

# 全方向駆動歯車に基づく全方向物体搬送テーブルの 制御システムの研究

## Study on the control system for the omnidirectional transporting table based on the omnidirectional driving gear

○熊谷充彦\*, 阿部一樹\*, 中野芳樹\*, 杉本侑輝\*,  
鈴木理史\*, 多田隈建二郎\*\*, 多田隈理一郎\*

○Kumagai Mitsuhiko\*, Abe Kazuki\*, Nakano Yoshiki\*, Sugimoto Yuki\*,  
Suzuki Satoshi\*, Tadakuma Kenjiro\*\*, Tadakuma Riichiro\*

\*山形大学, \*\* 東北大学

\*Yamagata University, \*\* Touhoku University

キーワード: 全方向駆動歯車 (Omnidirectional Driving Gear), XY ステージ (XY Stage),  
搬送装置 (Transporting Table), 協調制御 (Coordinated Control), 物理シミュレーション (Physical  
Simulation)

連絡先: 〒 992-0063 山形県米沢市泉町二丁目 1-72  
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  
熊谷充彦, Tel.: (090)1661-3395, E-mail: tke25016@st.yamagata-u.ac.jp

### 1. 緒言

近年, 工場等ではロボットを投入することで高度な作業の自動化, 及び生産システムのロボット化が行われており, 人とロボットとが共に工場働くといった場面が増えている.<sup>1)</sup> また, 安価かつ大量生産が可能な商品については, 主に海外での製作が増えており, 日本国内では多品種少量の製品を製作することや, 短納期のもの, 技術難易度の高いもの等の製作が求められてい. また, セル生産方式のように一人もしくは数人程度で作業することで, 生産量の変動への対応や生産性の向上が行われているが, セル生産方式は作業員個人の技量差が大きく出やすいため, それを補うために作業員を補助するロ

ボットの研究が行われている.<sup>2),3)</sup>

現在, 多田隈研究室では直交 2 自由度を有する全方向駆動歯車を応用した, 全方向物体搬送装置 (オムニテーブル) の研究を行っている. オムニテーブルは, ロボットと人が協調可能であり, セル生産に対応できるようにユニット化され, 使用者を補助することが出来る装置である. 本稿では, 主にその機構の概要と, 制御方法に関して説明を行う.

### 2. オムニテーブルについて

多田隈研究室では, これまでにオムニテーブル第一試作機, 第二試作機, 第三試作機と製作を行ってきた. これらの概観を Fig.1, Fig.2,

Fig. 3 に示す。第一試作機では、全方向駆動歯車に直交する二つの平歯車をかみ合わせ、リニアガイドにより姿勢を保持する機構となっていた。第二試作機では、リニアガイドを無くし、独立に駆動する平歯車を等間隔に設置し、それぞれの平歯車を独立に制御して位相を合わせつつ、全方向駆動歯車を搬送する機構となった。これにより、可動範囲の無制限化を実現した。第三試作機では、第二試作機の可動範囲を更に増やし、複数台のトレイでの協調制御が行えるような機構を実現した。また、天板を介して上下のトレイをネオジム磁石とボールキャスタにより引き合わせ姿勢を保持する機構とすることで、本質的に安全な搬送システムを実現した。その後、これらの機構を上下逆転し、全方向駆動歯車を床面に敷き詰め、その上を平歯車を駆動車輪とする複数台の搬送ロボットが移動する、という機構を「オムニテーブル第四試作機」として、製作を行った。



Fig. 1 オムニテーブル第一試作機

### 3. 搬送ロボットの複数台協調制御

オムニテーブル第四試作機では、複数台の搬送ロボットが自在に移動するため、搬送ロボット同士が衝突しないよう、位置制御を行う必要がある。浅間氏によれば、協調には「利害の対立する双方が競合しないように問題を解決すること」と「双方が相補的に協力し合って目的を

