

# 水平振動を利用した群ボタンの提案

○福嶋 政期 橋本 悠希 梶本 裕之(電気通信大学)

## Button Robots Using Horizontal Vibration

\*Shogo FUKUSHIMA, Yuki HASHIMOTO, Hiroyuki KAJIMOTO

(The University of Electro-Communications)

**Abstract** — Although there have been many proposals for controlling moving object with a tabletop interface, it has been difficult to minimize or simplify the system. We have proposed a novel method that can minimize the total system. Surly we have verified that this system could actuate numerous-objects individually, but we haven't considered the power efficiency and optimized control. In this paper we experimented the optical control of the moving objects, and considered the methods of image projection on to the table to enhance the tabletop interface.

**Key Words:** Tabletop Interface, Tangible, Group Robots, Physical Interaction

### 1 はじめに

近年、コンピュータ中の情報をテーブル上面に置かれた実物体の動きや性質で実体化し、ユーザーがコンピュータ中の情報を触ることができるテーブルトップインタフェースが提案されている[3][4][5]。

このタイプのインタフェースにおいて、テーブル上の実物体を駆動させるために様々な手法が提案されてきた。たとえば、PICO[3]はテーブルの下に電磁石を敷き詰め、磁力を用いてテーブル上の磁性体を駆動させた。また、Proactive Desk[4]もテーブルの下に電磁石を敷き詰め、LIM(Linear induction motor)の原理を用いて実物体に駆動力を与えていた。これらの手法は、テーブル上の複数の実物体を個別に制御することには成功していたが、テーブルに大掛かりなデバイスを組み込む必要があった。他にも実物体自身を Micro-Robot とする手法も提案されているが実物体の小型化に限度があった[5]。

また、ロボティクスやオートメーションの分野でもテーブル上の実物体を駆動させるシステムが提案されている。たとえば、Reznik ら[7]は板表面に局所的な力の場を生じさせて実物体を駆動させていた。ただ、複数物体を同時に駆動させる場合は時分割で制御を行うため、駆動できる実物体の数に限度があった。また、Vose ら[8]はテーブルの傾きを制御して、テーブル上の実物体を制御していたが、個別の物体の独立な制御は実現していない。

著者らは、実物体に力を与えるテーブル側と、それを制御する実物体側に分けることで、テーブルの小型化と実物体の小型化の両立を可能とする駆動方法を提案した[1][2]。本手法を用いることで、実物体は1円玉以下のサイズに小型化可能であり、高速駆動可能である。また、制御は実物体側で個別に行っているために複数の実物体を同時制御可能である。

これまで、複数の実物体の個別制御が可能であることは確認したが、電力効率や速度効率などを考慮した最適な制御を行ってはいない。そこで本稿では、

電磁石をより早い速度で効率的に駆動させるために実験を行った。また、本システムをテーブルトップインタフェースに応用するために映像投影に関して考察を行った。

### 2 摩擦制御による駆動

我々の提案したシステムの概要を以下に示す[1][2]。本システムはテーブルと電磁石とで構成される。テーブル(縦 260mm, 横 260mm, 高さ 65mm)は四角の形状をしており、その四面にスピーカーが配置されている。テーブルの上には磁性板を張り付けた板が載っており。板の足はりん青銅板(縦 5m, 横 25mm, 厚さ 0.4mm)を介してそれぞれのスピーカーに接続されている(図 1)。このバネと磁性板との共振特性を利用し、弱いエネルギーで十分な磁性板の振幅を得る。向かい合うスピーカに同一の正弦波を逆極性で入力することで磁性板を水平方向に振動させる。電磁石(直径 15mm, 高さ 5mm, 抵抗 20 Ω)は、磁力を電磁石と磁性板の間で閉じさせるためにポットコアの形状をしたフェライトコアを使用している(図 2)

