

ガイドレス無人搬送システムの開発

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 事業開発部電子技術プロジェクト グループ長 酒井 寿美雄

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行われてきたが、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。平成 24 年度に 1 次試作した①3D 認識&位置センサシステム、②自動積み下ろし機構、③非接触充電システムのうち、平成 25 年度は①、②について低コスト化および機能向上について追加開発を実施した。

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な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^{[1][2]}。

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。

平成 21 年度から平成 23 年度にかけ、著者らは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利用した移動システムを開発し、さらに実用化を図るため、県内酒造メーカー出荷倉庫や、事務所内での移動実験、県内外メーカーでのデモンストラーション及びニーズ聞き取り調査を実施してきた^[3]。事業化を推進するためさらなる低コスト化と付加機能の充実を目指し本研究では、①低価格 3D 認識位置センサシステム、②自動積み下ろし機構、③非接触充電システム、の 3 つの技術シーズを開発する。平成 25 年度は平成 24 年度の 1 次試作をベースとして、特に①、②について低コスト化および機能向上について追加開発を実施した。

2. レーザー位置センサシステム

平成 24 年度に試作したレーザー位置センサシステムを図 1、表 1 に示す。上下左右首振り可能な試作自動雲台の上に国産の低価格レーザーレンジファインダを搭載し、独自の位置検出プログラムを組み合わせることで位置センサシステムを実現している^[4]。

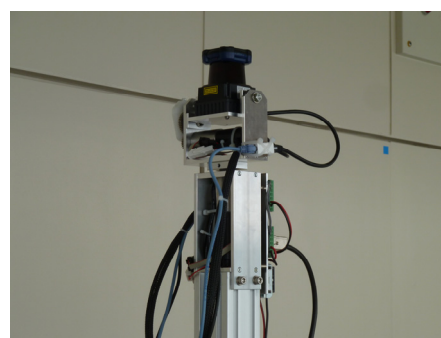


図 1 レーザー位置センサシステム

表1 レーザー位置センサシステム諸元

項目	スペック
寸法	100(L)×165(W)×320(H)
センサ検出角度	270度
水平首振り範囲	-180度~+180度
上下首振り範囲	-30度~+30度
データ更新頻度	40Hz
位置更新頻度	~8Hz(Core2Duo 2.0GHz 使用時)
センサ通信方式	TCP/IP
雲台通信方式	RS232C
プログラム言語	C#

今回、この自動雲台を省略しコスト低下を図りつつ、センサ後方 90 度の死角による情報量低下に起因する認識率の低下を補正するソフトウェアの追加開発を実施した。

2.1 SLAM 技術を用いたマップ生成

用いたレーザーレンジファインダは検出範囲が 270 度であるため、そのままでは後方の 90 度範囲のリフレクタを検出できず、360 度のデータによる地図を生成できない。そこで SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を用いたマップ生成機能の実装をおこなった。手順は以下のとおりである。

- ① まず、基準となる姿勢（任意座標、任意方角）において、リフレクタのスキャンを行い、その配置パターンを基準マップとして登録をおこなう。
- ② SLAM によるマップ拡張を実行する。基準マップのリフレクタパターンと今回検出したリフレクタパターンの照合をおこない、座標および方向を認識する。
- ③ 基準マップのリフレクタ以外に検出されたリフレクタがあった場合、新規リフレクタ候補として確度情報 1 として仮登録を行う。逆にマップに登録されているにもかかわらず、センサで検出できないリフレクタがあった場合、確度情報を・1 する。
- ④ 確度情報が閾値以上となった場合（例：確度情報 10 以上）、新たなリフレクタとしてマップに登録を行う。逆に確度情報が閾値以下になった場合、間違っただリフレクタ情報としてマップか

ら除去する。

- ⑤ ①にもどる。

上記の①～⑤の処理を繰り返すことにより、マップ生成と位置計測を同時に行うことが可能となり、360 度かつ大規模マップの生成が可能となった。

2.2 壁形状マッチング

強い西日、窓ガラス、金属製の壁材、反射強度の高いポスターなどが原因で、局所的にリフレクタが認識できない場所では、リフレクタによる認識にかかわって、壁形状によるマッチングを行う。

リフレクタ判別する際には、距離と反射強度の 2 つが必要であるが、壁形状取得では距離データのみでよいことから、比較的安定的な情報を取得することができる。リフレクタ位置認識が閾値以上の相関がとれたとき、その時の座標、姿勢および壁形状データを一時保存しておき、壁形状ベースで相対移動座標を計算することで位置認識を継続する。長時間の認識が続いた場合、直線廊下などの単調な特徴を有する環境では誤差が蓄積されるが、短時間であれば十分な追跡を実現可能である。

