マグネットスイッチ: 格子状回路を用いた磁石による入力システムの開発

宮武 陽子[1,a)]　的場 やすし[1]　椎尾 一郎[1]

概要：家電の操作が複雑化するのに伴い，その操作入力方法は多様になってきている. 特にタッチパネルの普及に伴い画面上でのタッチ入力が多くなってきているが，触覚のフィードバックが得られないことから子供や機器の操作に不慣れなユーザには使いづらい. 本研究では，普段から使い慣れている実物体の道具を使用してコンピュータへの入力が可能にすることで，多くの使用者にとってさらに使いやすいインターフェースを実現できると考え，磁性体への磁石の貼り付けによるコンピュータ機器への入力方法を提案，実装する．また従来の磁石の検出の仕組みと異なり格子状の回路の上に磁石を置くことで磁石の位置検知を実現している．これによる操作上の利点も説明する．

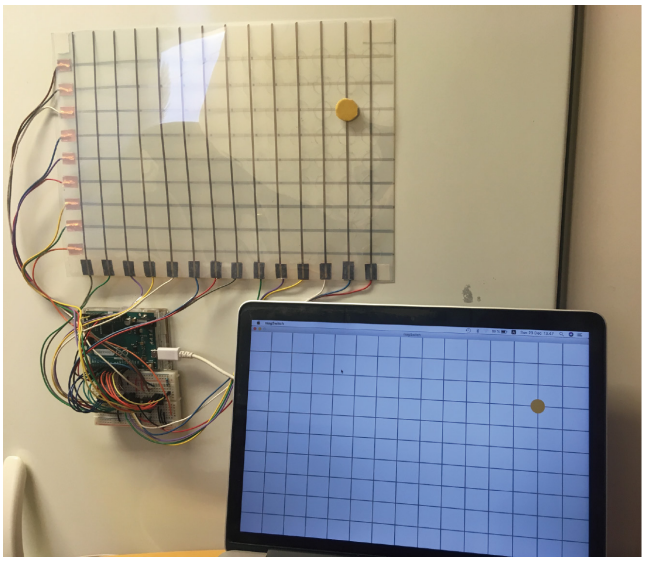

図 1　冷蔵庫扉に設置したマグネットスイッチ．薄いシートの上に置かれた磁石片の位置を読み取る．

1.　はじめに

昔から私たちの身の回りで使われている道具は，使い方が理解しやすく，人間の自然な動きに沿った操作方法であるものが多い．例えばドアノブであれば回す，ボタンであれば押す，垂らされた紐であれば引っ張る，そして磁石片であれば貼りつける，などである．これらのデザインを家電や機器に取り入れる手法はさまざまに行われている．特にデザイナーの深澤直人[*1]はデザインにおけるこの考え方を「Without Thought」と表現している．本研究では，このようなデザインをさらに生活に取り入れるための手法として，磁石に着目した．

日常生活では、指でつまめる大きさの磁石や、これを埋め込んだ磁石ピンが多数利用されている．以下ではこのような磁石を磁石片と呼ぶ．磁石片は学校や家庭，オフィスなどさまざまな場所で使われており，我々にとって非常に馴染み深い道具である．黒板やホワイトボード，冷蔵庫の上に紙などを間に挟んで貼り付けたり，枠の中や図の上に磁石片を置くことで現在の状況や場所を表すなど，目印のようにして使う場合もある．これらの従来のアナログな使われ方とデジタルな入力の組み合わせが実現できれば，操作性の改善だけでなく，紙やホワイトボード，地図などの機能を拡張できるのではないかと考えた．そこで，本稿では磁石片を対象に貼り付けるという動作でデジタルな入力を可能にするための手法，およびそれを用いたシステム「マグネットスイッチ」を提案する．

磁石を用いたインタラクションの研究は今までにも数多く行われており，人が操作する磁石片を検出するさまざまな手法が開発されている．例えば Smart Table[5] ではホール素子をグリッド状に並べ磁石の位置を検出し，Liang らは GaussSense[3] でホール素子のグリッドをさらにシンプルな薄い板状のデバイスとして設計した．さらに GaussStones[4] では近距離に置いた複数の磁石を同時に識別することも実現している．また他の磁気センサとして 3 軸磁気センサを複数配置した上で指につけたマーカーの位

