

13. 建築現場用無人搬送車に関する研究

足利工業大学
戸田建設株式会社

○ 仁田 佳宏
稲井 慎介

1. はじめに

建築構造物および土木構造物の建設現場は、建設資材の搬入搬出、設置個所への搬送などの重労働作業が多く存在しているうえ、労働力不足や労働コストの高沸が生じており、大きな問題となっている。そこで、建築現場の生産コストの抑制および生産性の向上を目的として、ロボット技術や ICT 技術を活用した”i-Construction”が、国土交通省を中心に推奨されつつある^{1,2)}。 ”i-Construction”の具体的な事例としては、TS や GNSS 技術による 3D マシンコントロールや 3D マシンガイダンスなどを利用した ICT 建設機械、ドローンを活用した測量、パワーアシスト機器や無人搬送車(AGV)を用いた建設資材の搬入搬出などがあげられ、活用事例が増えている¹⁻⁵⁾。

本研究は、建設現場の生産性向上を目指して、重労働作業となる建設資材の搬送を自動化することを目的に、建設現場に適した AGV について検討を行う。一般的に、AGV は機械製造、物流分野の工場や自動倉庫で広く利用されており、二輪速度差制御を用いた双輪駆動キャスタを用いたものが多い⁶⁾。双輪駆動キャスタは、平坦で障害物が少ない室内の工場や自動倉庫では有用な駆動機構であるが、半屋外で 20mm 程度の段差や障害物が多く存在する建設現場に適した駆動機構とはなっていない。また、AGV は、一般的に磁気テープや磁気タグなどが敷設された専用の通路もしくは Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) 技術を用いて、自動搬送を行っている。しかし、建設現場は、工場などのように半永久的な施設ではないため、AGV 専用の通路や磁気テープなどのインフラの設置を敬遠する傾向も強く導入が進んでいないのが現状である。また、磁気テープなどを必要としない SLAM 技術の活用も検討されているが、建設工事の進み具合などに合わせてレイアウトが頻繁に変更される建設現場においては、頻繁に環境地図の更新を行わねばならず、利便性の問題が指摘されている。このような課題点を踏まえ、本研究では、建設現場に適した AGV の開発を目的と

して、AGV の駆動機構および走行制御アルゴリズムについて、検討を行う。

2. 駆動機構の検討

建設現場に適した AGV の駆動機構の検討として、二輪速度差制御による双輪駆動キャスタ、四輪独立制御によるメカナムホイールおよびオムニホイールの 3 種類の駆動機構を、図-1~3 に示す AGV 模型を用いて比較する。AGV 模型は、ギヤ比 1:30 のギヤードモータを用いており、3 種類ともホイールの外径は 60mm である。また、AGV 模型の寸法は、160mm×100mm の車体に車輪を配置したものであり、最低地上高は、双輪駆動キャスタは 24mm、オムニホイールおよびメカナムホイールは 19mm である。

比較対象とした 3 種類の駆動機構は、いずれも機械的な操舵機構を用いずにモーター制御のみで全方向移動可能であり、実用性、利便性ともに高い駆動形式である。二輪速度差制御による双輪駆動キャスタは、図-1 に示すように、後輪二輪が駆動輪となり、左右の回転方向および速度差を利用して、旋回および操舵が可能である。メカナムホイールは、図-2 に示すように各ホイールに斜め方向に複数のバレルが設置された形状をしており、各ホイールの回転方向を個別に制御することで全方向移動可能である。オムニホイールは、図-3 に示すように、円周方向に複数のバレルが設置された形状をしており、メカナムホイールと同様、各ホイールの回転方向を個別に制御することで全方向移動可能である。

はじめに、障害物回避アルゴリズムを比較する。双輪駆動キャスタ、メカナムホイールおよびオムニホイールともに全方向に移動可能であるが、双輪駆動キャスタは、横方向に移動する際に旋回が必要となるのに対し、メカナムホイールおよびオムニホイールは、車輪の特性を活かし、旋回を必要とせずに横方向の移動が可能となる。その為、障害物の回避アルゴリズムが、双輪駆動キャスタとメカナムホイールおよびオムニホイールでは大

