

tamable looper : 磁力球群の移動・変形制御による生物的表現と インタラクションの提案

河野 通就[†] 笥 康明[†]

本研究では、複数個の磁力球がまとまった磁力球群による立体的な形状変化と移動を可能にする実体ディスプレイ装置およびその上での身体的なインタラクションを提案する。生物的な振る舞いの模倣や創造およびそれらがもたらす効果に関しては、従来からインタラクションデザインの分野でも検討されてきた。今回は、磁力球群に外部から磁気を付与した時に生じる独特な動きに着目し、シャクトリムシのような生物感を有する物体の移動を実現するために、移動、姿勢の制御およびインタラクションに関する設計と実装を行う。

tamable looper: A Proposal on Creature-like Expressions and Interactions by Movement and Deformation of a Cluster of Sphere Magnets

MICHINARI KONO[†] YASUAKI KAKEHI[†]

This study proposes a substantial display device and physical interactions by movement and cubic deformation of a cluster of sphere magnets. Imitation and creation of creature-like behaviors and effects brought from them have been traditionally examined in fields of interaction design. We focused on the features which occurs when a cluster of sphere magnets are provided magnetism, and to create objects possessing creature-like features like a looper, we will design and compose a system which controls movement, postures and interactions.

1. はじめに

我々は、単純な幾何形状であっても、その動きから意図や感情を感じとることができれば、生物らしさを知覚することがある¹⁾²⁾。デジタル表現に対しても、生物らしい動きや振る舞いを積極的に取り入れることで、ユーザに直感的な操作への誘導や、つい眺めてしまうような愛着を与えるといった効果が期待できる。生物的な振る舞いの模倣や創造は、主にソフトウェアにおけるインタフェースデザインやロボットなどの分野で様々な検討がなされてきたが、近年になって増加してきた実体ディスプレイにおいても、生物的な振る舞いを参照する/模倣することで、その素材特性を活かした表現やインタラクションが可能になると考えられる。

本研究では、素材として磁石に着目する。磁石は複数個近づいたときにそれぞれの極に応じて引力または斥力が生じる。このような磁場の中で生じる磁力球の

独特な動きに着目し、複数個の磁力球がまとまった磁力球群による立体的な形状変化と移動を可能にする実体ディスプレイ装置および身体的なインタラクションを提案する。

今回は特にシャクトリムシの移動手法と形状変化に着目し、曲がって伸びるという形状変化を交互に繰り返すことで磁力球群が卓上を這うように移動し、さらにはユーザの手の位置に反応するインタラクションを可能にする(図1)。筆者らはこのシステムを tamable

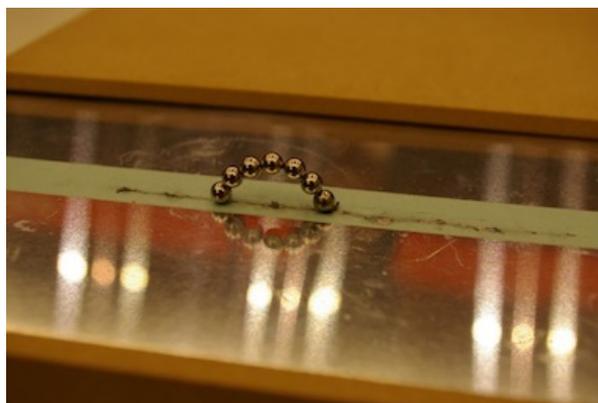


図 1: tamable looper

[†] 慶應義塾大学 環境情報学部

Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

looper (=飼いならせるシャクトリムシ) と名付ける。以下では、tamable looper のコンセプト，設計および実装に関して述べていく。

2. 関連研究

実体を有する物体に形状記憶合金などの機械的／電氣的なアクチュエータを埋め込み，直接的な物理変形による生物らしい動きを実現しているものとして plant³⁾ や living textile⁴⁾ が挙げられる。さらに Meter Crawler⁵⁾ のように日用品に機械的な機構を組み込むことで生物的な動きをするロボットも制作されている。またバイオメタルを取り付けたシャクトリムシ型のロボットも制作されている⁶⁾。