1　お茶の水女子大学理学部情報科学科
a)　g1520538@is.ocha.ac.jp

*1　http://www.naotofukasawa.com/

© 2019 Information Processing Society of Japan

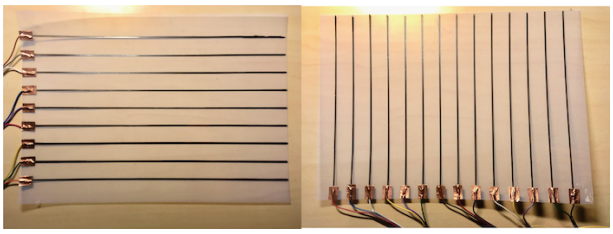

図 2　1 組の配線シート．それぞれ縦，横に 20mm 間隔の直線パターンを導電性インクで印刷した．

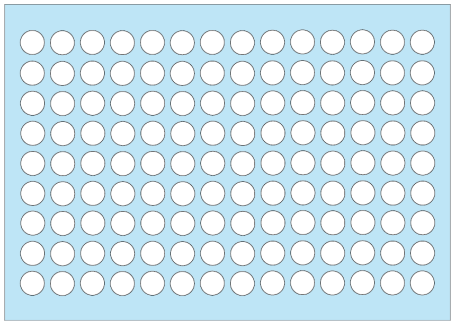

図 3　配線シートの間に挟むポリプロピレン製絶縁シートの図。配線交差部分に丸穴があり，ここに磁石を置くと表裏の導電性インクパターンが接触する．

置を検出する IM6D[2] も開発されている．しかし，これらの手法では，例えば「ドアに貼った入退出表にマグネットを貼り付ける」というような日常的な使用法による磁石片の操作でデジタル入力を行うことができなかった．

本稿では日常生活における直接的なデジタルな入力を実現するために，新しい磁石の検知手法を提案し，そのプロトタイプを作成した．本デバイスは生活空間壁面の表面だけでなく，ディスプレイの裏面に設置することもできる．これにより映像上に磁石を貼り付ける操作によるインタラクションも可能である．

2.　マグネットスイッチ

日常生活の中で磁石片が使われる場所は，壁に取り付けられた黒板や冷蔵庫の扉など，垂直な壁面が多い．このことから壁面に貼り付けても違和感のない，厚みが小さいシステムが好ましいと考えた．そこで，我々は厚みのある磁気センサを用いず磁力により引き合う力を利用することで，磁石片の位置検出が可能な薄いシート型のシステムを開発した．薄いシート型の物体検知システムとしては Project Zanzibar[6] があげられる．この研究では NFC レシーバを用いてシート上に置かれた NFC タグ付物体の検知を行っている．したがって検知できる物体は NFC タグが付けられたものに限られている．これに対し本システムは磁石片のみによる位置検出を目指した．

2.1　壁面用スイッチ

冷蔵庫の扉や磁性材料壁面に取り付ける A4 サイズ（210mm × 297mm）の壁面用マグネットスイッチを試作した（図 1）．このシート型スイッチは，縦方向配線シート，セパレータ，横方向配線シートの 3 枚のシートを張り合わせて作成されている．配線シートには図 1 に示すように，導電性インク用フィルム（エレファンテック社[*2]の回路用 PET フィルム）に縦・横方向 20mm 間隔の導線を作成した．この 2 枚の配線シートの間に，ポリプロピレン製の絶縁シートを挟んだ．ポリプロピレンシートには，配線シートパターンの交点となる位置に直径 17mm の穴を開けた．このシートを磁性体の上に設置し交点部分に磁石を置くと，磁石と磁性体に挟まれた圧力で 2 つの導線が接触する．接触を電気的に検出することで，置かれた磁石の位置を検出する本スイッチの検出には，Arduino Leonard を用いた．図 1 では，Arduino にシリアル通信を行い，画面上に磁石位置を表示する Processing プログラムを開発し起動している．

2.2　LCD 背面スイッチ

マグネットスイッチは，壁面に貼り付けて使用するだけでなく，磁力が到達する程度の厚さの平板ディスプレイ裏面に設置することも可能である．これにより，ディスプレイ表示面に置かれた磁石片位置を検出することが可能である．ディスプレイ上に置かれた磁石を読み取る手法は従来から研究されている．例えば，ディスプレイ裏に多数の磁気センサを取り付ける手法 [3] や，モバイル端末に内蔵されている磁気センサを用いる手法 [1] が提案されている．これらの手法ではディスプレイ上に磁石片を貼り付けることはできなかった．マグネットスイッチをディスプレイ背面に設置すれば，ディスプレイの画面に置いた磁石片を保持しつつ検出することが可能である．

