

# 環境変動に対応した移動システムの開発

	電子情報科	主任研究員	堀江貴雄
	電子情報科	科長	指方 顕
協和機電工業株式会社	研究開発部門	グループ長	酒井 寿美雄
協和機電工業株式会社	研究開発部門		上田 訓之
マックスコーポレーション株式会社	システム技術開発部	主 任	佐藤 徳人
マックスコーポレーション株式会社	システム技術開発部		小西 準哉
	株式会社九州テン	事業推進課	池田 廣一
	九州工業大学	名誉教授	安部 憲広
	九州工業大学情報工学部機械情報工学科	准教授	田中 和明

無人搬送技術は生産現場を中心に広く普及しているが、これらの多くはレールの敷設など大掛かりなインフラ整備を必要としている。これら従来型の搬送技術は大量生産を目的とする大規模工場で使われてきたが、県内の中小規模工場では多品種少量生産型の事業が多いことから生産ラインが頻繁に変更されるため、導入が困難であった。そこで本研究ではレール敷設など大掛かりなインフラ整備を必要とせず、各種センサを複合的に用いて、周辺の人間を高速に認識し、衝突を回避しつつ移動する自律移動システムを開発する。平成21年度は、障害物を回避しつつ所定座標まで移動する小型搬送車のハードウェア、制御プログラム、操作インタフェースを試作した。

## 1. 緒言

無人搬送車（AGV）は生産現場を中心として広く普及している。一般にレール軌道を敷設し、その上を走行させる方式、ガイド用のマグネットを床面に貼りつけ、センサで読み取り追従させる方式等が広く使われてきた。また適用される現場は主に大量生産を行う大規模工場であり、専用走行レーンの特定の経路を往復する、または周回することが基本であった。

一方、県内中小工場や倉庫などの現場は多品種少量生産が多く、頻繁に生産ラインレイアウトが変更される。またスペース上の制約から専用の走行レーンを設置することは困難である。

海外の開発例として、2004年から米国国防高等研究計画局（DARPA）による無人自動車レースが開催され、2007年には市街地を模擬したコースを、GPS、レーザーレンジファインダ、ステレオビデオカメラ等のセンサ情報をワークステーションでリアルタイム処理し、信号などの交通法規と他車両を自律回避しながら走行する移動ロボットが実現されている。日本国内においては、2007年から自律ロボットによる屋外走行競技であるつくばチャレンジが毎年開催されている。この競技ではロボットにGPS、レーザーレンジファインダ、カメラ等の各種センサを搭載し、観客を含めた周辺環

境に一切手を加えず自律移動させることを目標としており、実際の公園内道路を自律移動するなどの成果を挙げている<sup>[13]</sup>。

そこで本研究ではこれら近年注目されているロボット技術を導入した中小規模工場向け自律移動システムを開発する。工場内での車両位置センサとして、レーザー式ポジショニングセンサ、障害物検出用としてレーザーレンジファインダ、周辺作業者の個別認識にICタグを利用し、これらの情報を複合的に用いることで、目標地点又は作業員へ、途中の障害物を回避しつつ移動するシステムを開発する。

特に平成21年度は障害物を回避しつつ所定座標まで移動する小型搬送車のハードウェア、制御プログラム、操作インタフェースを試作したので報告する。

## 2. 自律移動型小型搬送台車

県内鑄造工場、鉄工所、酒造メーカー出荷倉庫を調査した結果、手押し台車に100kg以下の搬送物を載せ、移動させている実態があることが判明した。これらの搬送ルートは単純な往復運動ではなく、工程進捗によって様々であることがわかった。また載せる対象の大きさ、数が多様であることから自動化は困難で、載せ下ろしは作業員が行っている。このことから既存の

手押し台車と同一の寸法サイズで、一旦搬送物を載せれば、簡単なボタン操作のみで後は、経路中の障害物を自動回避しつつ目的地まで搬送することを目標とした。具体的には県内酒造メーカー出荷倉庫で使用されている手押し台車サイズを参考に試作した。

試作機外観を図1、2に示す。

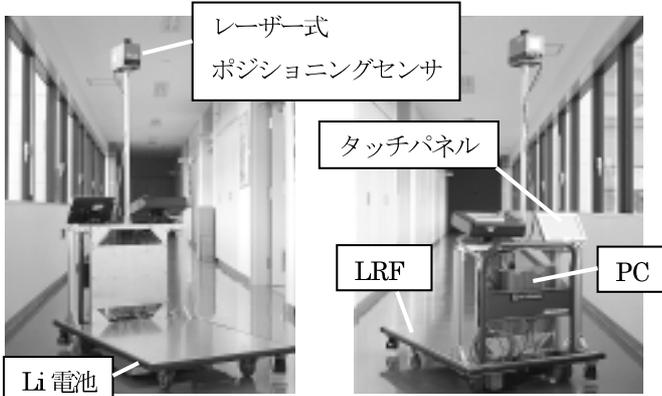


図1 試作機（前）

図2 試作機（後）

表1 試作機諸言

車両寸法	1250×850×1885
荷台寸法	1000×800×165
車体重量	50kg
積載重量	200kg
位置センサ	レーザー式ポジショニングセンサ
障害物検出	レーザーレンジファインダ
操作方式	タッチパネル
電源	リチウム電池
駆動方式	AC サーボモータ2軸

