車輪移動機構の ABC (第 5 回) The ABC's of Wheeled Vehicle V

物流システム

Material Handling System

中 村 明 徳* *鳥羽商船高等専門学校

Akinori Nakamura* *Toba National College of Maritime Technology

1. は じ め に

私がロボットに初めて会ったのは、1969年のことである。当時、ロボットといえば米国 AMF 社のパーサトランとユニメーション社のユニメーションが知られていた。研究室に鎮座していたのは、パーサトランであった。私は一目見てド肝を抜かれた。仕事をする部分よりも、油圧のリザーバや制御装置の方がはるかに巨大なのである。こんなアンバランスなものがよくも商品になったものだと思えが出た。制御装置を覗くと ST 管が並んでいる。この 10 年程前、筆者らは南極観測船「宗谷」に搭載する JJY 標準電波受信機の開発に携わり MT 管と中間周波トランスにはセラミックフィルターを採用していた。その後ゲルマニウムパワートランジスタによるサーボ機構の実験を行った経緯があったからである。

いまでこそ、メカトロニクスの代表格となったロボットも、当時は機械工学と電気工学が全く分離し、制御装置への電気応用とりわけパワエレクトロニクスの遅れが顕著であった。このため、産業用ロボットとは座して動かず、手だけで仕事をする半身不随の自動化機械として認知され、1991年には5,581億円の市場規模を誇ることになる。日本ロボット工業会の統計によれば、1993年現在わが国の産業用ロボットの設置台数は36万8千台を超え世界一のロボット保有国となるが、そのほとんどが足をもたない移動機能のないものである。

これに対し、移動機能に着目した多くの研究が行われた。移動ロボットとしての足をもつ歩行ロボット、車輪を用いる無人搬送車などがその例である。無人搬送車がわが

国に導入されたのは、1964年のことである。当時の無人搬送車は紡績会社の牽糸搬送用として用いられた台車を牽引する機関車のような構成であったが、電磁誘導方式を採用し電線の埋設だけで走行経路が決定できるためコンベヤに比べ工場のレイアウトの自由度が高かった。そのフレキシビリティが評価され、FMS や FA の構成要素として注目を浴びることになる。

日本産業車両協会の統計によれば、1993年現在わが国の無人搬送車の累計生産台数は17,538台を数えるに至った。本稿では、主に物流システムで用いられる無人搬送車の応用を中心に報告する。

2. 無人搬送車の種類

日本工業規格 JIS B 3000-1990「FA 用語」では FA の構成機器として自動搬送システム (Automated material handling System) とともに無人搬送車 (Automated guided vehicle) が規定されている。これによると無人搬送車の定義は次の通りである。

「生産に関連する物品(工作物、部品、半製品など)を積載して、工場の所定の場所へ無人で搬送する無軌道の台車」また、JIS D 6801-1990「無人搬送車の用語」では、これらを図 1 のように分類している。無人搬送車類はバッテリーを動力源とし、自動ステアリングによって走行する無軌道式自走台車系の総称である。

現在最も多く用いられている無人搬送車は、搬送物を無人搬送車に搭載した各種の自動移載装置によって自動的に

図 1 無人搬送車の分類

原稿受付 1995 年 5 月 24 日

キーワード: Automated Guided Vehicle (AGV), Mobile Robot, Factory Automation, Material Handling System

*〒517 鳥羽市池上町1番1号

*Ikegami-cho, Toba-shi, Mie

図2 ステアリングの方式例

図3 無人搬送車の誘導方式

処理できる自動移載式と、人手によって荷物の積降ろしを行う手動移載式に分けられる。

最近では、自動移載装置の代わりにロボットを搭載したタイプも見られる。

無人搬送車類のステアリングは、一般に無人フォークリフトと無人牽引車では悪路走行に強い3輪で構成し、その中の独立した1輪によって操舵する前輪ステアリング方式が多く、無人搬送車では4輪または6輪で構成し独立した駆動輪2輪の回転差により走行方向を制御する2輪速度差方式が大型から中型タイプに多く用いられている。

積載荷重100[kg]未満の小型タイプでは、車両の構造が単純な3輪構造のことが多い。このほかに全方位に移動できるように車輪および駆動部を構成した独立ステアリング方式がある。図2にステアリング方式の例を示す。