図 4 に，液晶ディスプレイ (LCD) 裏に 3x3 のマグネットスイッチを設置した様子を示す．マグネットスイッチ部分は，LCD バックライトと LCD 電源・制御ボックスの間に組み込まれた．これにより人が LCD 表示面に置いた磁石片を検出することが可能である．

LCD 背面設置マグネットスイッチの構造と製作途中の写真を図 5 に示す．LCD 表示面越しに置かれた磁石片を確実に検出するために，マグネットスイッチの交点にも磁石を配置している．LCD の表示面と裏面の磁石が引き合うことで，確実に接点が接触すると同時に，磁力により磁石片を LCD 表面に貼り付けることができる．マグネットスイッチは図 5 上に示すように，LCD 背面から，3.0mm 厚アクリル板，3x3 個の丸穴の空いた 3.0mm 厚アクリル板，グラスファイバーネット，3x3 個の丸穴の空いた 3.0mm 厚アクリル板，8mm 厚の発泡スチロール板，0.5mm 厚の鉄板を重ねて構成した．LCD に近い穴なしアクリル板に

*2　https://www.elephantech.co.jp

© 2019 Information Processing Society of Japan

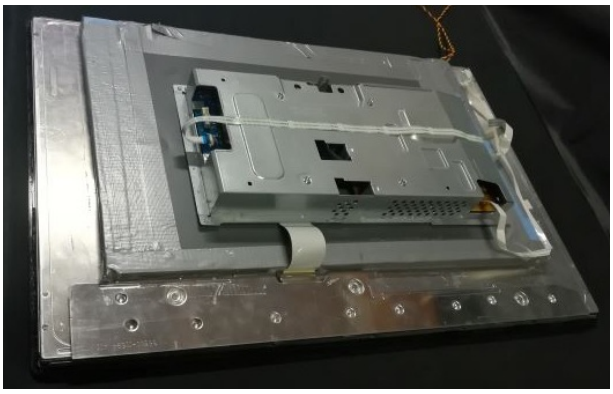

図 4　LCD 背面設置型マグネットスイッチ．LCD バックライトと LCD 電源・制御ボックスの間に本機構を組み込んだ．

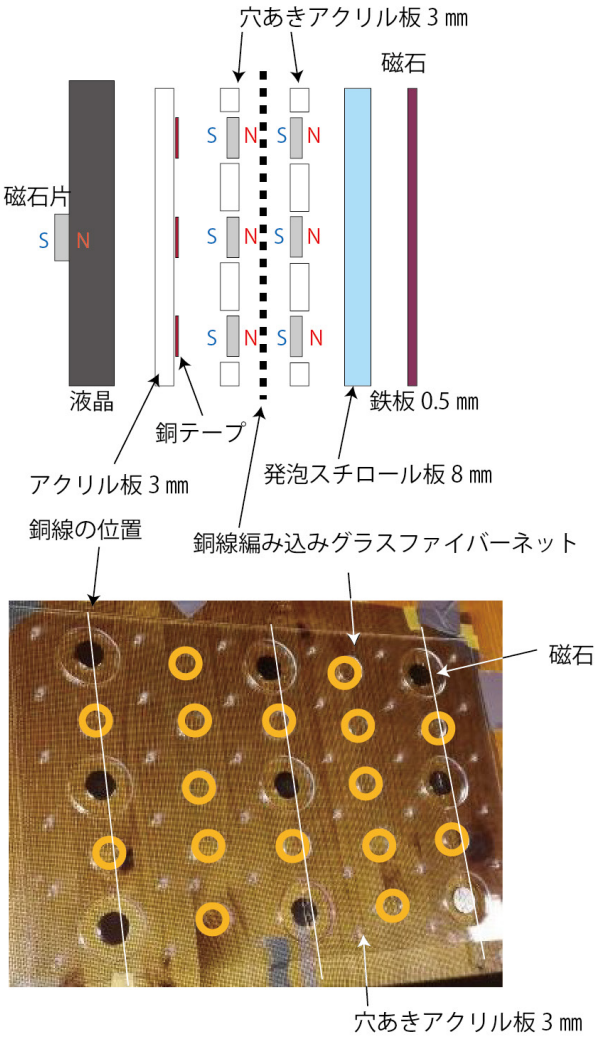

図 5　ディスプレイ背面スイッチの構造（上）と製作途中の様子（下）．穴あきアクリル板，導線編み込みネット，接点用磁石を配置している．黄色丸で示した位置には，逆極性の磁石を設置した．

