

## 平面リニアモータに関する研究成果

高増潔，小谷潔，陳欣  
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イロメント) 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，協調動作を行う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することで，作業者を支援するために，以下のような条件を満たすことが重要である．

- 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．
- 協調動作：複数のトレイが協調して作業を行う．

このような特性をもった駆動機構は，限られた分野でしか実現されていない．そこで，我々はステップモータを2次元に拡張した平面リニアモータを自走式トレイとして用いることを提案している．本報告では，開発を行っている平面リニアモータの概略について説明する．

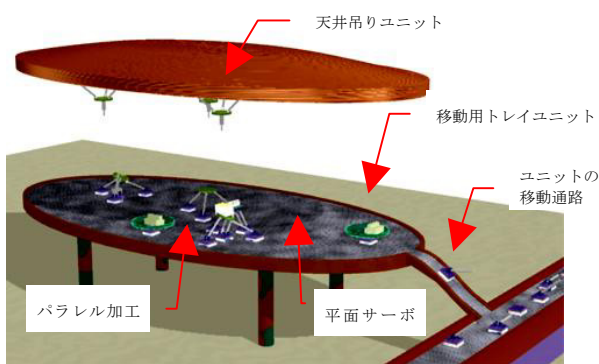


図 1 AWB における自走式トレイのイメージ

### 1 はじめに

平面リニアモータは，2組のリニアモータを X 方向および Y 方向に設けることで平面移動を可

能にした機構である．ステップモータは，コピー機やプリンターなどの駆動用のモータとして，また，時計の秒針の駆動用などに利用されており，ステップを刻むようにデジタル的に動くことが特徴で，センサなしにも絶対的な回転をすることができる．これを直線運動に適応したのがリニアモータで，浮上式高速鉄道であるリニアモータカーに採用されることで有名である．

リニアモータには種々のタイプがあるが，我々が採用したソーヤー式<sup>1)</sup>のリニアモータ原理を図 2 に示す．移動するステージには強力な永久磁石と2組のコイルが設置されている．下の台(プラテン)は，軟鉄でできた板の表面を等間隔で凹凸にしたものである．強力な永久磁石に対して，その磁力を強めることと弱めることをコイルに電流を流すことで行うと，磁力が強いところがプラテンの凸の部分に吸い付く．図 2 ではコイル A に流した電流により 1 の部分の磁力が強くなりこの部分がプラテンの凸部に吸い付く．2組のコイルへ流す電流のオンオフと向きを切り替えることで，プラテンの上をステージが移動できる．

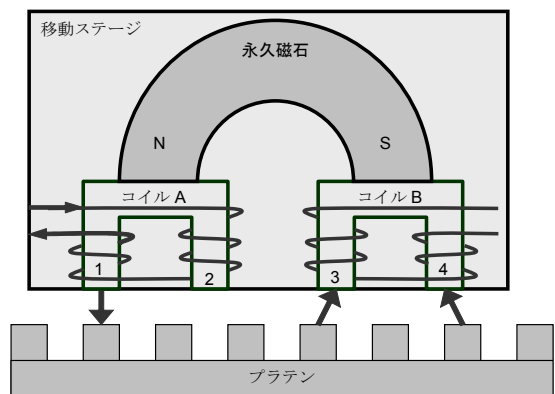


図 2 ソーヤー式リニアモータの原理

### 2 平面リニアモータシステム

図 3 は，ソーヤー式リニアモータを2次元に拡張した平面リニアモータで，図 4 にシステム構成を示す<sup>2)</sup>．プラテンの大きさは 1000 mm × 1000

mmで、その上に80 mm×80 mmの3つの自走トレイが空気圧によって浮上している。原理で示したように、プラテンは等間隔の格子状の凹凸があればよいので、サイズを簡単に大きくできる。開発中の平面リニアモータの仕様を表1に示す。ステージの位置決めは、ステップモータの原理により初期位置が分かれば60 μm程度の絶対精度で位置決めを行える。また、最大で10 kg以上のものを掲載しても自由に移動でき、位置分解能が40 μm、繰り返し精度が20 μmで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。

