

工程間自動搬送システムへのリニアステップモータの応用

—第1報 台車搬送装置の試作—

Application of Linear Step Motor to Conveyor System
(1st Report: Prototype of Car Transport Equipment)

樋口 俊郎*・村上 伸**

Toshiro HIGUCHI and Shin MURAKAMI

1. ま え が き

製造工程における省力化・自動化を実現するためには機械加工, 組立作業, 塗装作業, 検査等の各工程の作業の自動化を行うだけでなく, これらの工程内および工程間における素材, 部品, 加工対象物, 製品, 工具等の搬送の自動化を同時に進める必要がある。製造工場内の搬送装置として要求される機能は, 従来は主として物を移動させたり運搬することであった。しかし, 産業用ロボット等を用いて高度な自動化を進めたり, 多品種中少量生産を目的とする生産システムである FMS (Flexible Manufacturing System) を構成するためには, 単なる運搬機能だけでなく, 高精度の位置決め機能を有したり, コンピュータの指令によって搬送経路を随意に制御することのできる搬送装置および搬送システムが要求されている。したがって, 近年, 搬送用ロボットや自動搬送台車の開発がなされ, これらの利用が急速に進められている。また, 一方では, 組立等の作業を行う作業用ロボットによって搬送をも行わせてしまい, いわゆる搬送装置をできるだけ省こうとした生産システムさえもが提案されている。

著者らの研究室では, 数値制御に適したサーボモータであるステップモータの研究を行ってきており, 上記の生産システムの動向を背景として, リニアステップモータの原理を利用した台車あるいはパレットの自動搬送装置の考案を行い, 現在, その実用化を目的として開発を進めている。この搬送装置には, 高精度の位置決め機能を有するとともに, 台車あるいはパレットの運動の制御を電子計算機で容易に行える等の特徴があり, 製造工場において広く利用されることが考えられる。本報では試作した搬送装置の概要の紹介を行い, 台車の加減速制御の一手法について述べる。

2. 試作した搬送装置

台車あるいはパレットの搬送にリニアモータを利用したものは, 工場で利用されている例が報告されており, また, いくつかの新しい空港の手荷物自動配送システムにも採用されている。しかし, これらは, 誘導電動機を展開したリニアモータであるリニアインダクションモータを応用したものである。インダクションモータ自体には位置決め機能がないために, 位置決め何らかの機構を付加する必要がある。製造工場内での台車等の搬送装置としての利用が制限されているようである。

開発した搬送装置は, 加工対象物や組立半製品等が積載・固定された台車の搬送を自動的に行うことを目的としたものであり, この台車の駆動と位置決め, リニアステップモータの原理を利用したものである。

リニアステップモータは数値制御に適したサーボモータであるステップモータを展開したものであり, 近年, プリンタやタイプライタのキャリッジ送りや, XY プロットのペン位置決め機構等に広く利用されてきており, 伝達機構を用いず高精度の位置決め制御を安価に行える特徴を有している。

試作した装置の概略図を図1に示す。従来のリニアステップモータでは, 可動子側に電磁石が固定されるのが普通であるのに対し, 図1に示すように, 軌道側に電磁石を固定し, 台車への給電のための配線を不要とした。このことにより, 台車の長距離の搬送が可能となり, また, 台車の軌道の着脱を容易に行えるなど, 台車の取り扱いが便利になる利点を得られる。しかし, 一方においては, 電磁石を軌道全区間に敷設しなければならないことが, 実用に対する経済的な大きな障害となる。

ところが, 一般の製造工場において台車の位置決めを必要とする所は, 組立機械や加工機械等に対する軌道の特定の場所に限定されており, 軌道全域にわたって位置決めを行う必要はない。このことに注目し, リニアステップモータの電磁石部を図2に示すように位置決めを必

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 東京芝浦電気株式会社

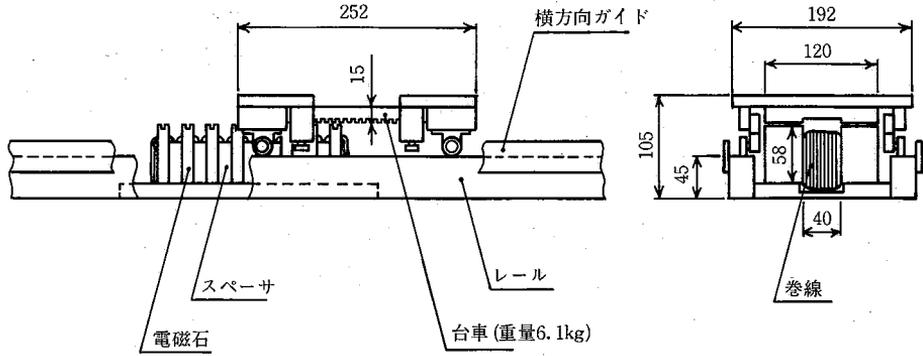


図 1 試作した搬送装置 (ステーション部)

