

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560350

研究課題名(和文) 間欠配置PMLSMによるフレキシブル搬送装置の開発

研究課題名(英文) Development of flexible transport device according to the intermittent placement PMLSM

研究代表者

百目鬼 英雄 (DOHMEKI, HIDEO)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：40386355

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：高速物流搬送を可能とする搬送装置の開発を目的として、長距離搬送を行うメインの搬送装置と、個別の作業を行うサブラインの構成をPM形リニアモータで構成するシステムを提案した。メインシステムは、ホール素子による位置検出器とリニアモータで1ユニットを構成し、このユニットを間欠に配置することで、必要な距離の搬送ができるシステムを完成した。また、各ユニットは最低2台のインバータを交互に切り替える制御法を開発した。サブラインをメインの移動子の位置と同期して駆動する制御を行うことで、積載物の積み替えを位置決めすることなく動作中に可能とすることで高速搬送を可能とするシステムを構築した。

研究成果の概要(英文)：For the purpose of development of the conveying apparatus capable of high-speed distribution transport, I have proposed a system that consists of a PM type linear motor., the main carrying device for carrying out long-distance transportation, a subline of the configuration for individual work. The main system may constitute one unit at a position detector using Hall elements and a linear motor, and by placing the unit in an intermittent, to complete the system capable of conveying the necessary distance. Moreover, each unit has developed a control method for switching at least two inverters alternately. By performing the control for driving in synchronism with the position of the main mover of the sublines to construct a system that enables high-speed conveyance by a possible during operation without positioning the transshipment of the Load.

研究分野：電気機器工学

キーワード：リニアモータ 平行同期運転 高速搬送

1. 研究開始当初の背景

リニアモータによる固定子を間欠配置した搬送装置は、 v/f 一定制御インバータ駆動によるリニア誘導モータ(以降 LIM)方式で実用化されていた。しかし、LIMは、磁束位置を推定するのが困難なためベクトル制御による位置制御に難があり高精度位置決め搬送システムの要求を満たさず、本格的な実用化を妨げる要因となっていた。

PMLSMは、この点を満足するシステムであるものの位置センサとインバータの関係から間欠配置は困難とされていた。実現するための課題は、移動子の位置検出法と各固定子においてベクトル制御を個別に実現することであり、また、固定子・移動子の配置をどのようにするかである。

固定子ごとに、位置センサとしてホール素子を配置し、磁極(位置)検出の問題を解決するとともに、合わせて離散的に固定子を配置するため各移動子に対して必ず固定子を一台ずつ対向させ、複数台での走行や非常停止時の自己始動を可能にする駆動システムとなることを提案した。

リニアモータを搬送装置に用いる研究は、現在に至るまで国内外で行われているものの、インバータの切り替えを含め、リニアモータのモジュール化に関する研究や搬送経路をフレキシブルに構成する手法は研究されていない。

2. 研究の目的

(1)多品種・少量生産をフレキシブルに行うためには、工程間の搬送を高速かつフレキシブルに行うことが不可欠である。固定子を間欠に配置するPMLSMをモジュール化することで、必要な距離に応じて多数設置しリニアモータの欠点を解決するとともに、ラインの構成を自由に配置可能とする、搬送システムの構築を目的とする。

(2)システム化に際しては、一台の固定子に対して、ホール素子を使用した位置検出システムとインバータを組み合わせた駆動システムとして実用的なモジュール化設計を行う。固定子を組み合わせる場合、インバータの台数を個々に割り振ることは経済性の上で問題があり、配置を最適にするインバータの切り替え法を明確にする。

3. 研究の方法

(1)全長6mのリニア軌道に固定子6個を間欠配置したPMLSMライン1本と、並行した軌道を持つ実験ラインにより実証実験を行う。現在2台のインバータで2固定子による駆動を行っているが、インバータ2台を切り替えて6固定子を駆動するシステム構成法を開発する。

(2)位置検出センサに、マグネスケールを利用した場合、移動子側にセンサヘッドを取り付け、ケーブルを引きずりながら駆動している問題があり、この状況では、高速・長距離駆動の実現は困難である。従って、位置センシングを一次側(固定子側)で行い、

間欠部分にホール素子による位置検出システムを構成する必要がある。ホール素子を固定子間に配置し移動子の永久磁石の磁束を検出することで、固定子と一対一の関係を構築する。