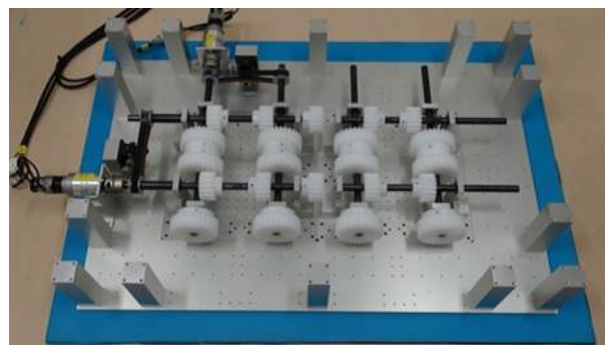


Fig. 2 オムニテーブル第二試作機

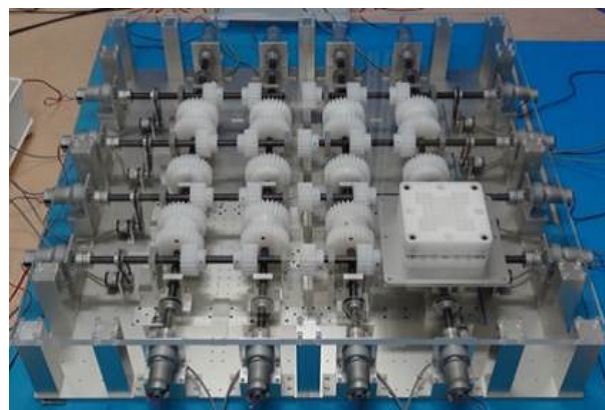


Fig. 3 オムニテーブル第三試作機

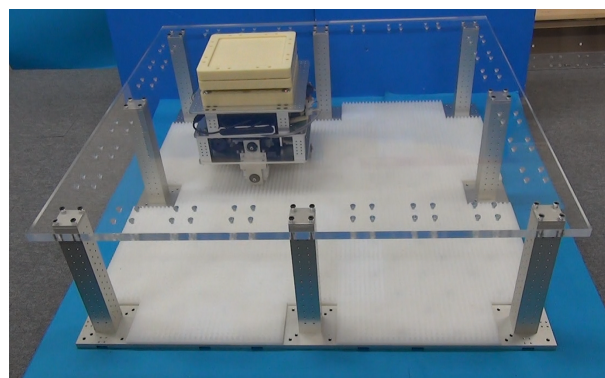


Fig. 4 オムニテーブル第四試作機

達成すること」の二つの意味があると述べており<sup>4)</sup>、本稿では前者、即ち「競合解消」を目的とした、搬送ロボットの経路計画を行う。

## 4. 先行研究

先行研究として、鈴木氏らは複素ニューラルネットワーク (NN) を用い、遺伝的アルゴリズム (GA) によって学習を行うことにより、複数台の移動ロボット (群ロボット) の目標位置に対する経路計画を行っている。<sup>5)</sup> しかしながら、この手法は複雑なシステムを用いて経路推定を行うために実装が大変なこと、それぞれの搬送ロボットが蛇行するように移動することがあるために、物体の搬送には向かないこと等の理由から、オムニテーブルの制御システムにはあまり適していないと考えられる。そこで、本稿では別の経路計画のアプローチとして、ソフトウェア上で構築した仮想空間における力学現象の数値解析結果を適用することで、複数台の搬送ロボットの安全な移動を実現する。

## 5. 複数台の搬送ロボットの制御方法

全ての搬送ロボットの状態を管理するマスターソフトウェア上で、全方向物体搬送テーブル第四試作機に合わせて適切に設定された仮想空間を構築する。搬送ロボット一台あたり、以下に箇条書きで示す4つの点を仮想空間上にて作成する。

- 「初期位置」 - 移動を開始する前の初期位置
- 「最終位置」 - 最終的な目標到達地点
- 「移動目標点」 - 「初期位置」→「最終位置」間を等速で直線的に移動する点
- 「現在位置」 - 移動目標点にバネとダンパで繋がれ、力学的に追従する位置

ここで、それぞれの名称は便宜上のものであり、一般的に使用されているものではないことに注意されたい。これらは全て、搬送ロボット自体をある程度余裕を持って覆う大きさの円で表現する。搬送ロボットに逐次送信する座標は、上記の内の「現在位置」である。移動目標点は、「現在位置」が移動を開始する際に、加速を緩やかにする役割を担っている。