これらは，動かされる物体そのものに電源や特殊な加工が必要となるが，その一方で，実体物そのものに電氣的なアクチュエータを埋め込むことなく情報表現を可能にするアプローチもある。近年の代表的な例として，Animated Paper⁸⁾ は，形状記憶合金を埋め込んだ折り紙に外部から熱を加えることにより変形制御を行う。このように外部から物体の状態を変化させる上では，磁力は比較的扱いやすく，磁力を用いた物体制御および情報表現に関する研究は盛んに行われてきた。まず，磁石の性質により物体を移動させる研究として Actuated Workbench⁹⁾ や ZeroN¹⁰⁾ が挙げられる。またリニア誘導モータによって発生する磁性により力覚を生成する Proactive Desk¹¹⁾ がある。SnOil¹²⁾ はマトリクス状に配列された電磁石から発生される磁場を用いて磁性流体に凹凸を生成し，その凹凸をピクセルとして見立てて情報表現を行っている。本研究と同様，位置だけの制御ではなく，形状や姿勢まで制御しているものとしては，また磁場から磁性流体に生じるスパイクを利用した児玉幸子によるアートプロジェクト¹³⁾ や Programmable Blobs¹⁴⁾ が挙げられる。

これらに対し，本研究では，磁力球の動きを表現に用いることによって，実体物にアクチュエータを埋め込まずに間接的な制御により表現が可能である。また移動のみではなく，その動き方や立体的で柔軟な形状変化も同時に可能にし，さらにはユーザからの直感的な入力によるインタラクションを取り入れる点に特徴がある。

3. tamable looper の提案

3.1 概要

本研究は単なる物体の移動に留まらず，形状変化を取り入れることでより豊かな表現の実現を目的とする。tamable looper は複数個の磁力球を接続した群を用い

て生物的な移動と姿勢変化を表現する。

具体的に tamable looper は，シャクトリムシのように伸びた状態から前部を固定し，後部を寄せるようにして曲がった状態を作るといった動作の繰り返しによって平面上の移動を行う。さらに，移動の姿勢から，立ち上がり，また元の曲がった形状に戻るといったような姿勢を変える動作が可能である。

このような振る舞いをする tamable looper に対して，ユーザは手をかざすことで，インタラクティブにその動きをコントロールすることができる。

図 2 に本システムの概要を示す。箱型の装置の中に，電磁石が一次的に並び，その天板の上を，磁力球を連ねた tamable looper が動く。箱型装置の傍には，距離カメラを配置し，ユーザのジェスチャを認識することで，インタラクティブな動作の切り替えに反映させる。

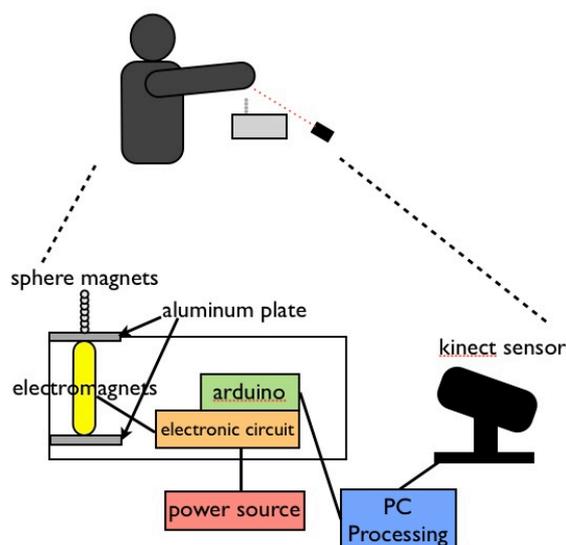


図 2: システム図

3.2 移動と姿勢の制御

本システムでは，電磁石の切り替えにより磁力球群の“歩行”と“伸び上がり”を操作する。ここでは，シャクトリムシのように伸びて曲がることを繰り返すことで這うように位置を移動することおよび磁力球群が直立してまた元の曲がった形状に戻るといった動作を実現するための設計を述べる。

3.2.1 位置制御

tamable looper を横に移動させるためには，以下の3段階の電磁石制御を1回の移動とし，これを繰り返す(図3)。なお，最初に tamable looper は図4(a)のように曲がった状態で自立しているものとする。

Step 1: 初期化

直前の動作によって電磁石の状態が変化している可

能性があるため、ここで左右に移動する際に必要な初期状態へと各電磁石の極を変更する。初期状態とは、図 3 step1 で示すように 6 個の電磁石を制御し、磁力球群が曲がった状態を形成した状態である。

