

# 全方向駆動歯車を用いた 物体搬送装置のための制御システムの研究

## Study on the Control System for the Transporting Table with Omnidirectional Driving Gear

○中野芳樹\*, 阿部一樹\*, 鈴木理史\*, 斎藤立義\*, 多田隈建二郎\*\*, 多田隈理一郎\*

○Yoshiki Nakano\*, Kazuki Abe\*, Satoshi Suzuki\*,  
Tatsuyoshi Saito\*, Kenjiro Tadakuma\*\*, Riichiro Tadakuma\*

\*山形大学, \*\*東北大学

\*Yamagata University, \*\*Tohoku University

キーワード：全方向駆動歯車 (Omnidirectional Driving Gear), 搬送装置 (Transporting Table), 制御システム (Control System), 深さ優先探索 (Depth-First Search), インターフェース (Interface)

連絡先：〒992-0062 山形県米沢市城南4丁目3-16  
山形大学工学部 機械システム工学専攻 6-226 多田隈研究室

中野芳樹, Tel.: (0238)26-3893, Fax.: (0238)26-3205, E-mail: tym77311@st.yamagata-u.ac.jp

### 1. 緒言

近年, 国内外の生産現場では自動化, 高度化が進んでおり, 生産ラインの作業にロボットを応用した効率化も行われている. 従来, 工場の生産現場ではライン生産方式と呼ばれる少品種大量生産に適した生産方式が主流であった. しかし, ライン生産方式は生産品目の変更の際に装置全体を大規模に変更する必要があるためコストが大きくなる, 在庫を抱えやすい, といったデメリットがある. また, 安価で大量生産可能な製品に関しては主に海外での生産が増えており, 国内では技術的難易度, 及び品質の高い製品の生産需要が高まっている. こうした状況に対応するため, 近年セル生産方式と呼ばれる多品種少量生産に適した生産方式が提案され, 普及が進んでいる<sup>1)</sup>. セル生産方式は一人, もし

くは少人数で完成まで一貫して作業を行う方式である. ライン生産方式に対して製品仕様や生産量の変更に対応することができ, 無駄な在庫を抱えにくく, 多様性に富んだ製品を生産しやすい, といったメリットがある. 一方で, 生産量と品質が作業員個人の能力に大きく依存してしまうため, 作業効率の向上が大きな課題となる. そのため, 作業員に対して補助, 協調して作業を行うロボットや, それによる効率化の研究が行われている<sup>2)</sup>. 生産現場で用いられる搬送装置はベルトやローラによる1自由度のものが主流だが, セル生産方式のような生産工程では, 複数の自由度を持つ搬送装置を導入することで作業員の負担を軽減し, より効率的な生産を行うことができると考えられる.

現在, 多田隈研究室では平面2自由度を持つ

全方向駆動歯車（以下、オムニギアと記述）を用いた、物体搬送装置（以下、オムニテーブルと記述）の研究を行っている。オムニテーブルは人との協調を目指す搬送装置であり、セル生産方式の工場に導入することで生産効率の向上が期待される。本研究はこの装置を工場で実用化する上で必要となる制御システムの開発を目的としており、本稿では装置の概要と制御システムについて述べる。

## 2. オムニギアとオムニテーブル

多田隈研究室で研究を進めているオムニギアを Fig.1<sup>3)</sup>、オムニテーブルを Fig.2、搬送ロボットの構造を Fig.3 に示す。オムニギアは1平面で直交2軸に駆動可能な歯車機構である。オムニテーブルはオムニギアをパネル状にして床面に敷き詰め、駆動用平歯車を車輪に見立てた搬送ロボットがその上を移動することで物を搬送する装置である<sup>4)</sup>。搬送ロボットは、駆動部と物を載せるトレイがアクリル板を隔てて磁石で引き合う構造となっているため、防塵防水性に優れ、かつ作業者にとって本質的に安全である。

また、同様に複数の自由度を持つ搬送装置の代表としてXYステージがあるが、可動域が自由に拡張可能であること、複数の物の搬送が同一平面上で独立して行えること、といった点でより効率的な搬送が可能である。