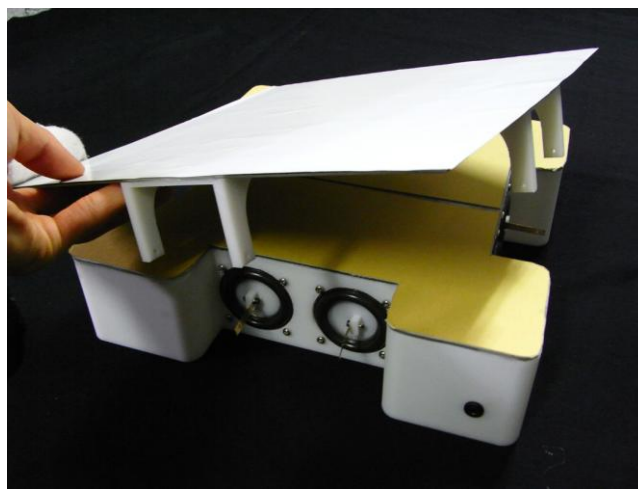


図 1 テーブル(磁性板を張り付けた板と台)



図 2 電磁石  
(左:電磁石, 中央:フェライト芯, 右:コイル)

システム構成を図 3 に示す。マイクロプロセッサ (Renesas, H8-3048) を用いてテーブルと移動体を制御する。マイクロプロセッサから位相が  $90^\circ$  ずれた正弦波の信号が 2 組オーディオアンプに入力される。さらに信号はオーディオアンプで増幅されスピーカーに入力される。それぞれの信号は対となる 2 組のスピーカーに入力される。

また、マイクロプロセッサからロボット 1 つにつき ON/OFF の信号が FET に入力される。FET はスイッチとして働き、ロボットに搭載された電磁石に電流を流す。

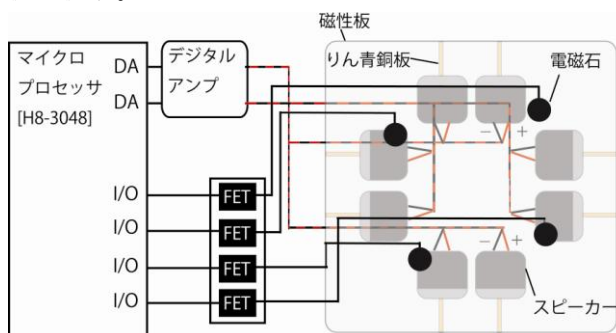


図 3 システム図

### 駆動原理

1 軸の駆動原理について説明する。図 4 の左右の対となるスピーカに正弦波の信号を入力し、磁性板を水平方向に振動させる。この振動に同期させて電磁石に ON/OFF の信号を送り電磁石の制御を行う。電磁石に ON の信号が送られると、電磁石は磁性板に吸着し磁性板によって加速させられる。図 4 は移動体が右に移動していく様子である。十分に加速したのち電磁石が OFF になると電磁石は磁性版の上を滑り、これにより片方向に移動する。

次に 2 軸の駆動原理について説明する。図 5 の上下左右のスピーカに正弦波の信号を入力する。正弦波はそれぞれ位相が  $90^\circ$  ずれているので、磁性板は水平方向に円の軌跡で振動する。1 軸の場合と同様に、電磁石の吸着と離脱のタイミングを同期させることで、移動体は任意の方向への動くことができる。図 5 は左の移動体が下に、右の移動体が右上に動く様子をあらわしている（詳細については先行文献 [1][2]を参照）。