は，銅テープを 3 本貼り，スイッチ格子の横の導線を構成した．また，グラスファイバーネットには銅線を 3 本編み込み，スイッチ格子の縦の導線を構成した．グラスファイバーネットを挟む 2 枚のアクリル板の丸穴の部分には，直径 3.0，厚さ 2.5 のコイン型ネオジム磁石を，ネットの表裏に 1 個ずつ，合計 18 個配置した．1 対の磁石はそれぞれ異極を向かい合わせて，グラスファイバーネットを挟み込むように配置した．ネットに編み込んだ銅線が丸穴中央に来るように位置調整してあるため，ニッケルメッキされたネオジム磁石全体がスイッチ格子の縦の配線として機能する．

異極を LCD に向けて，磁石片を LCD 表面に置くと，裏側の磁石が LCD 側に引き寄せられる．するとアクリル板に貼った横方向銅テープに裏面磁石が接触し，スイッチ格子の縦横配線が閉じる．これにより 3x3 のどの場所に磁石が置かれたかを検出できる．さらに裏面の磁石の磁力により，磁石片を LCD 表示面に保持することができる．

伸縮性が少ないグラスファイバーネットを使ったことにより，裏面磁石は LCD に対して前後には移動するものの，LCD 面方向にはほとんど移動せず，磁力のみで固定されているものの位置は安定している．最背面に設置した鉄板は，LCD 表面に磁石片が置かれない状態の時に裏面磁石を背後に引き寄せる役割を果たす．これにより，磁石片が無い時に接点が前面銅テームに接触することがなく，誤動作を防止する．一方で，LCD 表面に磁石片が置かれた時には裏面磁石が LCD 側に移動するよう，鉄板前面に発泡スチロール板を置き，引き合う力を調整している．

以上により，LCD 表面に置いた磁石片の位置を検出し，磁石片を固定する機能が実現できた．この基本機能に加えて，磁石片をスイッチ格子交点に導く仕組みも導入した．図 5 下の写真に示すように，マグネットスイッチ交点磁石の間に，磁極を逆にした磁石を合計 16 個配置した．人が磁石片を LCD 画面上に貼り付けようとした場合，スイッチ接点の場所では磁石片が吸着し，設定以外の場所では磁石片が反発する．これによりスイッチの位置がわかりやすくなる効果が期待できる．

3.　応用例

3.1　行き先掲示板

壁面用スイッチの応用として，貼り付けたメモ用紙のリマインダーへの応用，ホワイトボードシートとの組み合わせによるグループ共有掲示板などが考えられる．図 6 は，ホワイトボードシートと組み合わせた行き先掲示板の例である．現在は磁石が付けられた升目位置検出機能のみの実装であるが，今後は磁石片の位置共有機能，項目の編集機能などを開発していきたいと考えている．

3.2　投げビンゴ

LCD 背面スイッチの応用として，的当てゲーム「投げビンゴ」を試作した．この様子を図 7 に示す．これは薄いプラスティックシートで磁石を包んだ球（図 8）を用意し，これを LCD に表示した 3x3 個の的に投げて命中させるゲー

© 2019 Information Processing Society of Japan

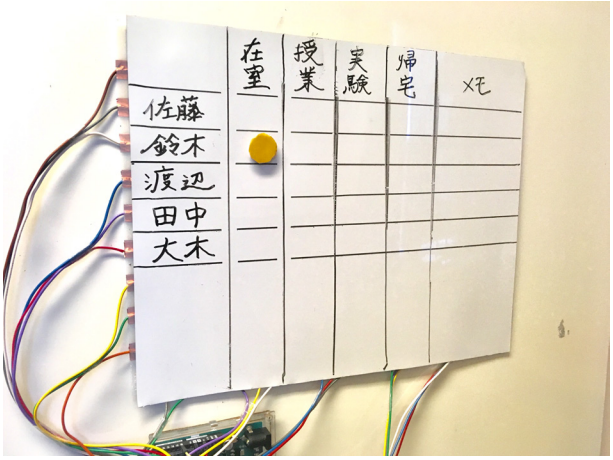

図 6　ホワイトボードと組み合わせた行き先掲示板.

