

実世界情報システムプロジェクト アテンティブエンバィロメント研究グループ
平面リニアモータに関する研究成果

高増潔, 小谷潔
工学系研究科精密機械工学専攻

概要

AE(アテンティブエンバィロメント)研究グループで開発している AWB(アテンティブワークベンチ)において,作業員に対して部品やツールを搬送する自走式のトレイは重要な要素である.図1に示すように,自走式のトレイは,作業台の上を自由自在に動き回ることによって,作業員を支援する.昨年度までは,ソーヤ型平面リニアモータを中心にその実用化に関して研究を行い,以下のような機能を確認した.

- 2次元移動:AWBの中を2次元的に自由な位置に移動できる機能を持つ.
- 絶対位置決め:特別なセンシングシステムが不要で,オープンループによってトレイの位置が絶対的に決定可能である.

本年度は,上記のソーヤ型の平面リニアモータの特徴を活かすために複数のトレイによる協調動作の確認を行った.さらに,トレイシステムを無線化することを目指し,新しい方式の検討を行った.以下に本年度の研究の要点を示す.

- 協調動作:複数のトレイが協調して作業を行う動作の可能性を確認した.
- 無線化の検討:無線化するために必要な要素を検討した.



図1 AWBにおける自走式トレイのイメージ

1 平面リニアモータシステム

自走式のトレイとして,昨年度までに開発したソーヤ式平面リニアモータ¹⁾を図2に示す.プラテンの大きさは1000mm×1000mmで,その上に80mm×80mmの3つの自走トレイが空気圧によって浮上している.開発した平面リニアモータの仕様を表1²⁾³⁾に示す.

昨年度の性能評価実験により,トレイは自由に2次元的な移動が可能であることが確認できた.さらに,トレイの位置決めは,ステップモータと同様の原理により初期位置が分かれば60μm程度の絶対精度で位置決めを行えることが分かった.また,最大で質量が10kg以上のものを掲載しても自由に移動できた.精度評価実験により,位置分解能が40μm,繰返し精度が20μmということが分かった.

このような性能により,複数のトレイが協調して細かい動作を行うことが可能となり,自走トレイに要求される目的に合致していることを確認した.



図2 平面リニアモータシステム

表 1 開発した平面リニアモータの仕様

ブラ テン	寸法	1000 mm × 1000 mm
	格子ピッチ	2 mm × 2 mm
自走 トレイ	寸法	80 mm × 80 mm × 28 mm
	浮上量	20 μm
	最大推力	15 N
	最大搭載質量	10 kg
	最大速度	160 mm/s
	位置決め分解能	42 μm
	位置決め繰り返し精度	20 μm
	絶対位置決め精度	60 μm

2 リニアモータの協調動作

複数の自走トレイを組み合わせ、複雑な作業を行う場合の構想の例を図3に示す。1つの自走トレイはX方向とY方向の2つの自由度を持つが、複数のトレイを組み合わせることで多自由度の機構を構成することができる。この例では3つのトレイを組み合わせ、多自由度の加工機械を作り、もう一台のトレイに加工物を置いて加工している。このような複数のトレイの協調作業によりAWBとして細かく複雑な作業も実施可能である。

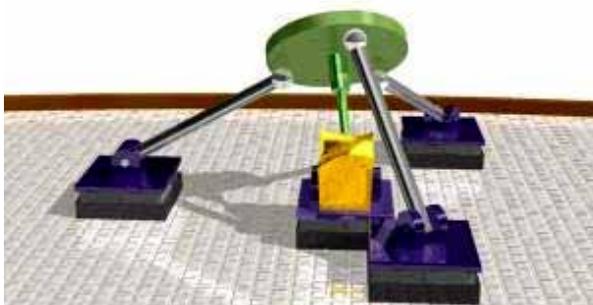


図 3 複数のトレイの協調作業の構想例：3つのトレイを組み合わせ、多自由度の加工機械を作り、もう一台のトレイに加工物を置いて加工する

2.1 同期動作

制御コンピュータからステップングモータコントローラを介して、完全に同期の取れたパルスが各トレイに供給されるため、複数のトレイをパルス単位で同期的に動かすことができる。既に評