### 3. 絶対位置検出

レーザーレンジファインダセンサの水平方向の環境形状データを、画像データとしてあらかじめ記録しておき、計測したデータと照合することでセンサの位置、姿勢を計算する手法が提案されている<sup>[2]</sup>。環境に手を加えず位置測定することからインフラ整備を必要としないメリットがある。

本研究では画像変換を行わず、測定データ形式のまま照合計算を行うプログラムを試作し、30mm以下の測定精度、10Hzの更新周期をもつ位置検出プログラムを試作した。しかしながら、一般工場等では作業者が多数存在することで取得データが大幅に変化し、照合が困難になると考えられる。特徴点を設定し、そのデータのみを照合することが考えられるが、形状データのみで特徴点を決定することは実環境では普遍性が

低い。そこで本研究ではAGV用に市販されているレーザー式ポジショニングセンサを用いた。

このセンサは反射強度を特徴点の基準として扱うことでロバストな位置検出を実現しているセンサである。

上部にあるレーザー受発信部を回転させることで、360度半径30mにあるリフレクタを検出することができる。使用するリフレクタとしてはレーザー入射方向へ反射させることができる再帰反射性をもつリフレクタを使用する。

あらかじめ、壁や柱などにリフレクタを3枚以上貼りつけ、その貼付パターンを一度センサで検出し、センサ内ROMに書き込んでおく。このリフレクタ配置パターンをレイヤと呼び、センサ内に最大40レイヤ登録可能である。RS232Cで車両制御用コンピュータと接続し、位置検出用コマンドを送信するとその時点でのリフレクタパターンを検出し、内蔵DSPでレイヤパターンと照合することで、現在座標、角度を取得することが可能である。

表2 ポジショニングセンサコマンドの例

	フォーマット	例
車両PC センサ	レイヤ番号、X速度 (mm/sec)、Y速度 (mm/sec)、角速度 (deg/sec)	0, 200, 200, 30
センサ 車両PC	X座標(mm)、Y座 標(mm)、角度(deg)、 測定品質(0~100%)、 位置算出に使用され たリフレクタ数	4500, 1000, 60, 85, 6

このセンサは、リフレクタの検出状態、センサの急激な回転、移動が起きると、まれに検出エラーや、誤出力が発生する。そこで本システムでは前回正常測定時の座標を元に駆動輪回転速度を用いて予測座標を算出し、センサ出力が閾値を超えた場合、予測値で補間する処理を行っている。

### 4. 走行経路データ

移動システムをスタート地点からゴール地点まで走行させるため、経路を制御コンピュータに与える必要がある。本システムでは、レイヤ番号、絶対位置座標、姿勢角度、到達判定半径をメンバにもつデータ型を定義し、これをつなぎ合わせ経路パスを生成し、管理することとした。到達判定経路は目標パスへの誘導精度を示している。半径が大きければ走行軌跡はおおまか

に、半径が小さければより正確に目標経路を実現する。

車両と目標経路の距離に応じて速度を制御しており、すべての経路で判定半径を小さく設定していると、厳密な位置制御の為、走行速度が著しく低下する。よって、ゴール地点の判定半径は小さくし、途中の経路パスは大きく判定半径を設定することで、適度な走行軌跡精度を実現しつつ、目標座標への正確な誘導が可能となった。

## 5. 障害物回避

レーザーレンジファインダによって車両周囲360度半径およそ30m 高さ11cmの範囲にある障害物を検出可能である。障害物回避アルゴリズムの開発例として、大島が自律走行ロボットの技術大会である「つくばチャレンジ2007」で完走を果たした移動ロボットに実装したアルゴリズムを参考とした<sup>[1]</sup>。このアルゴリズムは車両正面を中心に想定する車両走行エリアを徐々に伸ばしながら左右に走査、エリア内に障害物がないか判定し、最も長手の走行エリアの方向を選択している。

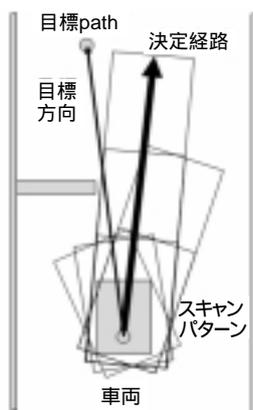


図3 障害物回避アルゴリズム

本システムではこのアルゴリズムをベースとして、まずレーザー式ポジショニングセンサで絶対座標を検出後、目標座標の方向と距離を算出し、目標方向を中心に $\pm 30$ 度の範囲、目標距離を7段階に分割し、干渉計算を行う(図3)。この段階で走行可能なエリアが見つからない場合は、探索範囲を $\pm 90$ 度まで広くし、再探索を実行する。最も長手かつ非干渉エリアの中央を選択方向とし、距離に応じて走行速度を決定する。干渉計算は方向転換時を考慮し、左右側面と後方も考慮している。計算結果をもとに左右モータの回転速度を決定し、モータドライバへ指令を出力する。なお目標経路パスの方向を目標値として左右車輪速度はPID制御によるフィードバックを行っており、路面特