表1 開発中の平面リニアモータの仕様

プラ 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	

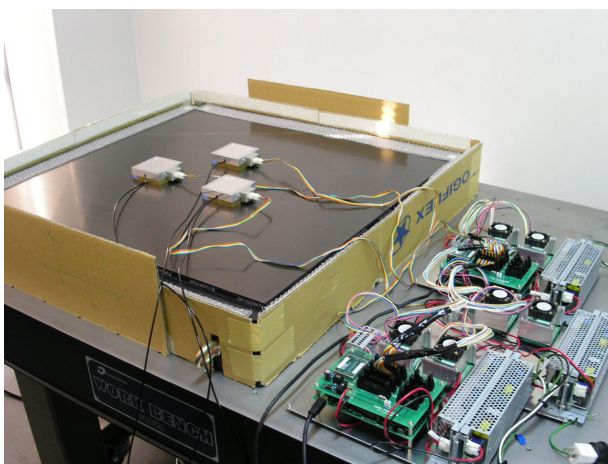


図3 平面リニアモータシステム

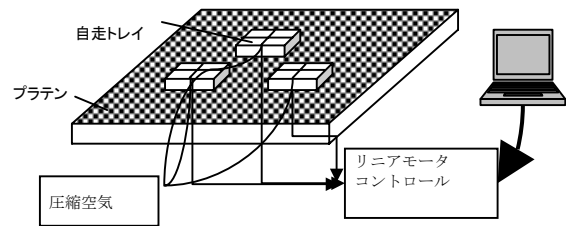


図4 平面リニアモータシステムの構成

### 3 自走式トレイの性能評価

図5に自走式トレイの写真を示す。図6は上部のカバーを外した写真で、4つのリニアモータユニットが内蔵されている。2個のリニアモータユニットがそれぞれX方向およびY方向の駆動を担当している。

開発した自走式トレイの性能評価を以下の項目に対して行った<sup>3)</sup>。結果の一部は表1に示したとおりである。

- 浮上量
- 位置決め精度（内挿精度と繰り返し精度）
- 静止水平推力
- 自起動周波数（最大自起動周波数と最大速度）
- 負荷と剛性

図7に空気の給気圧と自走式トレイの浮上量の関係を示す。0.2 MPa以上の気圧によって20 μm以上の浮上量が得られている。図8は、静止水平推力をリニアガイドとロードセルによって測定している様子である。図9に示すように、2 A以上の電流によって15 N以上の推力が得られている。図10に位置決め精度の測定方法を示す。デジタル式マイクロメータにより、位置決めの繰り返しおよび絶対精度を評価した。図11は、位置決め精度の評価例である。この例でも分かるように±30 μm程度の絶対的な位置決め精度が達成されている。この位置決め精度は主にプラテンの格子の製作精度によるものである。

以上の性能評価により、開発した自走式トレイは、AWB に使えるために十分な性能があると考えられる。

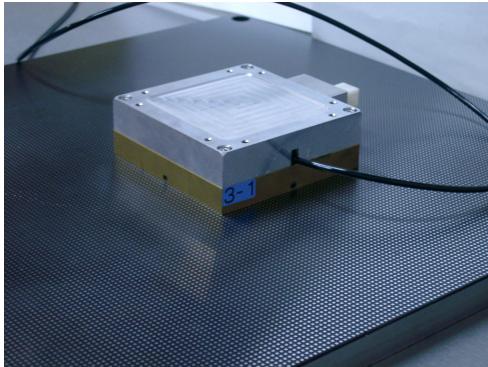


図5 自走式トレイの概観 (大きさは 80 mm × 80 mm × 28 mm)

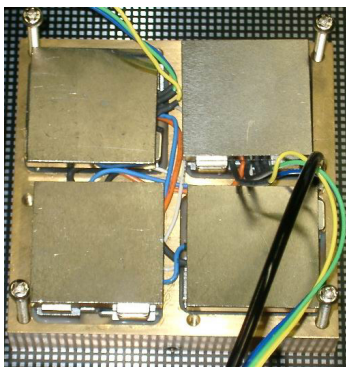


図6 自走式トレイの内部構造 (4組のリニアモータ)