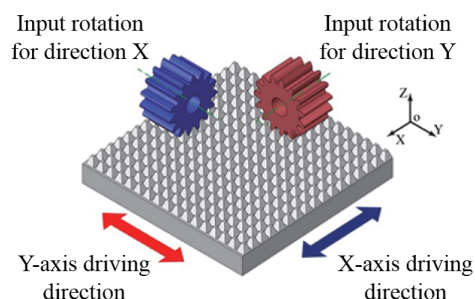


Fig. 1 Omnidirectional driving gear

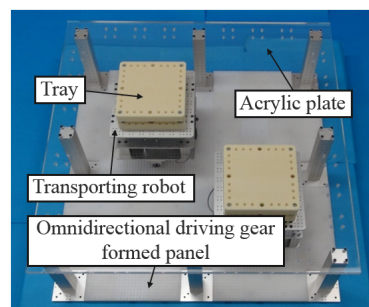


Fig. 2 Transporting table

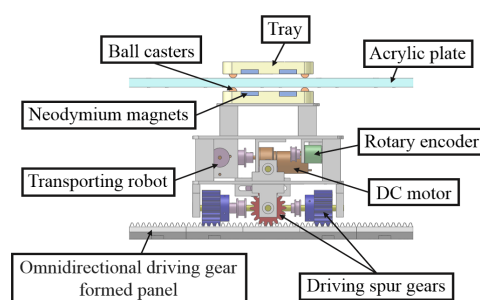


Fig. 3 Layout of transporting robot

## 3. 開発したシステム

オムニテーブルを工場で実用化する上で必要となるシステムとして、開発を進めたことを述べる。

### 3.1 搬送ロボットの位置決め制御

#### 3.1.1 制御システム概要

オムニテーブルの制御システム概要を Fig.4 に示す。搬送ロボットには Arduino MEGA を搭載し、2軸のDCモータをエンコーダによるフィードバックで台形制御する。PCからBluetoothによる無線通信で各搬送ロボットに目標座標を送信し、複数の搬送ロボットを協調制御する。

#### 3.1.2 位置決め精度実験

オムニテーブルは対作業者を想定した搬送装置であるため、位置決め誤差 1mm 以内であれ

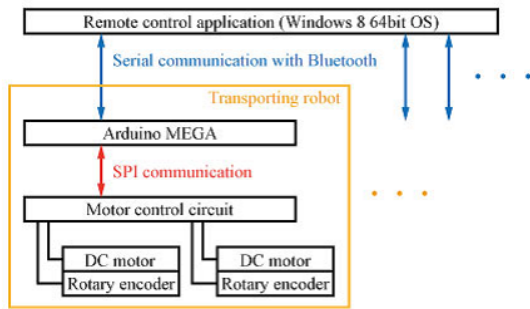


Fig. 4 Control system of transporting table

ば十分な精度と考え、位置決め精度実験を行った。実験手順を示し、その様子を Fig.5, 実験結果を Fig.6 に示す。

- 1) 搬送ロボットをレーザー測距計に近づける。
- 2) 正の方向に少し動作させ、バックラッシュの隙間を埋める。
- 3) レーザー測距計をゼロ点に設定し、目標距離に向け動作させる。
- 4) 停止後、レーザー測距計の値とエンコーダ値を記録する。
- 5) 目標距離を 100, 200, 300mm として、1) ~4) を 10 回ずつ繰り返す。

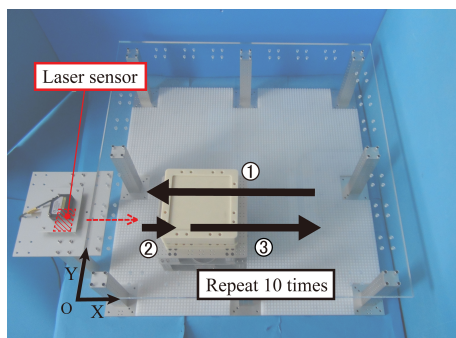


Fig. 5 Positioning accuracy experiment

実験の結果、おおよそ位置決め誤差 1mm 以内で十分な精度となったが、Y 軸 300mm 時の

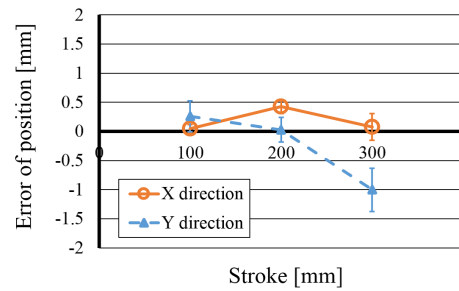


Fig. 6 Experimental result

誤差が大きくなった。原因として搬送ロボットのプーリやベルトの緩み、駆動用平歯車の位相のずれなどによる影響が考えられる。機構面に精度的な課題はあるものの制御システムは正常に動作することを確認した。

### 3.2 搬送可動域となる床面パネル配置の取得

#### 3.2.1 可動域取得の意義

オムニテーブルを工場へ導入する際、多種多様な生産品目や生産工程に対応するため、可動域の自由な可変性が求められる。しかし、大きく複雑な配置になるときやアクリル板を支える柱が装置内部にあるとき、搬送ロボットの可動域を正確に把握することが難しくなり、搬送ロボットが可動域外に出てしまう、柱に衝突してしまう、といった問題につながるリスクがある。そこで、搬送ロボットの可動域となるオムニギアパネルの配置を取得するシステムの開発を考える。可動域を取得するにあたり、オムニギアパネルや柱の配置が不定であること、トレイより上の作業空間となる部分を複雑にしないことなどを考慮し、画像処理等ではなくオムニギアパネルの下にデバイス（以下、パネルデバイスと記述）を配置して取得する方法を考える。

