工科大学大学院 修士論文 2020
- (2) 石井和磨：「ベルトを用いた全方向搬送装置の開発」高知工科大学大学院 修士論文 2021
- (3) 高井友輝：「ベルトを用いた全方向搬送装置における張力調整機構の開発」高知工科大学大学院 修士論文 2023
- (4) 鈴鹿紅音：「全方向搬送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) 和仁原季也：「全方向搬送装置ユークリーターの制御システムの開発」高知工科大学大学院 修士論文 2022
- (6) 高井友輝：「全方向搬送機器における太陽電池を用いた電力の自給自足化」高知工科大学 卒業論文 2021