価した結果のように、各トレイは 60 μm 程度の絶対位置決め精度を持っているため、同期的に制御した場合は、各トレイも非常に高精度に同期して移動することが考えられる。

図4は、同期中の2つのトレイ間距離変化を測定する構成図である。2つのトレイの間隔を距離センサで測定しながら同期移動を行った。結果としては、同じモータコントローラを使った場合は、2つのトレイの間隔は最大で 50 μm 程度の誤差しか生じないことが分かった(図5)。このため、2つ以上のトレイを高度に協調動作させることが可能となる。

また、2つのトレイを別々のモータコントローラで制御した場合は、2つのモータコントローラへほぼ同時に制御コンピュータから同じ指令を出しているが、スタートのタイミングのずれにより、大きな距離変化が生じている(図6)。この結果から、高度な協調動作が必要な場合には、同じモータコントローラによるパルス単位での同期制御が必要ということが分かった。

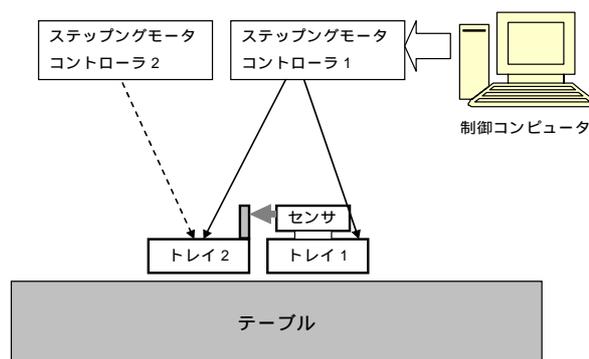


図 4 同期動作のトレイ間隔測定方法

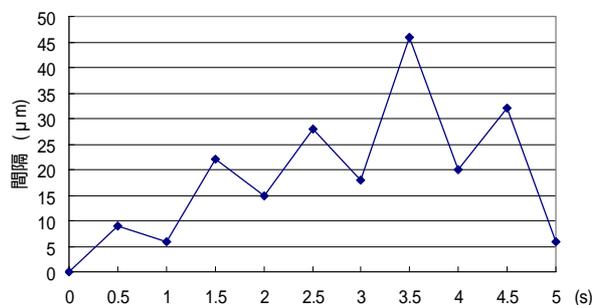


図 5 同じモータコントローラを使った場合のトレイ間隔、5秒間動機動作を行った：50 μm 以下の精度で同期動作可能

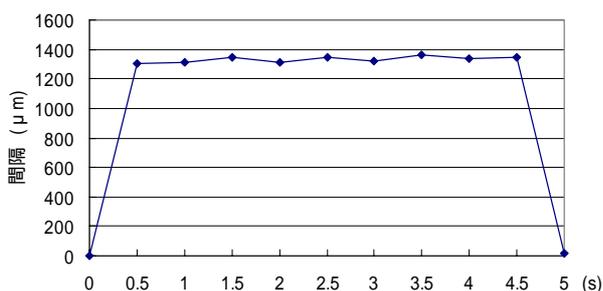


図 6 別々のモータコントローラを使った場合のトレイ間隔，5 秒間同期動作を行った：スタートのタイミングがにより位置が 1 mm 以上ずれることが分かった

2.2 複数のトレイによる搬送

移動トレイの最も重要な役割の一つは運搬作業である。各トレイは搭載質量 10 kg，大きさ 80 mm × 80 mm という制約があるが，複数のトレイを合わせて一つのトレイのような動作を行うことで大きな部品や重い部品の運搬を可能にする。前項で確認したように，複数のトレイを高精度に同期駆動させることが可能なために，外部および内部センサを用いる必要や，フィードバック制御などをする必要なしに，複数台のトレイによって大きい搬送対象を運ぶことが可能となる。

2.3 パラレルメカニズムによる協調動作

より複雑な協調動作として，パラレルメカニズムを用いた協調動作の検討を行った。図 7 は，2 つのトレイの上にパラレルメカニズムを構成した例である。各トレイは X 方向と Y 方向の 2 つの自由度を持っているため，2 つのトレイを組み合わせることで 4 自由度を持つ機構を構成できる。それぞれの関節は回転関節となっていて，片方は平行クランク機構になっている。この例では，2 つのトレイの間隔が小さくなるとメカニズムの上側のテーブルが上に移動し，2 つのトレイの間隔を大きくすると下へ移動することで Z 方向の自由度を達成している。また，2 つのトレイの相対的な位置の角度をつけることで Z 軸周りの回転が可能となる。