Step 2: 伸ばす

次に、磁力球が乗っている電磁石の一方 (D) をその磁力球と反発させる極へと変える。これにより、磁力球の位置が隣の電磁石 (E) へと吸い込まれ、図 3 step2 のように、tamable looper は伸びた状態になる。この際、移動方向とは反対側の電磁石 (C) も反発する極に制御しておくことで、移動させる方向の制御を可能にする。一方で、この際に移動させない方の電磁石を反発させるようにすると、必然的に後部が引きつけられる極となる。これにより、この状態を維持すると後部がずれるように移動してしまい、磁力球群が完全には伸びなくなってしまう。そのため、図 3 step2 で示されるように該当する電磁石 (C) の制御を一瞬行った後、直ちに極性を変更することによって、ずれる行為の防止を行う。このずれるような移動を防止する役割を果たした後は、伸びた形状から曲がった形状へと変化させるために、再び元の極へと電磁石 (C)

を戻す必要がある。

Step 3: 曲げる

後部を移動させ、磁力球群の形状を図 3 step3 のように曲がった形状へと変化させる。そのために後部が乗っている電磁石 (B) を反発させることで横へと移動させる。Step2 と同様にして移動させない方向の電磁石 (A) は反発する極にしておく必要がある。さらに移動しすぎてしまわないように移動先より一歩先の電磁石 (D) も反発する極に変えておく必要がある。

こちらも同様に移動範囲を超えることを防止することに使用した電磁石がその役割を終えたら、元の極へと戻し、次の動作へと備える。最後に磁力球群が移動したことによって生じる制御が不要となる電磁石 (A) への電流供給を停止させ、1 回の移動を完了したものとす。

図 4 に曲がった状態と伸びた状態をそれぞれ示す。これらを繰り返しながら、ユーザのジェスチャ入力がない場合には、一次元状のラインの上を繰り返し往復する。

3.2.2 直立制御

本システムでは、磁力球群の直立と曲がった形状の切り替えを可能にする。

この直立する動作は 3 段階の制御により実現される

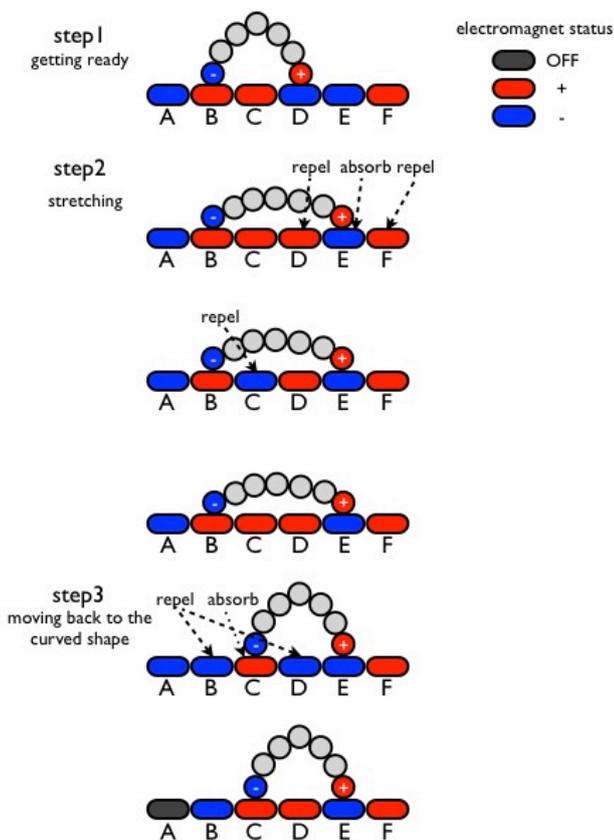
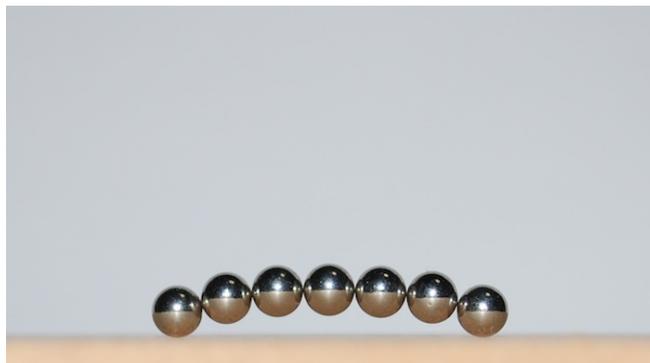


図 3: 移動の制御方法



(a) 曲がった状態



(b) 伸びた状態

図 4: 移動

(図 5, 図 6).