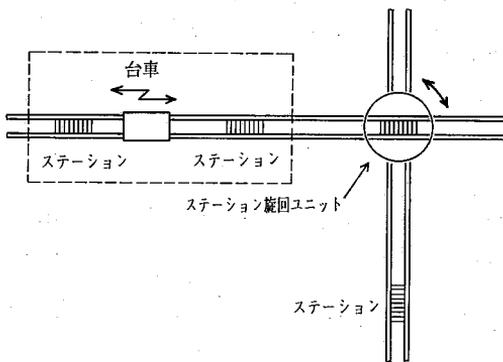


図 2 搬送システムの構成例

要とする特定の個所 (ステーションと呼ぶ) のみに配置することによって先に述べた問題を解決している。

図 1 は、このステーション部を示したものである。ステーションの電磁石と台車下面のラック状の歯によってリニアステップモータが構成され、ステーション内において台車の高精度の位置決めがなされる。ステーション間の移動はステーション内で加速された台車の慣性によって行い、ステーションから送り出された台車は隣接するステーションにおいては減速、停止、位置決めあるいは再加速がなされる。

ステップモータを構成する電磁石をステーション部のみに配置することにより、搬送システムを安価に実現できるだけでなく、ステーションや軌道をユニット化することが可能となり、搬送ラインの構成、変更、拡張を容易に行える利点が得られる。たとえば、図 2 に示したように旋回ユニット等と組み合わせることによって、種々の搬送ラインを形成することができる。

このような搬送システムの構想の実現が可能であるかどうか検討することを目的として、基本要素 (図 2 で破線で囲んだ部分に相当する) の試作を行った。つまり、図 1 に示したステーションを 2 個製作し、これらの間を

80 cm はなして軌道に設置し、これらのステーション間の台車の送り出しと受け取り、およびステーションにおける位置決めの実験を行えるようにした。

台車はボールベアリングで軌道上を案内されており、その下面に付けられている歯のピッチは 8 mm である。

各ステーション部の電磁石群は、4 個が 1 組となって、4 相 VR (Variable Reluctance) 形ステップモータの巻線側 (1 次側) を形成している。各電磁石の上面には図 1 に示すように歯が付けられており、各相間では 1/4 ピッチずつ歯の位相がずれている。図 1 に示したステーションは、この 4 相の巻線を 2 組並べたものである。

台車下部の歯の部分と、電磁石の鉄心の材料としては純鉄を用いた。ステーション内における台車制御可能範囲をできるだけ大きくするために、電磁石の磁路はおのおのが独立し、かつ台車の進行方向に直交する面に形成されるようにしている。

ステーション内においては、通常のリニアステップモータと同様に、電磁石の励磁相を順次切り換えることによって、左右いずれの方向にも台車を移動させることが可能であり、台車を位置決め機能を有する作業テーブルとして利用できる。試作機では、1-2 相励磁方式 (1 相のみの励磁と、隣り合う 2 相の励磁とを交互に行う励磁方式) を用いることによって、1 mm ごとの指令位置に正確に位置決めを行うことができる。

台車下面と電磁石との間の間隙は、大きな推力および保持力を効率良く得るためには、できるだけ小さくした方が良いが、工場での利用を考えた場合、保守の問題や製作精度の面から限界があり、ここでは 0.3 mm とした。

3. 台車の加減速制御

本方式による搬送装置では、台車をステーション間でやり取りする必要があり、このために、いかに効率良く台車を加速してステーションから送り出すか、また、ステーションでいかにして台車を減速停止させ正確な位置

決めるか重要な課題となる。

このステーションからの台車の送り出しと、受け取りを、通常のステップモータの駆動法である開ループ制御で行うことは非常に難しい。したがって、台車の位置情報に基づいて励磁相の切り換えを行う閉ループ制御駆動法によって、加減速等の台車の運動制御を行った。