ホール素子の配置は、3相の磁極配置と同様にし、3相-2相変換を行った後、レゾルバのRD変換器同様の信号処理を行い、位置信号を生成する。この信号により固定子毎に配置したインバータのベクトル制御を行い、間欠配置でも推力制御が可能となる。しかしながら、固定子が連続しないことに対する端効果を補償するためには、各固定子を連続なものとみなし制御する制御器をインバータの上位コントローラとして配置し、外乱推力オブザーバを構成する必要があり、また、センサ間の信号の連携を含め、各固定子をコントロールする制御ループに関する研究を行う。

間欠配置PMLSMの駆動に特化した、インバータの開発及びセンサユニットの開発、上位コントローラの開発を行い、PMLSMのモジュール化や、1ライン全長に渡る連続した滑らか駆動の実現を目的とした研究を行う。

(3)高速搬送の最大のキーポイントである、積み荷の受け渡しを停止することなしに行うため、図5で示す2ラインの同期制御に関する研究を行う。マスターラインは、図2で示した工場搬送全体を司るメインラインとすると、このラインでは常時高速で運転することが要求される。モデルでは、5m/secで移動子が駆動されている必要がある。しかし、スレーブ側で作業を行うため、マスター側からの加工物をスレーブ側に受け渡すため、一旦、移動子を停止させてから積荷を引渡す作業を行い、再度始動させる必要がある。このため提案の間欠配置PMLSMで高速搬送が可能となったとしても、工程間のつなぎの部分でボトルネックとなり高速搬送の妨げとなると予想される。このため、位置決め停止することなく、メインとサブラインを同期させ働いている状態で荷物のハンドリングを行えば、この時間の短縮が可能であり、物流上革新的といっても良いほどスループットを出すことができる。このため、マスター部分の速度を最大速度よりどの程度減速すれば同期が可能かを含め実用的な同期に必要な制御的事項に関する事柄を実験結果を基に整理し、提案のシステムの最高速度に対する受け渡しを考慮した実効速度の理論的な検証を行う。

4. 研究成果

(1)固定子を間欠に配置することによりメインの搬送では組み合わせ台数により自由に搬送距離を設定するシステムを提案している。固定子の切り替えにソリッドステートリレーによるインバータ切り替えを行っていたが、瞬時の切り替えが難しかった。

そこで固定子の中心巻線を IGBT で切り替える方法を採用することとした。図 1 に全体の回路構成を示す。

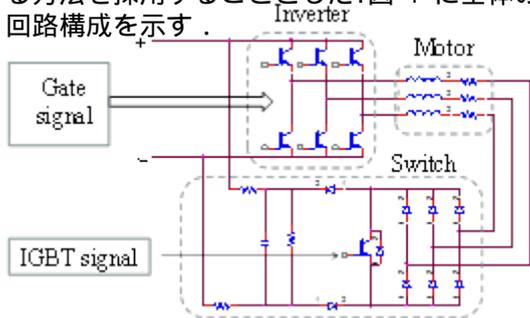


図 1 インバータ切り替えスイッチ

固定子と IGBT スwitch の組み合わせをカスケードに接続することで多数台の固定子を原理的には 1 台のインバータでコントロールできるシステムを開発した。

(2) 固定子間欠配置の最大の問題は、移動子の位置検出であり、高速駆動を目的とした場合高精度の検出は必要としないため、回転器で行われるホール素子による位置検出でもベクトル制御可能な分解能は確保できると想定し、ホール素子による位置検出システムを採用することとした。

2 個のホール素子により 2 相交流信号を検出する方法が一般的であるが、低次の高調波成分の影響を除去できないため、3 個のホール素子により 3 相信号を検出する図 2 に示す位置検出器を作成し、各固定子の前段に排泄することで 1 つのユニットを構成するシステムを開発した。