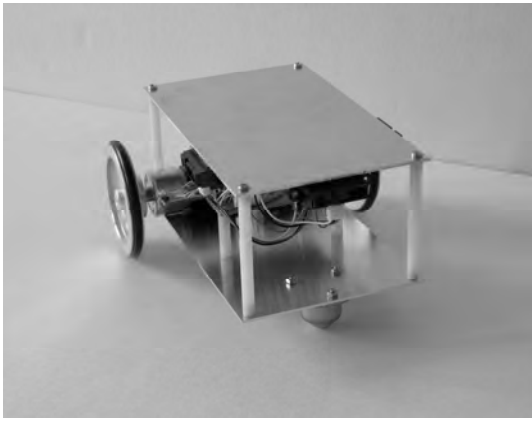


図-1 双輪駆動キャストを利用した AGV 模型

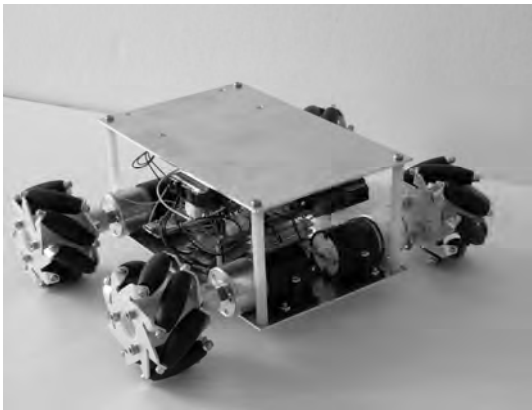


図-2 メカナムホイールを利用した AGV 模型

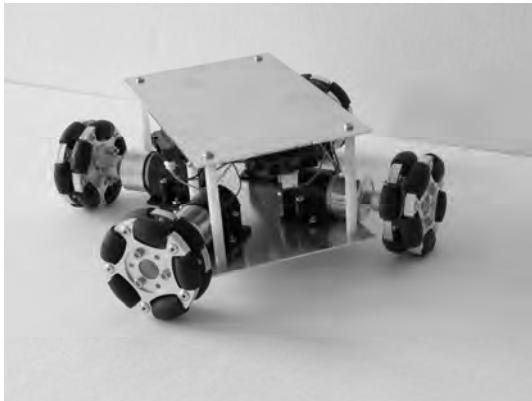
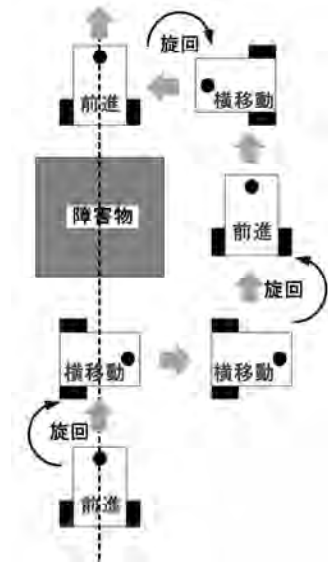
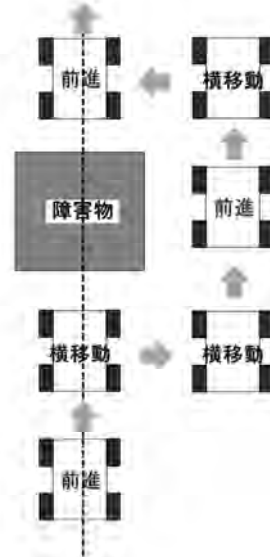


図-3 オムニホイールを利用した AGV 模型

大きく異なる。双輪駆動キャストによる障害物の回避は、図-4(a)に示すように、まず障害物の前で旋回を行ったうえで、横方向に移動する。次に障害物の幅以上に横方向に異動した後、再び旋回を行い、前進を再開する。また、障害物回避後に、回避前の車線に戻るためには、旋回および横方向の移動を行った後、再び旋回をする必要がある。双輪駆動キャストに対して、メカナムホイールおよびオムニホイールは、図-4(b)に示すように、障害物の前で、障害物の幅以上に横方向に移動した後、前進を行えば、障害物を回避できる。また、



(a) 双輪駆動キャスト



(b) メカナムホイールおよびオムニホイール
図-4 障害物回避アルゴリズム

障害物回避後に、回避前の車線に戻るためには、横方向の移動のみを行えば十分である。つまり、メカナムホイールもしくはオムニホイールを用いることで旋回を行う必要がなくなり、障害物回避アルゴリズムを簡素化できる。また、AGV が建設現場で旋回を行うと、積載した建設資材の長さを考慮した旋回半径となるため、幅広い通路を必要とするうえ、旋回時には荷崩れを引き起こしやすいため、可能な限り旋回を避ける必要がある。従って、障害物回避アルゴリズムについては、旋回を可能な限り避けることができるため、双輪駆動キャストより、メカナムホイールおよびオムニホイールの方が有用である。