### 3.2.2 デバイス設計

パネルデバイスは 94x94mm のオムニギアパネル 1 枚につき 1 つ取り付けられるようにし、オムニギアパネルとともに着脱可能なものとする。このシステムの構想を Fig.7 に示す。開発するにあたり非常に多くのパネルデバイスが必要になるため、マイコンは安価な ATmega328P を用いることとし、シリアル通信によってパネルの座標を送受信する。Arduino MEGA を接続したマスタデバイスを 1 つ製作し、これをパネルの任意の位置に接続することでマスタデバイスを原点とする全パネルデバイスの座標が得られるようにする。電源はマスタデバイスから 24V を接続し、それぞれのパネルデバイスで 5V に降圧する。

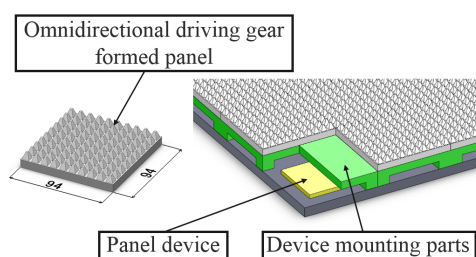


Fig. 7 Structure of new system

### 3.2.3 探索アルゴリズム

端部に接続したマスタデバイスからすべてのパネルデバイスの座標を得るため、実装しやすくメモリ効率がよいといった利点がある、「深さ優先探索 (DFS : Depth-First Search)<sup>5)</sup>」と呼ばれる探索アルゴリズムを用いる。深さ優先探索は、最初のノードから子のないノードに行き着くまで深く伸びていく探索である。子のないノードに行き着いた場合は、1 つ前のノードに戻って同様の処理を行っていく。

開発するパネルデバイスはオムニギアパネルに倣って格子状に並ぶため、4 辺のパネルデバイス同士の接続をこのアルゴリズムに従って調

べていくことで全体のオムニギアパネルの配置を得ることができる。

### 3.2.4 動作結果

実際に製作したデバイスを Fig.8 に示す。はじめにマスタデバイスから原点座標 (0, 0) を直下のパネルデバイスに送信する。上位側のデバイスの座標を受信したパネルデバイスは、自分の座標を算出して上位側のデバイスへ送信し、あらかじめ設定した優先順位に従って、接続のある未検出の下位側のデバイスに座標を送信する。下位側のデバイスの座標を受信したパネルデバイスは、そのまま上位側のデバイスへ座標を送信する。この処理を繰り返すことで、マスタデバイスが全パネルデバイスの座標を取得する。この動作結果を Fig.9 に示す。デバイスをつなぎ変えて複数回動作させた結果、すべて正常にパネルデバイスの座標を取得できていることが確認できた。

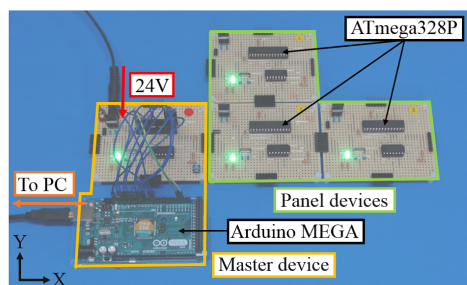


Fig. 8 Fabricated panel device

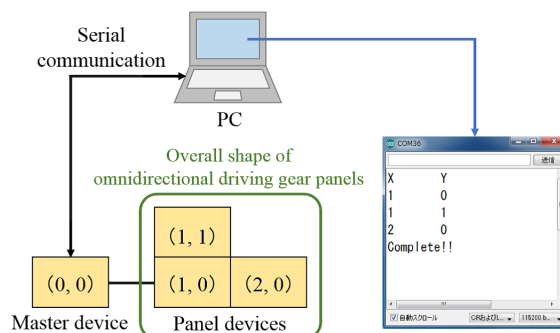


Fig. 9 System test result

## 4. 結言

オムニテーブルの位置決め制御システムを開発し、正常に動作することを確認した。機構面で精度に課題があるため、組み付け方法の確認や機構の改善などを行う必要がある。また、可動域を取得するシステムの開発を行い、パネルデバイスの座標が正確に取得できることを確認した。今後はオムニギアパネルの下にパネルデバイスを収納するための部品の設計、製作、取得した座標から可動域を算出し、搬送ロボットの制御に反映させるシステムの構築を行う。併せて、搬送ロボットの電源を切っても現在位置を保存できるようにすることで、位置合わせや位置取得が不要になるようにシステムを改善する。最終的に以上の機能を搭載した操作者向けインターフェースの開発を目指す。

## 参考文献

- 1) 都留康：生産システムの革新と進化，51/56，株式会社日本評論社 (2001)
- 2) 熊谷充彦：全方向駆動歯車機構に基づく全方向物体搬送テーブルの集中管理型動作計画システムに関する研究，13/22，山形大学大学院理工学研究科博士前期過程 修士学位論文 (2017)
- 3) 井岡恭平：全方向駆動歯車の研究，13，山形大学大学院理工学研究科博士前期過程 修士学位論文 (2013)
- 4) 大石高輝：全方向駆動歯車に基づくユニット型物体搬送装置の研究，20/28，山形大学大学院理工学研究科博士前期過程 修士学位論文 (2016)
- 5) 五十嵐善英，西谷泰昭：アルゴリズムの基礎，128/131，株式会社コロナ社 (1997)