3. 無人搬送車の誘導

無人搬送車の導入分野が拡大するにつれて誘導の方法も多岐にわたっている。図3に現在実用化している無人搬送車の誘導方式の例を示す。

無人搬送車の誘導方式は、走行ルート上に誘導用の情報媒体を設け無人搬送車にセンサを搭載して媒体を検出することによって誘導されるガイド方式と、無人搬送車がレイアウト上の寸法、座標を記憶し無人搬送車自体が座標上の現在位置、方位を知ることにより走行経路を決定して走行するガイドレス方式に大別される。

数年前までは電磁誘導を主体とするガイド方式がそのほとんどを占めたが、ここ1、2年、導入環境からの制約やフレキシビリティ重視のニーズを反映して、より自律的なガイドレス方式への関心が高くなっている。

3.1 ガイド方式

誘導に用いる媒体の種類によって設置される媒体自体がルート検出のためのエネルギーをもつアクティブ方式と、媒体自体はエネルギーをもたないパッシブ方式に分けられる。

アクティブ方式の代表例は、走行ルートに電線を埋設し、この電線に低周波電流を流し発生する電磁界を無人搬送車に搭載した磁気センサによって連続的に検出する電磁誘導方式である。この方式は最も古くから実用化し欧米では現在もこの方法が主流を占めているが、この誘導電線の埋設工事が伴うためレイアウトの変更に難点があった。

数年前、これに替わるアクティブ方式の一つとして磁気テープを床面に貼り付ける磁気誘導方式が開発され、最近この方式を採用する機種が増加している。

パッシブ方式の代表例は、金属テープまたは樹脂テープを走行ルートに沿って貼り付け、床面とのコントラストを光センサで検出する光学反射方式である。この方式は最も簡単にルートを形成でき、かつ変更も容易であるが、外乱光の影響や誘導精度に難点があり、最近ではイメージセンサを用いる画像認識式が自動化レベルの高い用途に用いられている。

3.2 ガイドレス方式

走行ルートを直接指示する媒体を走行路に施工しない方式である。ガイドレス方式はガイド方式に比べレイアウトの自由度が向上するが、車両自体の知能化が必要となる。地上援助式はレイアウト上に方位、位置を無人搬送車に知らせる機器を配置する方式で、超音波、レーザーなどを用いるアクティブ灯台式とコーナーキューブやバーコードを利用するパッシブ灯台式がある。

自律式は、レイアウト座標に設置物や壁柱など固定物の配置形状を無人搬送車に記憶させ外界センサでシーンを取り込み記憶した固定物を認識する外界認識式とジャイロを用いる方式がある。

これらの自律式は広域をすべてカバーするためには解決すべきいくつかの課題があり、当面ガイド方式との組合せによるシステム作りが進むものと思われる。

4. クリーンルームへの応用例

本例は、無人搬送車に垂直多関節ロボットを搭載して構成した移動ロボットのクリーンルームへの応用例である。

図4にこのシステム例を示す。

4.1 システム構成

移動ロボットは、半導体製造装置間および装置とウエハ保管倉庫クリーンストック間のウエハ受渡しのために、キャリアボックス単位で搬送を行う。

このシステムでは、移動ロボットに移載時に用いる二次

図4 移動ロボットシステム例

図5 前後輪の速度と舵角の関係

元 CCD カメラ 1 台と誘導用一次元 CCD イメージセンサカメラ 2 台を搭載している。

移載時は、ロボットハンドに取付けた二次元 CCD カメラでステーションに設置された位置決め原点マークを見て、マークを基準としたロボット自身のずれ位置・角度を計測する。

この姿勢計測によるずれ量分だけロボットの動作に補正をかけることにより、移載の精度を上げている。移動ロボットの誘導は、一次元 CCD イメージセンサカメラを前後に装備して、走行ルートを示す模様入りの反射ガイドテープを認識する方法を採っている。すなわち、前後のカメラで同時にガイドテープを見て、それぞれのカメラがガイドテープの中心にくるよう、前後のステアリングと走行モータを同時に制御する。本例では、分岐・合流する交差点にはテープの踏付け破損を避けるためガイドテープを施工していない。この部分では移動ロボットは、前後の走行輪に取付けられたエンコーダからの走行距離情報をフィードバック情報としてつぎのテープまで自律走行する。

4.2 自律走行の制御

交差点での自律走行では、走行開始から終了までの各軸の単位時間当たりの移動量を、あらかじめデータとしてメモリに登録しておき、これを順次サーボコントローラへ目標値として出力する。