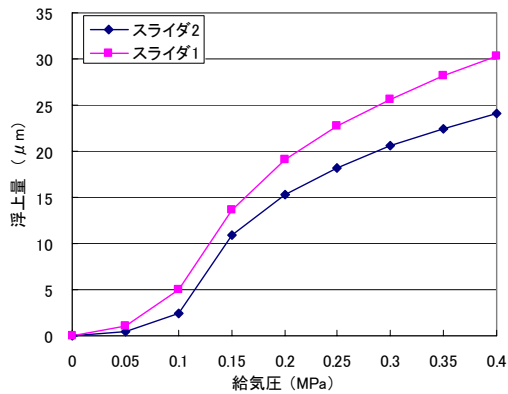


図7 給気圧と浮上量の関係

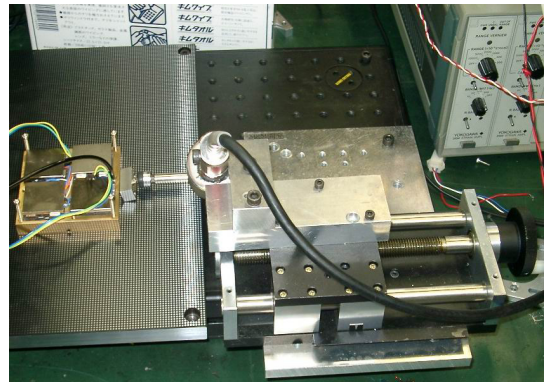


図8 推力の測定実験：リニアガイドとロードセルによる測定

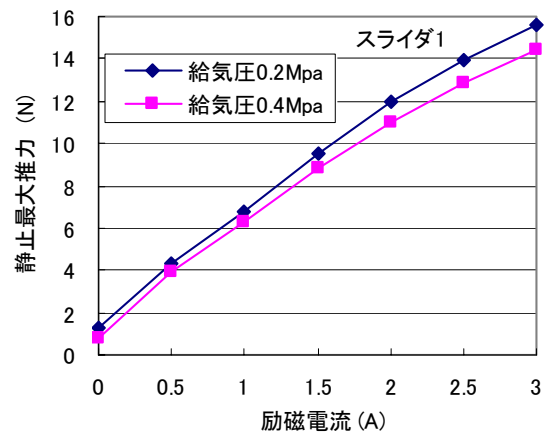


図9 励磁電流と静止最大推力の関係

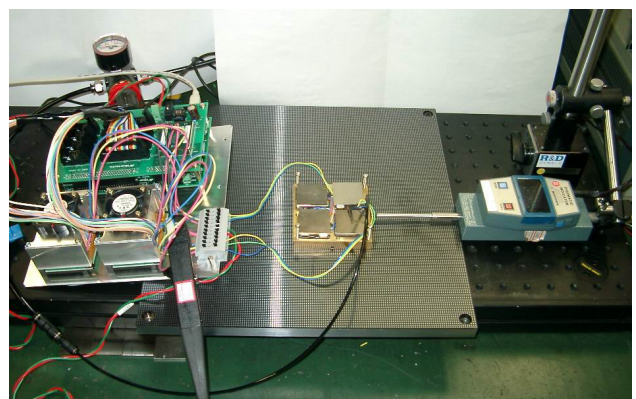


図10 位置決め精度の測定：デジタルマイクロメータによる測定

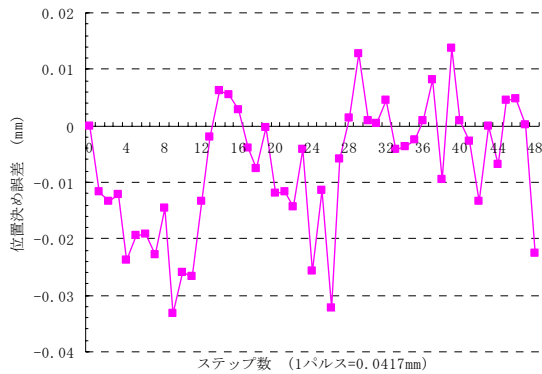


図 11 位置決め精度の評価例

#### 4 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ることで、複雑な作業を行う場合の構想の例を図 12 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ることで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 13 は、実際に 3つの自走トレイの上に 6自由度を持つ機構を組んだ例である。3つの自走トレイの移動により XYZ 方向の移動と XYZ 方向の回転の 6自由度の機構が構成できている。

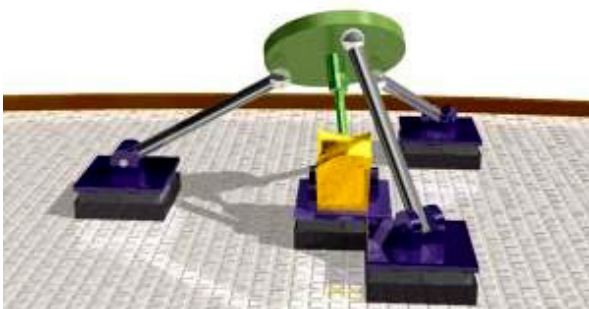


図 12 複数のトレイの協調作業の構想例：3つのトレイを組み合わせることで多自由度の加工機械を作り、もう一台のトレイに加工物を置いて加工する

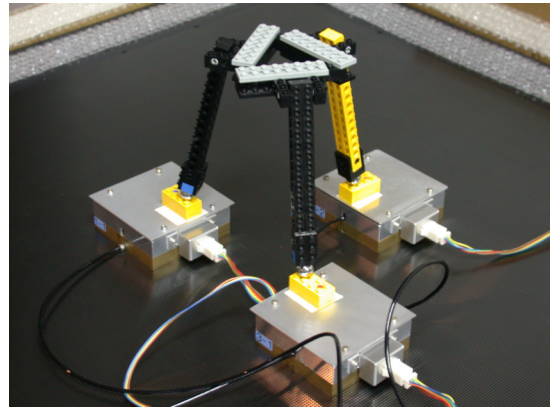


図 13 3つの自走トレイにより 6自由度機構の構成

#### 5 まとめ

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。開発した自走式トレイは  $80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 28 \text{ mm}$  と小型であり、同時に複数台がプラテンの上を自走できることを確認した。また、自走式トレイの性能を評価して、絶対位置決め精度  $60 \mu\text{m}$  で最大静止推力  $15 \text{ N}$  であることを確認した。このことから、開発している自走式トレイは AWB に充分利用できる性能であると考えられる。

今後は、有線で外部に繋がっている自走トレイを無線化すること、力センサなどを搭載して作業者とのインタラクションを可能にすることなどを計画している。

#### 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