次に、踏破性能について検討する。メカナムホ

イールおよびオムニホイールが全輪駆動であるのに対し、双輪駆動キャスタは後輪二輪駆動となる為、踏破性能は高くなく、比較検討に用いた直径 60 mm の車輪とボールキャスタの組み合わせでは、約 7 mm の段差の登攀が限界となる。一方、メカナムホイールとオムニホイールは、全輪駆動であるため、比較検討に用いた直径 60 mm の車輪で、約 19 mm までの段差が登攀可能となる。

最後に、直進性能について検討を行う。メカナムホイールとオムニホイールは、特殊形状の車輪を用いた全輪駆動であるため、各車輪の速度および回転方向の制御が重要となり、直進性能は積載物となる建設資材の形状や重量の影響を双輪駆動キャスタよりも大きく受ける。一方、双輪駆動キャスタは後輪二輪駆動であるため、両輪の回転速度がほぼ一致していれば、直進性が保たれ、積載物となる建設資材の影響はほとんど受けない。従って、メカナムホイールやオムニホイールよりも、双輪駆動キャスタの方が高い直進性能を示す。メカナムホイールとオムニホイールを比較すると、メカナムホイールは進行方向に車輪が取り付けられているのに対し、オムニホイールは進行方向に対して車輪が斜め方向に取り付けられているため、地面の凹凸の影響をメカナムホイールよりも大きく受け、メカナムホイールよりも直進性が低くなる。ただし、オドメトリやデッドレコニングを用いる場合は、オムニホイールの方が正確にモデル化しやすく、各車輪の回転速度や回転方向に基づいた走行制御を行えるため、オムニホイールの方が高い直進性能を示す。

以上の比較検討結果より、障害物が多く、路面も平坦ではない建設現場においては、工場や自動倉庫で実績の多い双輪駆動キャスタよりも、メカナムホイールもしくはオムニホイールの利用が有用と考えられる。ただし、メカナムホイールもしくはオムニホイールの使用においては、直進性能が課題となるため、直進性能向上のための、走行制御アルゴリズムの開発を必要とする。

3. 走行制御アルゴリズム

駆動機構の検討結果を考慮して、建設現場用 AGV ではメカナムホイールを使用することを前提に、建設現場用の走行制御アルゴリズムについて検討を行う。建設現場は、工場や自動倉庫などとは異なり一時的な使用であるうえ、工事の進捗具合により、頻繁にレイアウトが変更される。そこで、本研究では、信用度の高い磁気テープによる走行制御手法を、コーナー、荷積および荷卸し箇所に適用し、直線部分に関してはマーカを用いた走行制御アルゴリズムを提案する。提案する走行制御アルゴリズムは、AGV の走行経路の多く

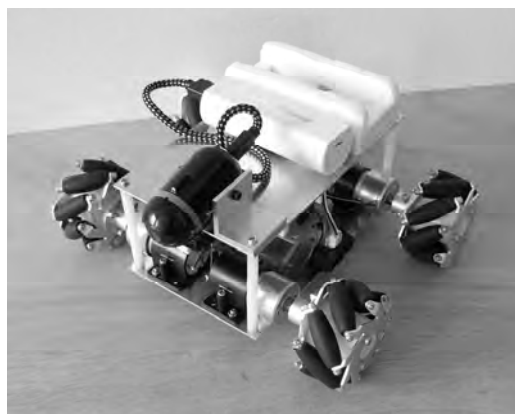


図-5 Wi-Fi カメラを搭載した小型 AGV 模型

の部分占める直線部分に磁気テープを敷設する必要がなくなるため、AGV のための設備を簡素化できる利点がある。

メカナムホイールは、積載物の重量および形状の影響を大きく受けるため、直進させるためには、走行中に水平方向および角度方向の修正を行う必要がある。そこで、AGV にカメラを搭載し、搭載したカメラの映像を用いて画像処理を行うことで、直進させるアルゴリズムを提案する。直進させるための提案アルゴリズムを下記に簡潔に示す。

- (1) 撮影した画像上に、床上に設置された長方形マーカがあるか確認する。
- (2) 長方形マーカがある場合、長方形マーカの水平方向の位置を確認する。
- (3) 長方形マーカが撮影画像の中央に無い場合は、中央にくるように AGV を横移動する。長方形マーカの撮影画像内における角度を算出する。
- (4) 長方形マーカの角度が横軸と平行でない場合は、平行となるように AGV を旋回させる。
- (5) 再度、長方形マーカが撮影画像の中央にくるように横移動を行う。
- (6) 長方形マーカが撮影画像上に表示されるまで、AGV を前進させる。
- (7) (1)に戻る