2.3 マップ切り替え機能

SLAM によるマップ生成は認識位置の大幅な失敗によって正確なマップ生成が継続できないことがある。その原因は、環境の特徴によって特定の座標ではリフレクタが極端に認識できないことなどが挙げられる。また、長距離のマップ生成では積算誤差によって徐々にマップがゆがむ等の不具合が発生する。本システムでは、どのような場所においても確実なマップ生成を可能とするために、一定の距離のマップを生成するごとに、マップを分割することによって、これらの不具合を解消することとした。マップ生成後の位置認識時には、使用する初期マップ番号を明示しておき、著しくマップマッチングの相関が取れない場合、その他のマップを総当たりでマッチングし、もっとも相関の高いマップを用いて位置認識を継続するアルゴリズムとした。

2.4 リフレクタ数による検出頻度変化

改良したレーザー式位置センサシステムの特性評価として、リフレクタ数と認識頻度の変化を調べた。事務所壁に設置するリフレクタを 4 個、6 個、9 個と変化させたマップをそれぞれ作成し、各マップを用い

て位置認識を実行させたとき、センサで認識できたリフレクタ数（参照リフレクタ）と認識頻度（Hz）について調べた。結果を図2に示す。

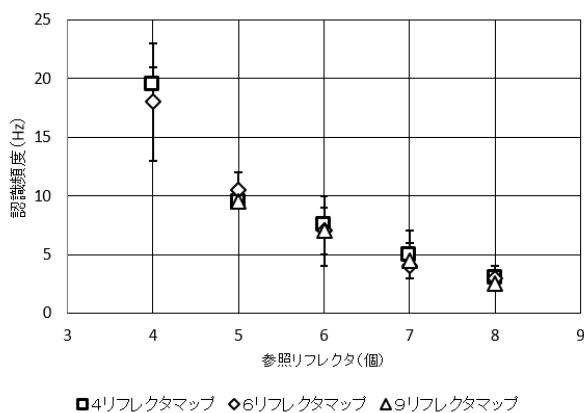


図2 参照リフレクタ数と認識頻度

本システムでは、参照リフレクタをベースに計算アルゴリズムが実装されている。また設定個数以上のリフレクタを検出した場合、前回座標と姿勢を基準として、センサ検出範囲を予測し、そのうち近いものから設定個数内のリフレクタを選択し、一時的なローカルマップを生成後、認識計算を実行している。

実験の結果から、本アルゴリズムがマップに登録されたリフレクタ数に関係なく、位置認識時に検出したリフレクタ数が多くなるにつれて、認識速度が低下し、少なければ高速になることが確認された。この結果から今回のハードウェア構成ではローカルマップリフレクタ最大数を10個に設定した。

3. 動作実験

開発したレーザー式位置センサシステムを用いた基本機能の確認を実施した。事務室から廊下へ出たのちふたたび事務室に入り、元の位置に戻る経路を設定する。

3.1 マップ切り替え

始めにマップ生成を実施し、①事務室(Map0)、②事務室入口付近(Map1)、③廊下(Map2)、の合計3つのマップを作製した。次に経路座標10点で経路を設定し、走行実験によってこの3つのマップを自動的に切り替えながら走行可能であることを確認した。このときの座標推移データを図3に示す。

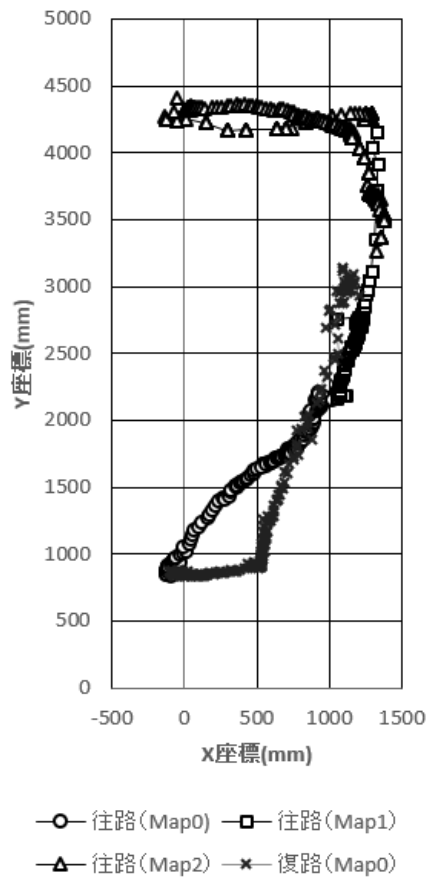


図3 往復走行におけるマップ切り替え

3.2 長時間走行における安定性

開発したレーザー式位置センサを搭載した試作機を用いて、平成25年11月9日に開催された平成25年度長崎県工業技術センター一般公開においてデモ走行を実施した。3.1で述べた走行実験経路を自動往復する走行デモとし、動作中に計測した座標データログはすべて記録した。概要を表2に示す。