Step 1: 準備

直立したときに地面との接点となる磁力球が位置する電磁石以外のすべての電磁石への電流供給を止める。ただし、立ち上がる際の勢いで反対側まで倒れていくことを防ぐために、図 5 step1 のように磁力球群後部の電磁石 (A) を反発する極に変更しておく必要がある。

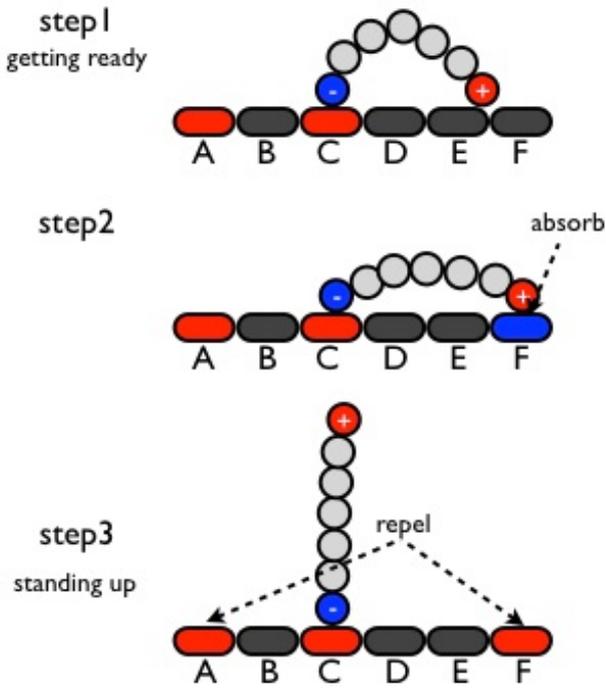


図 5: 直立動作の制御方法



図 6: 直立の様子

Step 2: 引きつけ

図 5 step2 のように軸にはならない側の磁力球をその位置より一歩離れた位置の電磁石 (F) で引きつける。これによって step3 で必要となる反発する力が伝わりやすくなり、直立しやすくなる。

Step 3: 反発による直立

図 5 step3 のように引きつけた箇所の電磁石 (F) で反発させて磁力球群を直立させる。

3.2.3 直立状態の解除

また直立動作から元の曲がった形状に戻る際は 2 段階の制御で実現される (図 7)。

Step 1: 元の曲がった形状に戻す

図 7 step1 のように倒す方向の先の電磁石複数個 (E,F) から引力を働かせることにより、磁力球群を倒す。また以降不要となる電磁石 (A) への電流供給を停止させる。

Step 2: 曲がった形状

図 7 step2 のように倒した状態から曲がった形状にするために、step1 で寝かせるために使用した電磁石のうち、曲がった形状を形成する際に直接磁力球が位置しない側 (F) を反発させることで移動させる。またこの移動によって大きく移動しすぎてしまわないよ