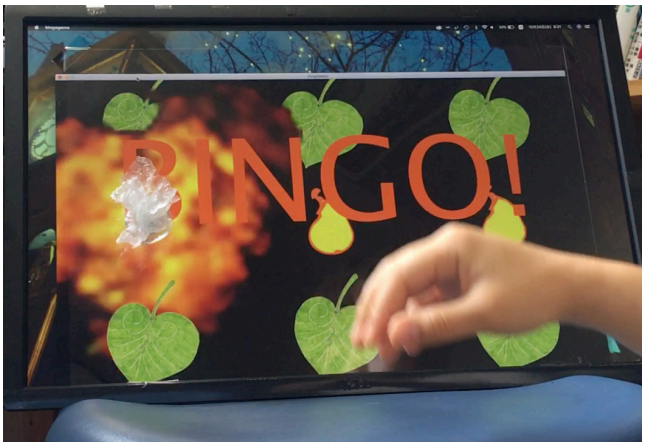

図 7　試作した的当てゲーム（投げビンゴ）.

図 8　投げビンゴの球.

ムである．球の先頭には直径 23mm のコイン型磁石片を置き，後尾にはシートを広げた尾をつけることで，重みのある磁石部分を先頭に飛行する構造にした．また，磁石片の前面にはウレタンゲルによる緩衝材を置き LCD への衝撃を吸収した．球の磁石片は，LCD 裏側の接点用磁石に吸着するよう極性を合わせた．これにより的に命中すると球がディスプレイに貼りつく．前述のように，接点用磁石の周囲には，逆極性の磁石が合計 16 個配置されているため，的を外した球は裏面磁石と反発し，画面から弾かれる．また，的に近い位置に投げた球の軌道が変化して，当たりやすくなる効果もある．的に球が命中すると，的が爆発する映像を表示することで命中を演出した．また，縦・横・斜めのいずれかの 1 列の的に球が命中した時も，画面に文字で「BINGO」と表示し，ビンゴ達成を演出した．極性の異なる磁石の引き合う性質を用いることにより，「ディスプレイの映像に物を投げて貼り付けることによるコンピュータへの入力」という新しいインタラクションを実現している．

4.　まとめと今後の展望

磁石片と格子状の接点を用いた新しい入力手法を開発，実装した．本稿ではプロトタイプの制作に留まったが，本システムを用いたさまざまな応用が考えられる．例えば本システムを冷蔵庫に貼り，その上に買い物リストを書いた紙を貼る．買い物が必要になった物の上に磁石片を置くと、家族に対して買い物の依頼がメールや SNS を利用して送られるシステムが考えられる．磁石片で行き先を示す行き先掲示板をオンライン上で共有すれば，コミュニケーションツールとして展開できる．シートの上に乗せる紙により異なる応用が可能になるので，さまざまな組み合わせを模索していきたい．また日常生活での利用を考えると，スイッチ表面に描画される文字・図形位置に，簡単な操作で機能を割り当てるための設計ツールも必要である．さらには，タブレット PC などのタッチパネルと組み合わせも考えられる．

参考文献

[1] Bianchi, A. and Oakley, I.: Designing Tangible Magnetic Appcessories, *Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, TEI '13, pp. 255–258 (2013).

[2] Huang, J., Mori, T., Takashima, K., Hashi, S. and Kitamura, Y.: IM6D: Magnetic Tracking System with 6-DOF Passive Markers for Dexterous 3D Interaction and Motion, *ACM Trans. Graph.*, Vol. 34, No. 6, pp. 217:1–217:10 (2015).

[3] Liang, R., Cheng, K., Su, C., Weng, C., Chen, B. and Yang, D.: GaussSense: attachable stylus sensing using magnetic sensor grid, *The 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '12, Cambridge, MA, USA, October 7-10, 2012*, pp. 319–326 (2012).

[4] Liang, R., Kuo, H., Chan, L., Yang, D. and Chen, B.: GaussStones: shielded magnetic tangibles for multi-token interactions on portable displays, *The 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '14, Honolulu, HI, USA, October 5-8, 2014*, pp. 365–372 (2014).

[5] Steurer, P. and Srivastava, M. B.: System Design of Smart Table, *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'03), March 23-26, 2003, Fort Worth, Texas, USA*, pp. 473–480 (2003).

[6] Villar, N., Cletheroe, D., Saul, G., Holz, C., Regan, T., Salandin, O., Sra, M., Yeo, H., Field, W. and Zhang, H.: Project Zanzibar: A Portable and Flexible Tangible Interaction Platform, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2018, Montreal, QC, Canada, April 21-26, 2018*, p. 515 (2018).

© 2019 Information Processing Society of Japan