図 8 は，6 自由度のパラレルメカニズムの構成例である。3 つのトレイにパラレルメカニズムを搭載することで XYZ 方向の並進および XYZ 軸周りの回転が可能なる 6 自由度のパラレルメカニズムを構成することができる。この例では，3 本の足がトレイに接続している部分は球面軸受けで，上側と接続している部分は回転軸受けになっている。

このように XY 方向の 2 自由度しか持たないトレイでも，同期動作が可能のために，複数台のトレイを組み合わせることで多自由度の機構を簡単に構成することができる。

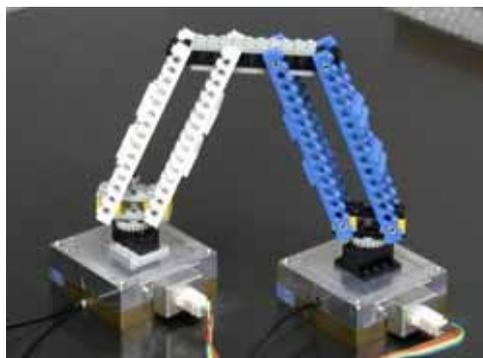


図 7 2 台のトレイによる 4 自由度 (XYZ 方向の移動および Z 回りの回転) パラレルメカニズムの例

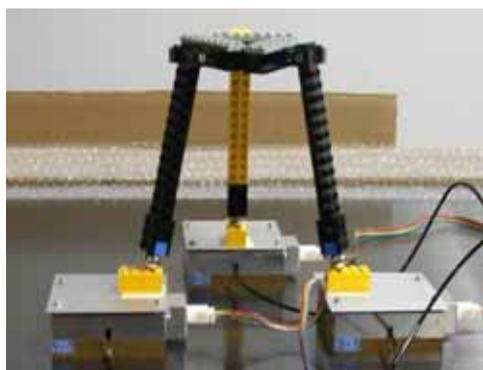


図 8 3 台のトレイによる 6 自由度 (XYZ 方向の移動および XYZ 回りの回転) パラレルメカニズムの例

3 平面リニアモータの無線化

平面リニアモータを無線化するために問題となるのは，浮上のための空気配管と電源供給の線である。電源については，バッテリーを搭載することでなくすことが容易である。一方，空気配管を除去すると摩擦が発生するため，摩擦係数と推力，重力，吸引力の関係が無線化において重要になる。ソーヤー型の平面リニアモータでは，大きな推力が得られるかわりに，吸引力が強いため空気浮上を行わない場合に摩擦力によって動作が不可能になる。

そこで，ソーヤー型以外の平面リニアモータとして VR 型 (variable reactance type) の平面リニアモータについて境界要素方式のシミュレーションソフトウェア (ELF/MAGIC) によって解析を行

った⁴⁾。図9は、トレイとプラテンに働く力の解析例である。図10～図12にトレイの位置と水平方向および垂直方向の推力とその比の関係を示す。推力の比が摩擦力より大きい部分がないと、リニアモータは駆動できない。図12から分かるように、0.2程度の摩擦力まで駆動できるため、VR型によるリニアモータの無線化が可能と思われる。

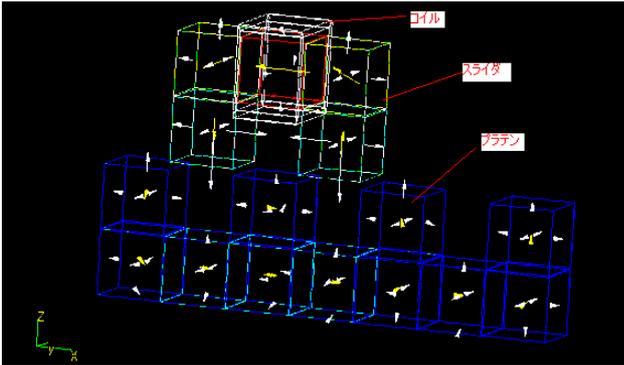


図9 VR型リニアモータの推力と吸引力の解析例 プラテン：歯先幅 10 mm，ピッチ 20 mm，比透磁率 1000，スライダ：歯先幅 10 mm，比透磁率 1000