これら4点を定義することによって、緩やかな加減速による初期位置から目標位置までの移動をシミュレートことが出来る。類似の動作を実現する代表的な制御手法として、台形制御や5次補間制御等が挙げられる。しかし、これらの手法によって制御をしつつ、障害物回避や搬送ロボット同士の衝突回避等を併用して行うためには、各々に対応した追加の処理を複雑に記述する必要がある。それに対し、本稿で述べた手法を用いれば、先に述べた競合解消の処理と併用した場合にも、処理が複雑になることは無い。また、「現在位置」に掛かる、力学的な計算式の係数や項を調整・変更するだけで、様々な挙動を再現することが出来るというメリットがある。

全ての「現在位置」の、1ステップ分の移動が完了した時、それぞれの円と円が重なっている場合には、衝突を解消する必要がある。本シミュレーションでは次のように処理を進める。まず二つの円の中心点同士の距離を計算し、その距離がそれぞれの円の半径を足したものより小さければ、衝突している、ということになる(衝突判定)。その場合に、二つの円のめりこみ量を計算し、めりこみ量の半分ずつ互いの円を逆方向に移動させることで、衝突を解消している(衝突応答)。また、衝突応答後に更に別の円と重なってしまう可能性があるため、これらの処理は全ての重なりが解消されるまで、繰り返し行う必要がある。

ここまでの処理により、全ての「現在位置」の衝突が解消されたことになるため、搬送ロボッ

トへの位置座標の送信を一斉に行う。また、送信に関しては、一定かつ出来るだけ短い時間感覚で行う必要があり、今回は通信周期及びシミュレーションの時間間隔を共に 16ms としている。(この数値は使用する PC の処理性能によって定めている。)

## 6. オムニテーブル第四試作機での動作確認

今回は、Fig. 5 に示すように搬送ロボット一台での動作確認を行った。目視による確認では、概ね想定通りの動作をしており、マスターソフトウェアの開発、通信、搬送ロボット側の回路製作及び制御を、問題なく行うことが出来たと言える。しかしながら、通過する場所によって搬送ロボットが大きくガタつく現象を頻繁に確認した。

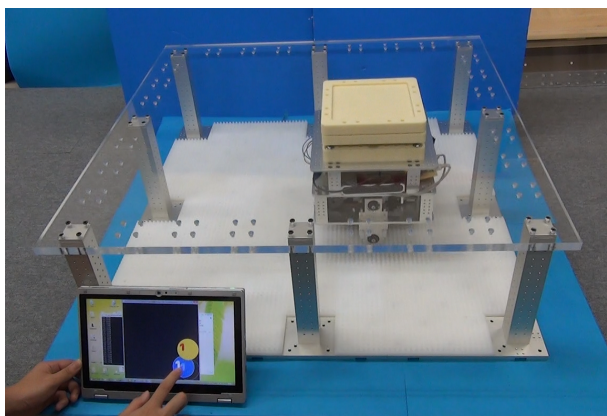


Fig. 5 搬送ロボット一台分の動作確認の様子

## 7. 結言

オムニテーブル第四試作機に適応可能な、複数の搬送ロボットの制御手法、及び制御システムを考案・実装して搬送ロボット一台での動作確認を行い、概ね問題無く動作させることが出来ることを確認した。現状では、搬送ロボット自身の組付け誤差や、床面に敷き詰められたオ

ムニギア同士の微小なずれ、もしくは PC-搬送ロボット間の断続的な通信遅滞等により、搬送ロボットの移動時にガタつきが生じてしまっているため、早急に原因を特定し、解決を行う予定である。また、二台目の搬送ロボットを製作し、複数台の協調制御が実際に行えるかどうか、検討を進めてゆく。

## 参考文献

- 1) 榊原 伸介: "工場で働くロボット-産業用ロボットの現在と未来-", 日本ロボット学会誌 Vol27, No3, pp.263-264. 2009
- 2) 岩室 宏: "セル生産システム", 日刊工業新聞社, 2002
- 3) 米澤 浩: "千手観音モデルによるロボット制御セル生産システム", 日本ロボット学会誌 Vol27, No3, pp.272-273. 2009
- 4) 浅間 一: "複数の移動ロボットによる協調行動と群知能", 計測と制御, Vol.31, No.11, 1992
- 5) 鈴木 浩司, 安野 卓, 漆原 史朗, 安野 恵実子, 桑原 明伸: "群移動ロボットによる協調搬送速度および軌道追従制御", 第 53 回自動制御連合講演会, セッション ID: 341, 2011