図3に閉ループ制御の概念の説明図を示す。位置検出器は、台車の歯と同じピッチの切り欠きを入れた薄板を台車と取り付けたものと、軌道側に取り付けたフォトセンサによって構成されている。フォトセンサは1/8ピッチずつずらして4個並べたものを、ステーションの両端部に1組ずつ固定した。これらのフォトセンサの出力 $X_1 \sim X_4$ から、図4に示すように1ピッチ内を8個の領域に識別できる。 $X_1 \sim X_4$ の信号から $y_1 \sim y_3$ の3ビットで表わせる位置コードが得られる。一方、1-2相励磁方式では、 $\phi_1 \sim \phi_4$ の励磁状態は図4に示すように8通りあり、 $Y_1 \sim Y_3$ の励磁状態コードに対応させておく。おのおの励磁状態の静止時における安定点は1ピッチ内を等分する。

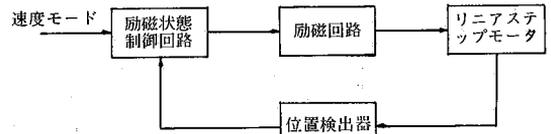


図3 閉ループ制御駆動の構成

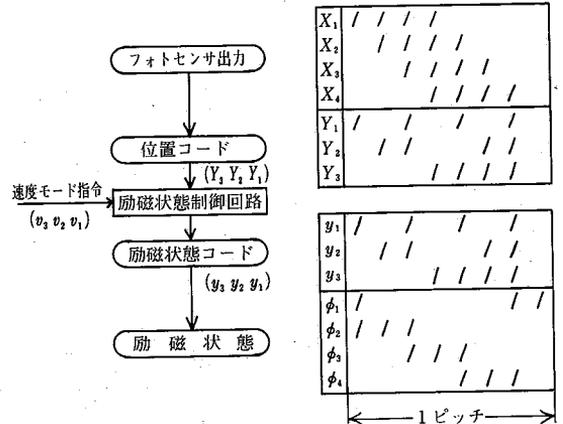


図4 閉ループ制御駆動の制御方法

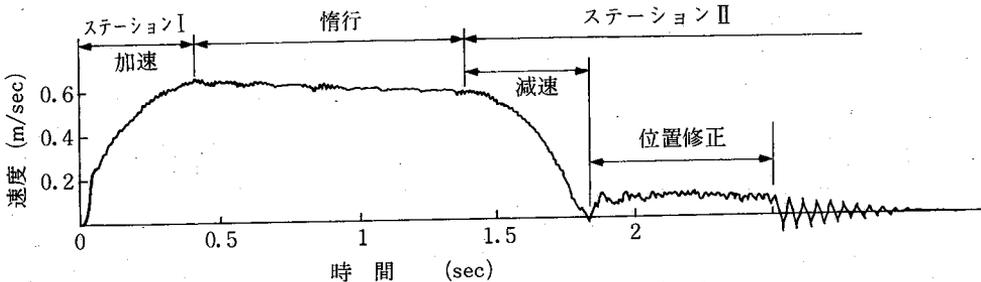


図5 ステーション間の搬送における台車の速度

ここでの閉ループ制御駆動方式は、速度モード指令によって、位置検出信号から励磁相を決定しようとするものである。励磁相の決定は、位置コードに3ビットで与えられる速度指令モードを加算して得られた励磁状態コードによってなされる。つまり、速度モード指令によって、台車の検出位置に対して、いくつ前あるいは後に安定点がある励磁状態をとるかが順次決定されるのである。この速度モードを適宜切り換えることによって、台車の加減速、停止等の運動制御が可能となる。

この閉ループ制御を、TTLによる論理回路によっても、またマイクロコンピュータによっても実現することができた。

図5に、1つのステーションから送り出し、隣のステ

ーションで減速され停止後、指令位置への修正を行った場合についての、台車速度の測定結果の1例を示す。台車のステーション間の送り出しと受け取りが実現でき、比較的滑らかに台車の加速、減速がなされていることがわかる。

4. あとがき

本報では、リニアステップモータを応用した搬送装置について、その特徴と、試作機の概要について述べた。台車の運動制御法の詳細については、続報に記す予定である。

なお、本研究の一部は昭和55年度選定研究費によって行ったものである。(1982年3月15日受理)