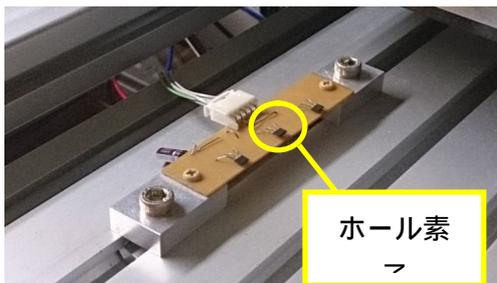


図 2 ホール素子による位置検出器

開発した位置センサと従来のマグネスケールを使用した場合と比較して駆動した結果を図 3 に示す。両者とも一致した駆動特性が得られており実用的な特性を得られている。

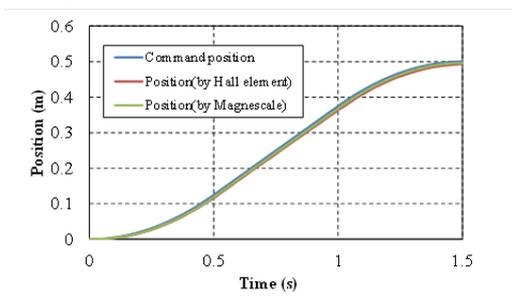


図 3 駆動特性結果の比較

(3) 平行動機運転をするため、回転機で使用される dq 変換モデルをベースとし、リアモータのパラメータを考慮した図 4 に示す制御モデルを構築した。また、スレーブ側のモータモデルは ISPM-LSM と異なり、固定子の端部を考慮する必要がないため、簡素化されたモデルとなる。また、並行同期運転手法は、マスタ側の速度制御系に対して並行にスレーブの速度制御系を構成している。スレーブ側の速度指令値は、マスタ側の実速度を基にしている。

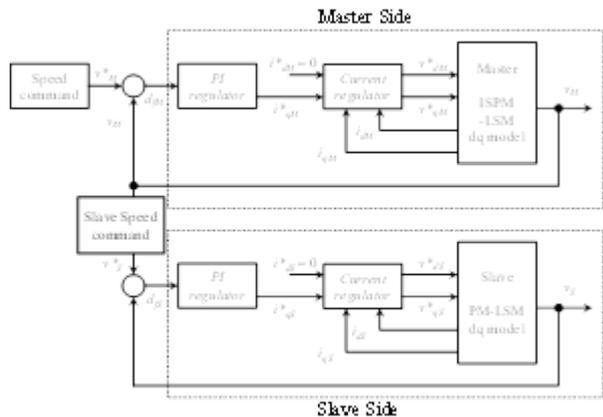


図 4 平行同期運転制御モデル

並行同期運転状態でかつ定速度範囲時に積載物(5kg)をマスタ側からスレーブ側に移載を想定した実験を行った。これまで行ってきた実験から積載物移載時において、スレーブ側の制御ゲインが高い場合、速度に脈動が生じる。この対処策として、移載時には速度制御のゲインを可変する手法を利用し、良好な結果を得た。

ここで、移載時の脈動低減のための条件は、スレーブ側が一定速度に達してから 0.1 秒後に 0.5 秒かけて移載し、スレーブ側の速度制御系のゲインを積載物が移動したと同時に比例ゲイン $K_{p,S} = 10\text{As/m}$ と積分ゲイン $K_{i,S} = 5\text{A/m}$ に可変した。マスタ側からスレーブ側に負荷の移載を開始する時間 1.1 秒付近では、負荷の急峻な変動により 1.2m/s 程度脈動が生じた。また、この脈動分を含んだ状態でスレーブ側の指令側速度を生成した結果図 5 に示す結果を得た。

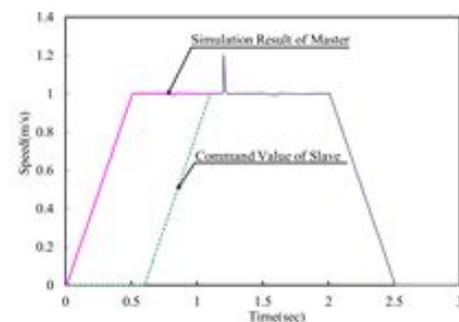


図 5 平行同期シミュレーション結果

スレーブ側のサーボゲインを高くすることマスタ側への追従性が良いことが確認でき、搭載物を乗せ状態では、移動時において制御系のゲインを可変して対応することで制御性の低下を抑えた運転が可能という成果が得られた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

1.) 鈴木憲史、高井浩行、百目鬼英雄；永久磁石リニア同期モータの並行同期運転の検証、日本 AEM 学会、日本 AEM 学会 Vol.23, No.2 掲載 (2015) 査読有

2.) 朴赫、鈴木憲史、百目鬼英雄；固定子間欠配置 PM-LSM の速度脈動の抑制法の提案、日本 AEM 学会誌, Vol.21, No.2, pp.266-271(2013.06) 査読有