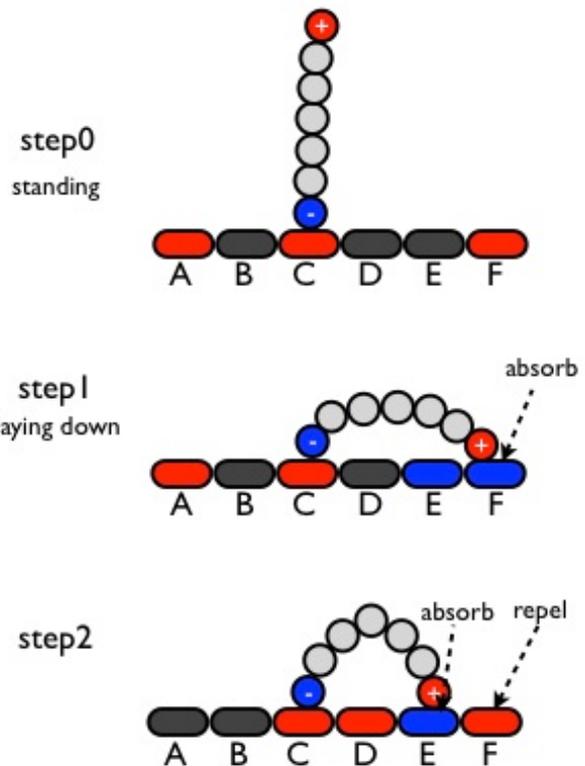


図 7: 倒すための制御方法

うにその先にある電磁石 (D) を反発させるようにしておく。

3.3 ジェスチャによるインタラクション

Microsoft 社の kinect をセンサとして使用することにより、ユーザの手の位置を認識する。今回は大きく分けて二つのインタラクションを行う。手を左右に近づけたときにその手がある方向へと磁力球群が進行方向を切り替え、さらに手が認識され続ける限り速度が向上する。この移動速度の制御は電磁石の制御間隔を短縮することで行う。また図 8 のように手を筐体の上部にかざすと移動動作を中断し、磁力球群が直立する。手が認識されなくなったら磁力球群を直立状態から元の曲がった形状へと戻り、移動を再開する。



図 8: ジェスチャによるインタラクション

4. 実装と展示

4.1 実装

上記のような設計のもと、プロトタイプシステムを実装した (図 9)。今回の実装では、tamable looper の構成として直径 5mm の球形のネオジム磁石を 7 個接続して使用した。これは以下に述べる今回用いた電磁石のサイズ、配置間隔、および磁力強度を考慮に入れて決定した個数である。なお、他の長さやサイズの磁力球を用いた表現に関しては、今後の課題としたい。

電磁石は直径 12mm、長さ 50mm のものを 10 個一次元状に配列して使用した。これらの電磁石はそれぞれ 4.05V、2.3A で稼働される。この際、電磁石と磁力球間に天板として 2.5mm のアルミ板を配置した。移動させる磁力球自身も磁石であるため、電磁石の中心部の鉄心に対して引力が生じる。磁力球から鉄心へ発生する磁力が強すぎると磁力球の移動が困難になる。

一方、距離が開きすぎてしまうと電磁石から磁力球に与えられる磁力が弱まってしまい、動きの制御に影響が出てしまう。これらのことを考慮して上記の厚みの天板を利用することとした。また天板上には、磁力球の滑りをよくするためにマスキングテープを 1 枚貼り付けた。

本システムでは、電磁石に流す電流の向きを制御することによって発生する磁場の極を変化させ、磁力球に対して働く引力と斥力を切り替える。このために、東芝製 P 型パワー MOS-FET、2SJ334 と N 型パワー MOS-FET、2SK2232 を使用して H ブリッジ回路を組んだ。また、制御には Arduino を用いた。

ユーザのジェスチャ検出用の kinect は筐体後部に配置し、ユーザの手の位置を 3 段階で読み取り、上記のようなインタラクションを実現した。今回の実装では、移動する距離は電磁石の直径に従い、1 回の移動につき 12mm である。またユーザのジェスチャのない状態での移動は 1 回につき 2.2 秒、ユーザのジェスチャがある場合の移動は 1.5 秒で行われる。

4.2 展示とユーザの様子

本システムを 2011 年 11 月 22 日 23 日に東京ミッドタウンで開催された慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの研究発表会 Open Research Forum2011(ORF2011)にて



図 9: プロトタイプシステム

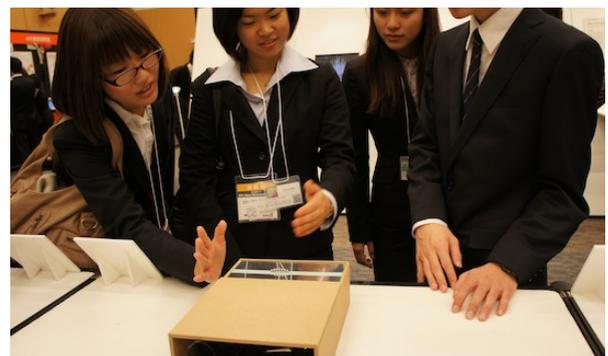


図 10: ORF2011 の様子

展示した (図 10)。2 日間に渡る 1 日 9 時間半の展示を通して、システムは安定的に動作した。

手をかざすと寄って来たり立ち上がる様を見て、体験者からは、生き物のようだという直接的な感想や、可愛いや気持ち悪いといった感想が多く聞かれた。また、見ていて飽きないという意見も聞かれ、実際に長時間眺める鑑賞者の姿も見られた。

想定していなかった行為としては、自然と手を伸ばし、直接 tamable looper に触ろうとする体験者や触りたいと話す体験者が多数いた。今回の実装では、電磁石の発熱が磁力球まで伝導してしまっていたこともあり、直接的な操作は実現していないが、今後このような素材や動きに対して鑑賞者が“ついでに”行為を活かしたインタラクティブなデザインを設計していきたい。