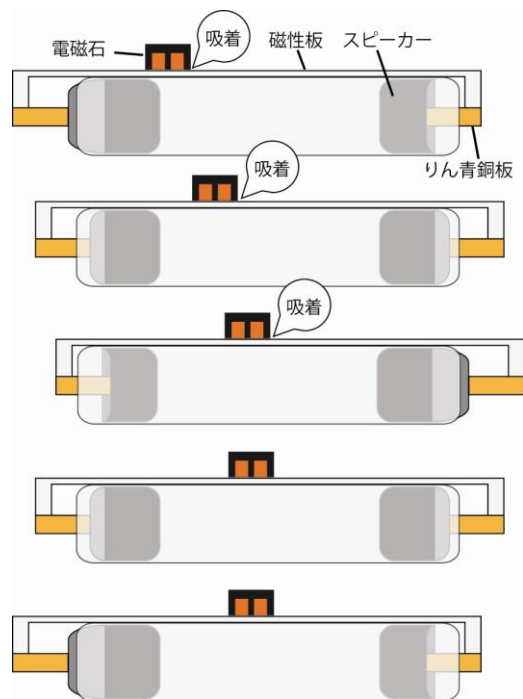


図 4 1軸の駆動原理

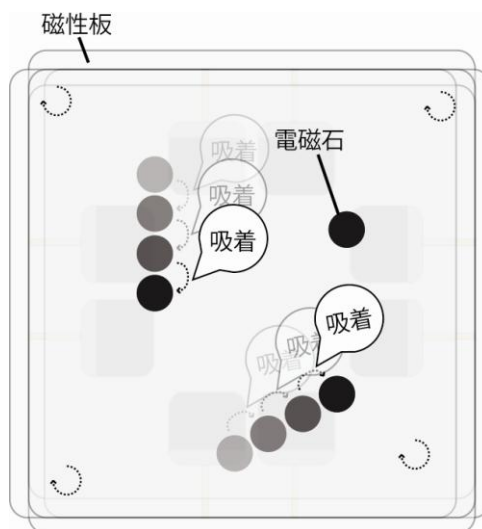


図 5 2軸の駆動原理

## 3 実験

本システムは、磁性板を円の軌跡で振動させ、それに同期させて電磁石の ON/OFF のタイミングを制御することで電磁石の様々な動きを実現している。

電磁石に与える信号の周波数を固定した場合、電磁石を制御するパラメータとして様々な選択肢が考えられるが、ここでは電磁石を ON に切り替えるタイミング（これより先は「ON タイミング」と略す）と電磁石の ON を維持する時間（これより先は「ON 時間」と略す）の二つで考えることにした。

たとえば、ON 時間を固定し、ON タイミングを変化させると、図 5 上のように電磁石の進行方向が変

化する。つまり、電磁石の ON タイミングが電磁石の進行方向を決定する。また、電磁石の ON 時間は電磁石が磁性板に吸着し磁性板の振動によって加速される時間と考えられるため（図 5 下）電磁石の速度を決定するパラメータとなる。

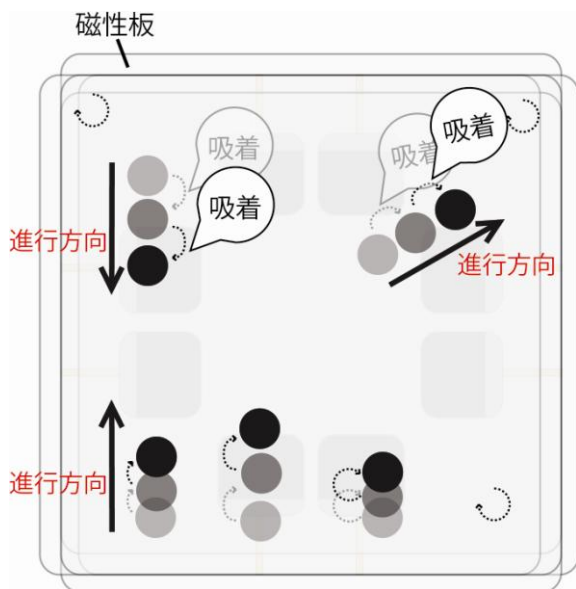


図 6 ON タイミングと ON 時間

そこで本実験では、電磁石の ON タイミングを固定し、ON 時間を変化させたときの速度を計測することで、最も効率良く電磁石を駆動できる ON 時間の値を求めることを目的とする。