性等による誤差を補正している。

## 6. 実験及び考察

県内酒造メーカー出荷倉庫において走行実験を行った(図4)。あらかじめ倉庫内全体に12枚のリフレクタを貼付し、3つのレイヤによってマッピングを実施した。



図4 酒造メーカー出荷倉庫での実験

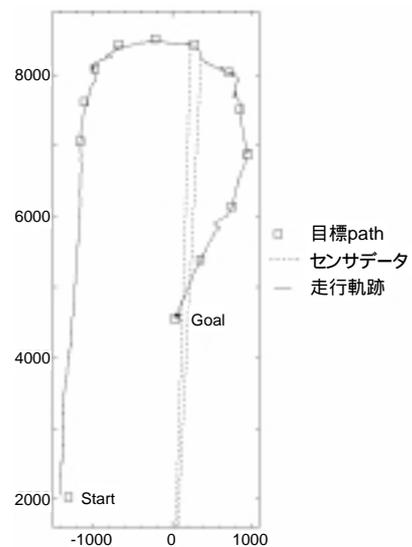


図5 カーブ走行

スタート地点からおよそ6m前進し、右旋回をおこなう経路をタッチパネルインタフェースを利用し、到達判定半径100mmの13点で設定し、走行した結果を図5に示す。細かく経由点を設定することで直線近似されたカーブ軌跡を実現可能なことを確認した。スタートから7番目から8番目の経由点間においてレーザー式ポジショニングセンサ出力が連続して得られなかったが、3.で述べた補間処理によって走行に支障になるような大きな誤作動とならなかった。

次にスタート地点からおよそ11m直進し、左に方向転換後2m前進し、再び左転換後10m前進し停止

する経路を設定し、障害物として幅 2 m、長さ 4 m のトラックと、同方向に移動中の手押し台車の 2 例について走行実験を実施した。なお、あらかじめシステムには障害物情報は与えていない。

トラック回避時の走行結果を図 6 に示す。走行開始直後からトラックを検出し、左に回避を行い、ほぼ通り過ぎた時点で所定の経路に合流できている。この例でも 3 番目の経路点付近でセンサデータが取得できていないが、補間処理によって支障なく方向転換が完了していることを確認した。

手押し台車の回避の結果を図 7 に示す。手押し台車が移動することで、走行可能エリアが変化していくが、うまく回避、追い抜き、所定経路に合流できていることがわかる。また最終ゴール地点での座標誤差はいずれの場合も 20mm 以下となった。

以上の結果から障害物回避を行いつつ、任意の座標に誘導可能なことを確認できた。

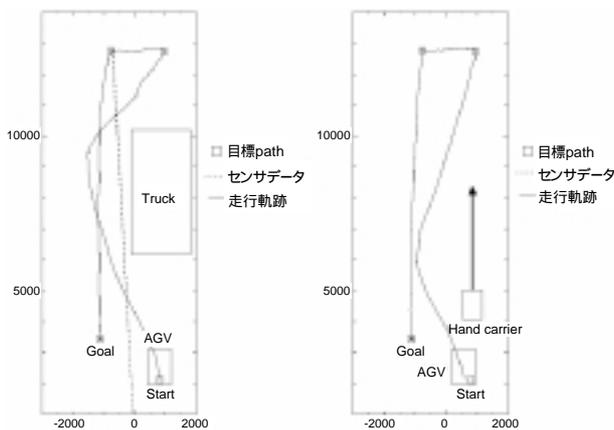


図 6 トラック回避

図 7 手押し台車回避

## 7. 結 言

大掛かりなインフラ整備を必要としない小型自律搬送台車の試作を行った。レーザー式ポジショニングセンサとレーザーレンジファインダを用いて、障害物を回避しつつ目的地点まで移動可能なことを実験によって確認した。

平成22年度は個別認識システムを試作し、周辺ユーザーを認識し、特定ユーザーへの自動誘導機能を追加する予定である。これらの機能は高機能搬送システムやサービスロボットシステムの基盤技術として今後県内企業と製品化を検討していく。

## 参考文献

1) 「つくばチャレンジ」オーガナイズセッションレポート～実環境のチャレンジから見てきたもの

<http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2008/01/17/859.html>

2) 栗田高裕, 安部憲広, 田中和明, “ テンプレートマッチングを用いた環境認識による移動ロボットの制御”, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2 N 18, 2007

3) 坪内孝司, Yoichi MORALES, Alexander CARBALLO, 原祥亮, 油谷篤志, 城吉宏泰, 廣澤敦, 鈴木祐輔, Mehrez KRISTOU, 山口智也, 澤田有希子, 森川直樹, “ つくばチャレンジ2008における筑波大学知能ロボット研究室「屋外組」の取組み”, 第9回 SICE システムインテグレーション部門講演会, 1 I 4 6, 2008