また、オムニホイールについてもほぼ同様の走行制御アルゴリズムを適用可能である。

提案した直進走行のための制御アルゴリズムの有用性を検討する目的で、図-5 に示すような Wi-Fi カメラを搭載しメカナムホイールを利用した AGV 模型と図-6 に示すような画像処理プログラムを用いて、実証実験を行う。ただし、実証実験では、3.0cm×20.0cm の白色の長方形プレートを長方形マーカとして用いている。提案する走行制御アルゴリズムを用いない場合は、3.0m 進むと最大で約 9.0cm 横にずれるのに対し、提案アルゴリズムを用いた場合はほぼずれることなく直進できる。

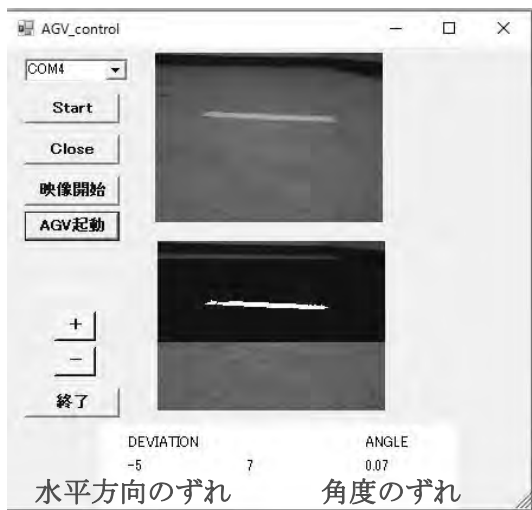


図-6 直進走行のための画像処理画面

以上の結果から、磁気テープによる走行制御手法を、コーナー、荷積および荷卸し箇所に適用し、直線部分に関してはマーカーを用いる走行制御アルゴリズムを用いることで、より建設現場に適したAGVを実現できると考えられる。

4. まとめ

本研究は、建設現場の生産性向上を目指して、重労働作業のひとつである建設資材の搬送を自動化することを目的に、建設現場に適したAGVについて検討を行った。

まず初めに、AGVの駆動機構の検討を行い、双輪駆動キャスタ、メカナムホイールおよびオムニホイールを、障害物回避性能、踏破性能および直進性能について比較した。比較結果から、障害物や段差などが多い建設現場の現状を考慮すると、利便性などからメカナムホイールもしくはオムニホイールが有用であることを確認した。ただし、メカナムホイールもしくはオムニホイールは、双輪駆動キャスタと比較して直進性能が良くないため、直進性を高める工夫が必要となる。

次に、建設現場に適したAGVの走行制御手法について検討を行った。検討から、直進走行のための長方形マーカーによる走行制御アルゴリズムとコーナー、荷積および荷卸し箇所に磁気テープを敷設する手法を併用した走行制御アルゴリズムを提案した。直進走行のための制御アルゴリズムについては、メカナムホイールを用いたAGVモデルによる走行実験により有用性を確認している。

以上の検討結果から、建設現場用無人搬送車には、メカナムホイールもしくはオムニホイールの利用と、マーカーと磁気テープを併用した走行制御アルゴリズムの使用が実用的と考えられる。今後は、実際の建設現場を想定した実証実験の実施を計画している。

参考文献

- 1) 立石洋二：施工の効率化、高品質化に貢献する自動化技術・ロボット技術，土木技術，Vol.67・No.4，pp.24～29，2012
- 2) 井上猛雄：建機ロボット最前線-進む、無人化・情報施工とロボット，ロボコンマガジン，No.99，pp.6～21，2015
- 3) (社)日本建設業連合会 インフラ再生委員会：2016施工CIM事例集，2016
- 4) 大本絵利・土井暁・鈴木理史・浜田耕史・滝沢平一郎・柏友仁：フレキシブル水平搬送システムの開発，第14回建設ロボットシンポジウム論文集，pp.151～156，2014
- 5) 大本絵利・土井暁・金子智弥：資機材搬送省力化のための低床式AGVの開発と適用，日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)，pp.1027～1028，2016
- 6) Günter Ullrich：Automated Guided Vehicle Systems - A Primer with Practical Applications-, Springer, 2015