5. まとめと今後の展望

本研究では、磁力球の特性を活かし、電磁石によって磁力球群の位置や姿勢を制御し、シャクトリムシのような生物的な動きをするオブジェクトを実現し、さらにユーザのジェスチャによるインタラクティブな実装した。

今回は一次元の移動に留まっていたが、今後は二次元的、三次元的な空間の移動も検討する。また移動範囲を拡大することによって、複数の磁力球群を同時に動かすことも考えられる。

この他、シャクトリムシ型の動作や直立動作のみではなく、他の動作も取り入れられるようにする。また、電磁石の制御を 2 つの極の ON と OFF の 3 段階の制御しか行わなかったが、PWM によって制御段階を増やすことで動作のバリエーションの増加や動作に応じた必要最低限の電流を流すようにすることで発熱対策へと繋がっていくことが期待できる。

さらに、今回展示を通して体験者の多くが求めている直接接触することによるインタラクティブな実現も必要だと考える。今回は kinect を用いて外部観測によるインタラクティブな実装を行ったが、静電容量等、内部状態を観測することによるユーザ入力の認識の可能性についても検討する。これらの課題を通して、本システムを拡張し、同時運行される多数の磁力球群の位置と形状制御、さらには群同士の関係性によって情報表現が可能なインタラクティブディスプレイの構築を目指す。

謝辞 本研究の一部は JST CREST 「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」領域「局所性・指向性制御に基づく多人数調和型情報提示技術の構築と実践」による助成を受けた。

参考文献

- 1) 福田玄明, 植田一博: “対象との関わりがアニメーション知覚に及ぼす影響”, 日本認知科学会第 24 回大会, 2007.
- 2) Fritz Heider, Marianne Simmel: “An experimental study of apparent behavior,” American Journal of Psychology 57, pp.243-259, 1944.
- 3) Akira Nakayasu, Kiyoshi Tomimatsu: “SMA Motion Display: plant,” ACM SIGGRAPH 2010 Posters, No.29, 2010.
- 4) 脇田玲, 上野道彦: “Living Textile: アニメーションインタラクティブのための動的変形テキスタイル”, 情報処理学会研究報告. HCI, ヒューマンコンピュータインタラクティブ研究会報告 2009-HCI-133(13), 2009.
- 5) 高橋圭子: “Meter Crawler 巻尺かたつむり (日用品生物)”, エンタテイメントコンピューティング 2011, 2011.
- 6) “BioMetal Inchworm,”
<http://www.imagesco.com/nitinol/inchworm.html>
(2011 年 12 月現在)
- 7) “BioMetal Looper Robot,”
<http://www.geocities.co.jp/Technopolis/2931/index.html>
(2011 年 12 月現在)
- 8) Naoya Koizumi, Kentaro Yasu, Angela Liu, Maki Sugimoto, Masahiko Inami: “Animated paper: A toolkit for building moving toys,” Computers in Entertainment(CIE) ACM, Volume 8 Issue2, 2010.
- 9) Martin Frey: “SnOil: A Physical Display Based on Ferrofluid,”
“<http://www.freymartin.de/en/projects/snoil> (2011 年 12 月現在)
- 10) 児玉幸子: “磁性流体アートプロジェクト「突き出す, 流れる」”,
<http://www.kodama.hc.uec.ac.jp/protrudeflow/index.html>
(2011 年 12 月現在)
- 11) Gian Pangaro, Dan Maynes-Aminzade, Hiroshi Ishii: “The Actuated Workbench: Computer-Controlled Actuation in Tabletop Tangible Interfaces,” ACM UIST 2002, pp.181-190, 2002.
- 12) Jinha Lee, Rehmi Post, Hiroshi Ishii: “ZeroN: Mid-Air Tangible Interaction Enabled by Computer Controlled Magnetic Levitation,” ACM UIST 2011, pp.327-336, 2011.
- 13) 吉田俊介, 野間春生, 保坂憲一: “複数物体を同時駆動可能な力覚提示装置 Proactive Desk II の開発”, インタラクティブ 2006, pp.251-258, 2006.
- 14) Akira Wakita, Akito Nakano, Nobuhiro Kobayashi: “Programmable Blobs: A Rheologic Interface for Organic Shape Design,” In Proc. TEI 2011, pp.273-276, 2011.