表2 長時間連続走行実験

項目	実験結果
走行時間	10:00~12:39, 12:50~16:00
計測回数	83204回(午前 35734回, 午後 47470)
総走行距離	2163m
平均認識頻度	3.97回/秒

リフレクタデータのみで推定した位置データログを図4に示す。瞬間的に数m以上移動したと推定している明らかに間違った推定結果があることがわかる。この原因としては、瞬間的にガラス、金属、日の差し込

みなどによって存在していないところにリフレクタが誤検出された、またはマップが異なっている、局所的には似ているパターンがあること、またはその両方が原因で、リフレクタ配置パターンが局所的に似ていることに起因したと推察される。一旦間違った結果が算出されているが、2.2で述べた壁形状による認識と車輪回転速度から検出したオドメトリ座標を併用し補正することで、図5に示す座標を最終的に決定している。

補正後の座標ログを見ると最大で2m程度の誤差を含んだものがあるが、これはリフレクタのみの位置検出相関が閾値以上の時、その結果を優先するアルゴリズムの為である。予測しない動きの時（例えば外部からの力や大規模なスリップなどで、制御に関係なく本体が一度に動いてしまった場合）に正しい認識を行うためであるが、今後検討の余地があると考えられる。

瞬間的な位置認識エラーはあるものの、ガイドレス無人搬送システムとしては、位置認識のあと、障害物検出および回避アルゴリズムが実装されているため、結果的に異常な動作としては現れないことを確認した。

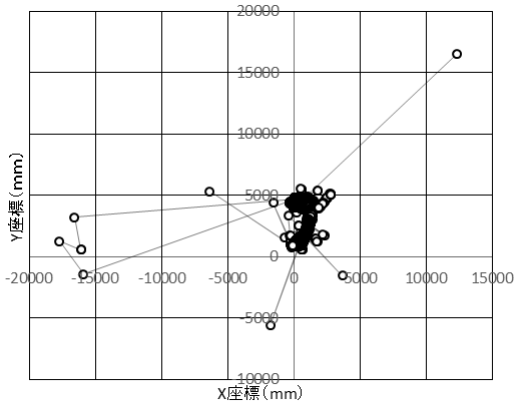


図4 リフレクタ単独位置認識

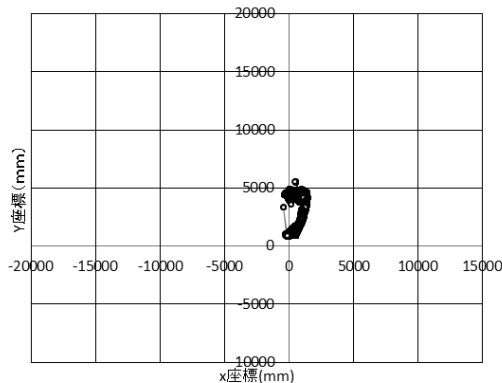


図5 補正処理後位置認識結果

4. 積み下ろし装置

平成24年度試作の積み下ろし機構をベースに、無人搬送車制御コンピュータからコントロール可能な、ソレノイドコントローラーを試作した(図6)。

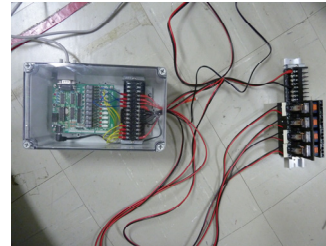


図6 ソレノイドコントローラー

無人搬送車からRS232Cを介したASCIIコマンドによって制御をおこなう。動作実験により最大10個までのソレノイド機構に対して通電時間を0.1秒単位で制御可能なことを確認した。

5. 結言

平成25年度は平成24年度までに試作した搬送車をベースとして、レーザー式位置センサシステム、自動積み下ろし機構について改良、追加開発を実施した。

これらの要素技術の評価と改良を引き続き実施していく予定である。また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] 坪内孝司, Yoichi MORALES, Alexander CARBALLO, 原祥堯, 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, 1I4-6, 2008.
- [3] 堀江貴雄, 指方顕, 酒井寿美雄, “光学式位置センサを用いた小型無人搬送車の開発”, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会, 4G3-3, 2012.
- [4] 堀江貴雄, 指方顕, 酒井寿美雄, “ガイドレス無人搬送システムの開発”, 平成24年度長崎県工業技術センター研究報告書No42, pp.16-18, 2013.