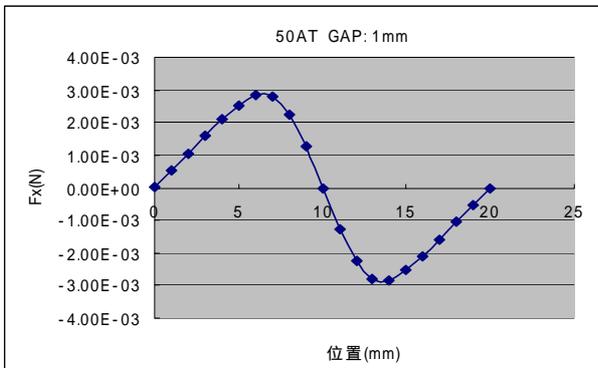


図10 トレイの位置と水平方向の推力の関係

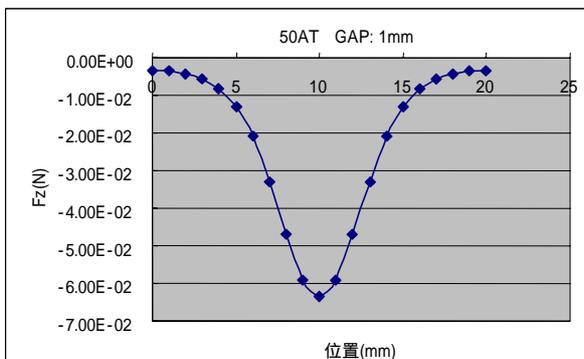


図11 トレイの位置の垂直方向の推力の関係

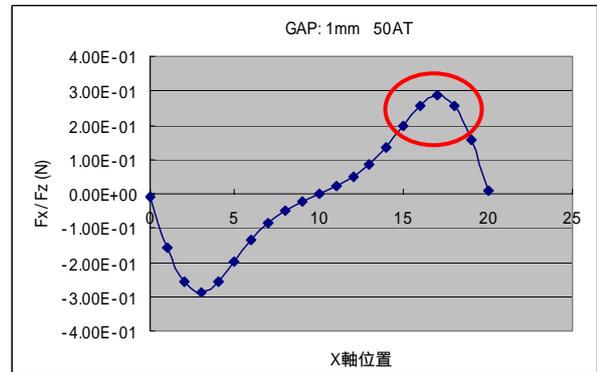


図12 トレイの位置と水平方向の推力と垂直方向の推力の比の関係

5 まとめ

昨年度までに平面リニアモータを用いることで、AWBの重要な要素である自走トレイを開発することが可能となった。本年度は、自走式トレイの協調動作のための性能を試験し、50 μm以下の精度で同期動作が可能であることを確認した。また、トレイの協調動作について、パラレルメカニズムを利用する新しい提案を行った。

AWBとして自走トレイを用いる場合に、無線化する必要がある。そこでVR型の平面リニアモータについて、性能評価のシミュレーションを行い、空気浮上なしに駆動可能であることを確かめた。今後は、実際に自走トレイを無線化することによりAWBとしての実用化を計画している。

参考文献

- 1) B. A. Sawyer: Magnetic Positioning Device, US patent 3,457,482, 1969
- 2) 陳欣, 小谷潔, 高増潔: 作業者配慮型生産システム(第4報) - 平面リニアモータを用いた駆動機構の開発 -, 2003年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2003, 643
- 3) X. Chen, K. Takamasu, M. Nikaidou: Evaluation of Thrust Force and Positioning Accuracy of a New Linear Motor, Proc. 6th Int. Symp. Measurement Technology and Intelligent Instruments, 2003, 126
- 4) 陳欣, ゲオルゲ・オレア, 妹尾達也, 小谷潔, 高増潔: 平面リニアモータシステムの開発(第2報) - 複数モータの協調動作と改良点の提案 -, 2004年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2004, 115