本実験では、磁性板の振動に対して電磁石の ON 時間の値を 0 から 1 周期まで変化させ、その時の電磁石の速度を計測した。たとえば、電磁石が磁性板の振動の 1 周期に常に吸着しているときは周期が 1 となり、全く吸着しないときは 0 となる。電磁石には三種類の電流値 (0.16A, 0.32A, 0.64A) を加え、それぞれの場合について実験を行った。スピーカーには振幅 5V、周波数 35Hz の正弦波を入力した。このときの磁性板の振幅は 1.0mm であった。速度の計測はビデオカメラで上部から電磁石の動きを撮影することで算出した。

実験結果を図 7 に示す。横軸は周期、縦軸は速度である。3 種類の電流値でそれぞれ速度のピーク値がわずかに異なる。0.16A の場合は、0.28~0.33 周期付近、0.32A の場合は 0.22~0.28 付近、0.64A の場合は 0.17 から 0.22 付近となっている。電流値が上昇すると速度のピーク値を示す周期が短くなる傾向がある。これは、電磁石に加える電流値を上げると電磁石がより強く加速され、速度が速くなったためと思われる。電磁石の ON 時間の理想的状況は、電磁石の速度が磁性板の速度より遅いときのみ吸着させる事であるので、電磁石の速度が上昇するに従って電磁石の ON 時間は相対的に短くなるのは当然である。

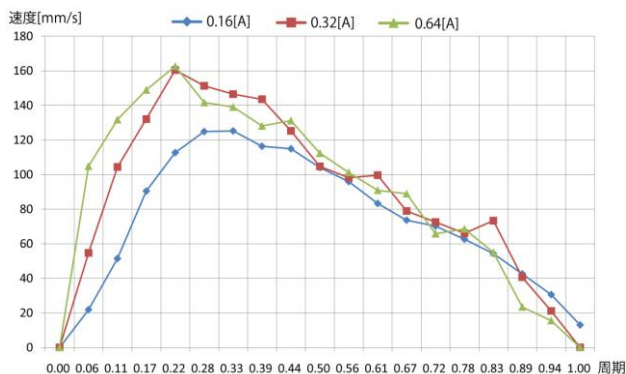


図 7 電磁石の ON 時間と速度の関係

#### 4 パンチングメタルによる映像透過

我々は、本システムをテーブルトップインタフェースに応用し、様々なアプリケーションを作成するためにテーブルに映像投影をしたいと考えている。映像を投影する方法としては上部からプロジェクターで投影する方法とテーブルの下から LCD 等で投影する方法が考えられる。上部から投影する場合、プロジェクターを上部に固定するため、実用面で簡便なシステムとは言い難い。また、映像が手に映るなど、遮蔽関係が崩れてしまう問題がある。一方で、テーブルの下から LCD 等で投影する方法は、装置が一体となっているために簡便であり、また遮蔽関係が崩れることもない。そこで我々はテーブルの下から映像投影をする方法を検討したいと考えた。

しかし、本装置は電磁石と磁性板の距離が離れてしまうと電磁石の磁力が極端に低下してしまうため、磁性板を電磁石に密着させる必要がある。そのために磁性板の下から映像を投影しなければならずこれは磁性板が透明でない限り不可能である。

一方、豊田ら[6]はパンチングメタルを振動させるとパンチングメタルの奥にある映像が見易くなるという現象を利用した透過型ディスプレイを提案している。これは振動によって時分割で透過領域が移動していくためである。我々のシステムは磁性板を振動させることが駆動原理として必須であるために豊田らの手法との相性が非常に良い。そこで我々はこの現象を利用し、磁性板に穴をあけることで擬似的な透明ディスプレイを作れる事を試みた。

本稿では、パンチングメタルによる映像透過の効果を知るために、磁性板の下に敷いた絵が磁性板を振動させることでどの程度透過するか調べた。映像透過の実験を行うにあたって、磁性板に穴をあけ、磁性板と台の間に EL 発光板と画像を印刷した普通紙を敷いた（図 8）。穴の孔径は 2[mm]で開口率は 30.2%である（図 9）。これは磁性板の振動の振幅を 1.0[mm]にすることで磁性板の全面を光が透過するように設計している。