いま走行指令で速度 (V) が与えられたとき、前後の走行輪の速度成分と操舵角度との間には、図5に示す関係がある。

前後のカメラで検出したガイドテープに対する車体の傾き量 (θ_a) と中心からのずれ量 (γ) から以下のように進行方向 (θ) を決定し、前後輪の速度成分を求める。

$$\theta = \theta_a - K_0 \cdot \gamma$$

$$V_a = V_{1a} = V_{2a} = V \cdot \cos(\theta_0 - \theta)$$

$$V_{1b} = V \cdot \sin(\theta_0 - \theta) - L \cdot \theta_a / 2$$

$$V_{2b} = V \cdot \sin(\theta_0 - \theta) + L \cdot \theta_a / 2$$

上式で θ_0 と L は機械的な車輪配置で決まる定数であり、 K_0 は機械系の対応で決まる比例定数である。上式で求めた速度成分から、前後輪速度と操舵角指令を決定している。

$$\text{操舵角度 } \theta'_1 = \theta_0 - \tan^{-1}(V_{1b}/V_a)$$

$$\theta'_2 = \theta_0 - \tan^{-1}(V_{2b}/V_a)$$

i. 速度指令

$$V_1(\text{前輪}) = K_{11} \cdot V_a / \cos(\theta_0 - \theta'_1)$$

$$V_2(\text{後輪}) = K_{12} \cdot V_a / \cos(\theta_0 - \theta'_2)$$

ii. 操舵指令

$$\theta_1(\text{前輪}) = K_{21} \cdot \theta'_1$$

$$\theta_2(\text{後輪}) = K_{22} \cdot \theta'_2$$

ここで K_{11} , K_{12} , K_{21} , K_{22} は換算係数を示す。移動量パルス数に換算された上記指令を一周期ごとに求めてサー

図6 走行制御フローチャート

ボコントローラへ与える。図6にこの処理のフローチャートを示す。

5. 移動ロボットの課題

FAに利用される移動ロボットの導入動機は、生産システムの運用のフレキシビリティ向上が最も多い。このフレキシビリティや安全性をいかに生産性と両立させるかが当面の重要な課題である。障害物の自動回避やフォルトトレラントな機能を持つことが求められている。以下、移動ロボットの課題のいくつかを例挙する。

5.1 バッテリの管理

バッテリーの重量が移動ロボットの自重のおおむね1/4を占めている。移動ロボットではバッテリーの自動充電が主流であるが、チャージサイクルとバッテリーの管理に問題が残

る。エネルギー密度の高い新しいパワー源の開発が待たれるところである。

5.2 通信系の整備

電波法の改正で3[m]ルールとなって以来、スペクトラム拡散や微電界法が実質上使えなくなり、特定小電力の無線モデムの利用が増えている。このモデムは空中線系を分離できないため、広域化への対応策としてダイバーシティ法が使えないなどの難点がある。

5.3 拡張性と標準化

最近のユーザー調査によると、FAの満足度を決める要因の第一はシステムの拡張性である。複数の移動ロボットによる協調作業や異なる機種とのインターオペラビリティを検討し、開発的標準化を推進することが必要である。

6. む す び

最近の無人搬送車を例に、FAにおける移動ロボットの応用例を報告した。今後、無人搬送車はより自律化が進み、流通やオフィスなどの非製造分野でのさまざまな用途に利用されるようになると思われる。これらの分野は、人々との接点の多い環境である。人との親和性や使いやすさを今一度考える時期に来ているといえよう。

参 考 文 献

- [1] A. Nakamura et al.: "Autonomous Vehicle Using Optical Fiber Gyroscope," Proceedings of 1992 Japan-U. S. A. Symposium on Flexible Automation, pp. 1375-1378, 1992.
- [2] 中村明德: "FAにおける移動ロボットの適用事例", 日本機械学会中国四国支部第55回講習会教材, pp. 23-29, 1993.
- [3] 中村明德: "無人搬送システムの運行制御", 日本ロボット学会第33回講習会テキスト, pp. 36-45, 1993.
- [4] 中村明德: "搬送技術の動向と課題", 日本機械学会第71期全国大会資料集, vol. G, pp. 35-37, 1993.
- [5] 中村明德: "無人搬送設備の現状と技術課題", 電気学会論文誌D, vol. 114-D, no. 2, pp. 115-116, 1994.

中村明德 (Akinori Nakamura)

1934年10月12日生。1959年工学院大学電気工学科卒業。神戸電子専門学校講師、(株)ダイフク技師長等を経て1995年より鳥羽商船高等専門学校電子機械工学科教授。この間、日本工業標準調査会委員、大阪市立大学、法政大学等の非常勤講師を務める。日本機械学会、計測自動制御学会、システム制御情報学会等の会員。