[学会発表](計 14件)

1. 高井浩行、鈴木憲史、百目鬼英雄；並行同期運転に利用する PM-LSM のサーボ駆動に関する検討、電気学会、平成 27 年電気学会全国大会、5-104、平成 27 年 3 月東京都市大学(東京)

2. 鈴木憲史、高井浩行、内山航、百目鬼英雄；搬送システムへの利用を目的とした PM-LSM の並行同期運転手法、電気学会、平成 27 年電気学会全国大会、5-105、平成 27 年 3 月東京都市大学(東京)

3. 鈴木憲史、高井浩行、百目鬼英雄；永久磁石リニア同期モータの並行同期運転の検証、日本 AEM 学会、日本 AEM 学会 第 23 回電磁現象および電磁力に関するコンファレンス、PS10、平成 26 年 12 月、p379-p384 サポートホール高松(高松)

4. 内山航、鈴木憲史、百目鬼英雄；ホール素子による永久磁石リニアモータの位置検出器の検討、日本 AEM 学会 第 26 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD26)、22Bp13、平成 26 年 5 月、p351-p354 アイーナ(岩手)

5. K. Suzuki, K. Utiyama, H. Piao, and H. Dohmeki "Study of Parallel Synchronous Drive Method of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor", Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics 2014 (APSAEM2014), 8-9, July 2014 台中(台湾)

6. R. Kobayashi, H. Piao, K. Suzuki, and H. Dohmeki, "Study of Intermittent Stator PM-LSM Control Method by a Position Detector using Hall Element", The 16th International Conference on Electrical Machines and Systems(ICEMS2013), LMML-1343, October 27, 2013 台中(台湾)

7. H. Piao, K. Suzuki, and H. Dohmeki, "Proposition of the long-distance conveyance system using the Intermittent Stator Permanent Magnet

Linear Synchronization Motor", The Ninth International Symposium on LINEAR DRIVES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS(LDIA2013), ID400, July 9, 2013 杭州(中国)

8. 朴赫、鈴木憲史、百目鬼英雄；固定子間欠配置 PM-LSM の速度脈動の抑制法の検討、日本 AEM 学会 第 21 回電磁現象および電磁力に関するコンファレンス PS16、平成 24 年 11 月、p363-p368 東北大学(宮城)

9. 小林壘、鈴木憲史、百目鬼英雄；間欠配置 PM-LSM の外乱オブザーバによるダイナミクス推定法の検討、日本 AEM 学会 第 21 回電磁現象および電磁力に関するコンファレンス、PS3、平成 24 年 11 月、p299-p304 東北大学(宮城)

10. 鈴木憲史、小林壘、内山航、百目鬼英雄；永久磁石リニアモータの搬送システムに適応する並行同期運転手法の提案、日本 AEM 学会 第 26 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD26) 22Bp14、平成 26 年 5 月、p355-p358 アイーナ(岩手)

11. 小林壘、朴赫、鈴木憲史、百目鬼英雄；間欠配置 PM-LSM の外乱オブザーバによるダイナミクス推定法の実験的検証、電気学会リニアドライブ研究会、LD-12-078、平成 24 年 11 月、p71-p76 電気学会(東京)

12. 朴赫、鈴木憲史、百目鬼英雄；固定子間欠配置永久磁石リニア同期モータを用いた搬送システムの提案、電気学会リニアドライブ研究会 LD-12-077、平成 24 年 11 月、p67-p70 電気学会(東京)

13. 朴赫、河野真也、鈴木憲史、百目鬼英雄；固定子間欠配置永久磁石リニア同期モータの速度脈動の抑制法の検討、電磁力関連のダイナミクスシンポジウム講演論文集、Vol.24st, 16B3-5、平成 24 年 5 月富山国際会議場(富山)

14. H. Piao, S. Kohno, K. Suzuki, and H. Dohmeki, "Development of the change circuit of the inverter of Intermittent Stator PM-LSM", The 15th International Conference on Electrical Machines and Systems(ICEMS2012), DS3G5-2, October 23, 2012 北海道立道民活動センター(北海道)

6. 研究組織

(1) 研究代表者 百目鬼 英雄
(DOHMEKI HIDEO)
東京都市大学・工学部・教授
研究者番号：40386355