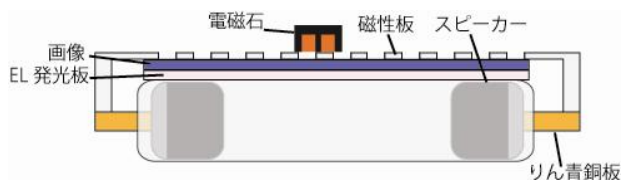


図 8 透明ディスプレイの構成

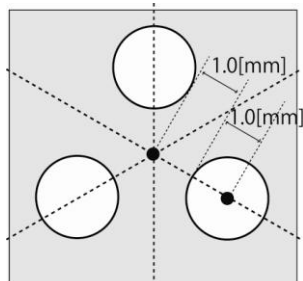


図 9 パンチングメタル

図 10 は磁性板を振動させず、EL 板も発光させない状態である。図 11 は EL 板を発光させた状態である。図 12 は EL 板を発光させ磁性板を振動させたときのものである。図を見てわかるように振動をさせることで非常に鮮明に画像が見えることがわかる。

一方で、磁性板に穴が空くために電磁石の速度が落ちてしまうことが予想されたが、電磁石に加える電流値を 2 倍程度上げることで以前と同じ速度で駆動できる事を確認した。

## 5 終わりに

本稿では、電磁石をより早い速度で効率的に駆動させるために実験を行った。また、テーブルへ映像投影の方法としてパンチングメタルを用いる手法の有効性について簡単な試作機を作成し確認した。

今後は、本システムをテーブルトップインタフェースに応用し、様々なアプリケーションを作成していく予定である。

## 6 参考文献

- [1] 福嶋政期, 橋本悠希, 梶本裕之: 机上インタフェースのための高速移動可能な群ロボットシステム, 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会 2007
- [2] Fukushima.S, Hashimoto.Y, Kajimoto.H: Tabletop Interface using a Table's Circular Vibration and Controllable Friction CHI2008
- [3] Patten.J, Ishii.H: Mechanical Constraints as Computational Constraints in Tabletop Tangible Interfaces CHI 2007
- [4] 吉田俊介, 野間春生, 保坂憲一: 複数物体同時駆動可能な力覚提示装置 Proactive Desk 2 の開発インタラクション 2006
- [5] 杉本麻樹, 小島稔, 中村享大, 新居英明, 稲見昌彦: 画像提示装置で表示した指標画像を用いた位

置・姿勢計測 日本バーチャルリアリティ学会 10 回大会 2005

- [6] 豊田 耕志, 竹田仰: 両面投影可能な半透明スクリーンを用いた MR に関する研究 日本バーチャルリアリティ学会 12 回大会 2007
- [7] Reznik.D, Canny.J, Alldrin.N: Leaving on a Plane Jet, Intell. Proceeding of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.202-207, 2001.
- [8] Vose.T, Umbanhowar.P, Lynch.K.M.: Vibration-Induced Frictional Force Fields on a Rigid Plate. Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.660-667, 2007.



図 10 EL 発光なし・振動なし

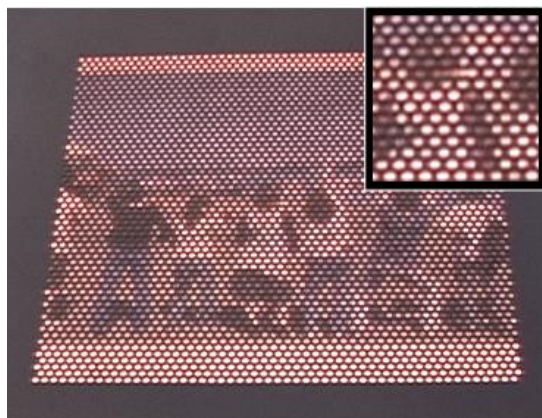


図 11 EL 発光あり・振動なし



図 12 EL 発光あり・振動あり