RippleSpike: スパイク表現と波紋表現を組み合わせたアンビエントディスプレイ

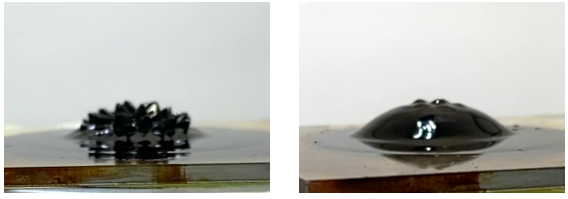
野間 直生[1]　塚田 浩二[1]

概要：磁性流体とは，強磁性の粉末を分散させたコロイド溶液である．強力な磁力を印加することで，スパイク状に隆起する．このスパイク状の隆起はメディアアート等で広く活用されている．我々は，このスパイク現象による棘のようなテクスチャは，独特で強い印象を与えるが，アンビエントディスプレイとして生活空間で利用すためには不適であると考えた．そこで本研究では，磁性流体にオイルを混合させることで，棘のようなテクスチャを抑制し，なだらかな波紋表現を表現する．本稿では，スパイク表現となだらかな波紋表現を組み合わせたアンビエントディスプレイ「RippleSpike」を提案・試作し，表現事例や応用例を示す．

1. はじめに

近年，液体を用いた情報表現手法が盛んに提案されている．例えば，バブルディスプレイ [1] は気泡を利用し，水の時計 [2] は水滴の間隔を調整することで情報提示を行う．こうした液体ディスプレイには周辺環境への親和性が高いことや，液体の質感を活用できるといった特徴がある．

本研究では，液体の中でも磁力によって容易に制御が可能な磁性流体に着目した．磁性流体とは，強磁性粒子，溶媒，界面活性剤から成り立つコロイド溶液である．強磁性粒子が磁力に反応することで，磁石などの磁力を発生するものに引き寄せられる．磁性流体は，磁石を近づけることで，スパイク現象と呼ばれる現象が発生することでよく知られている (図 1 左)．この現象は，平面状に配置した磁性流体に対して，垂直に磁場を印加したとき，棘のような隆起を生成する．隆起の密度や数，大きさは電磁石の磁力や位置を調整することで変化させることができる．この性質はメディアアート等で広く活用されている [3].



磁性流体のみ　　混合液

図 1: 磁性流体に磁力を印加している様子

我々は，スパイク現象による棘のようなテクスチャは独特で強い表現であり，アンビエントディスプレイとして生活空間で利用するには不適であると考えた．そこで，磁性流体にオイルを混合させることで，なだらかな半球や波紋を表現する手法を提案する（図 1 右）．本研究では，スパイク表現となだらかな波紋表現を組み合わせたアンビエントディスプレイ「RippleSpike」を提案・試作する．

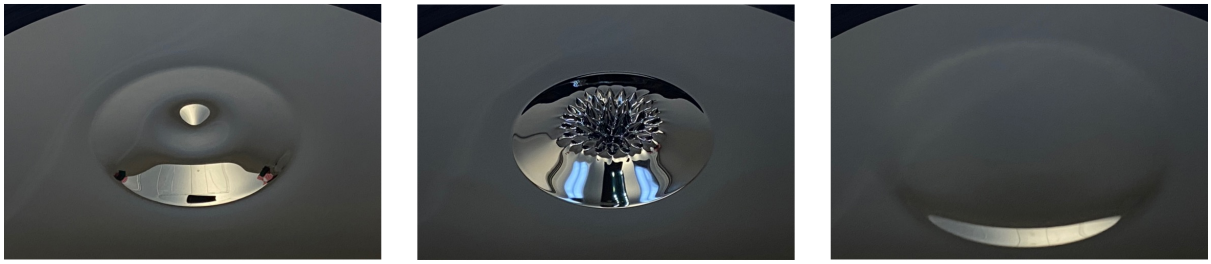
2. 関連研究

2.1 液体を用いた表現手法

Coworo[4] は，撹拌によって液体表面が隆起する液体に着目したメディアアートである．電子制御によって，任意の位置，高さで隆起を発生させることができる．Millefiori[5] は磁性流体を利用したメディアアートである．狭い空間に磁性流体を密閉することで複雑なパターンを表現することができる「ラビリンス不安定性」という現象に着目し，水彩絵の具と磁性流体の混合液を用いることで色彩豊かな表現を行なっている．本研究では，磁性流体の表現能力を拡張することで，日常生活での利用に適したアンビエント・ディスプレイの構築を目指す．

Bub Bowl[6][7] は，電気分解により発生する泡を画素とすることで，水面をドットマトリクスディスプレイのように活用できる．具体的には，インスタントコーヒー，コーンスターチ，炭酸水素ナトリウムを混ぜた黒い電解液を用いて，動的に変化する表現事例を提示している．この手法では，画素となる泡の生成に時間がかかるという制約がある．石井ら [8] は，呈色反応を利用した化学反応による情報提示手法を提案している．食品などの，pH 反応物質で

[1] 公立はこだて未来大学



(a)なだらかな半球　(b)スパイク　(c)余韻

図 2: 本提案で作成可能な表現例

覆われた実物体に転写することで情報提示が可能である．TangibleDrops[9] は，水酸化ナトリウム中に浮かべた液状のガリウムを画素として用いるディスプレイである．任意の位置に液状のガリウムを移動させることで，視覚・触覚フィードバックを実現している．本研究では，なだらかな半球とスパイク表現，および高速に振幅する波紋表現等を組み合わせた多様な液体表現の構築を目指す．

2.2 磁性体を用いたデバイス

中野ら [10][11] はスライム状の磁性体を作成し，永久磁石で操作する手法を提案している．磁石を操作することで，磁性体の移動／伸縮，合成／分離などの動作が可能である．Slime Robot[12] は粘弾性のある液体状のロボットである．成分として，ポリビニルアルコール，永久磁石，ホウ砂を用いて作られている．液体が導電性であることを活用し，電子回路を修復する事例を提案している．本研究では，なだらかな表現やスパイク表現を組み合わせたアンビエントディスプレイの開発を目指す．

3. 提案

本章ではまず，磁性流体をアンビエントディスプレイとして扱う際の課題を整理し，本研究のコンセプトを述べる．

3.1 磁性流体の課題

磁性流体をアンビエントディスプレイとして日常生活で利用する場合，前述したスパイク表現の問題に加えて，以下のような課題がある．

(1) 空気中で揮発する

(2) ガラスやアクリルに沈着する

一点目は溶媒が空気中で揮発することで，時間経過によって液体からペースト状に変化して磁力で駆動できなくなってしまう点である．二点目は，ガラスやアクリルに接触すると粒子が沈着してしまい，美観を損ねる点である．

3.2 コンセプト

本研究では，磁性流体にオイルを混合することで，スパイク現象に加えて，なだらかな半球や波紋を表現するアンビエントディスプレイ「RippleSpike」を提案する (図 2)．

RippleSpike のコンセプトは，大きく以下の 2 点である．

(1) スパイク表現となめらかな波紋表現の融合

(2) 生活空間での利用

一点目は，スパイク現象に加えて，なだらかな半球や波紋を表現することである．こうした表現を行うためには，磁性流体の粘度を下げることで，スパイク状の隆起を抑えたり，応答性を高める必要がある．二点目は，システムを生活空間で長期的に利用するために，磁性流体の漏れや揮発を防ぐ必要がある．

この二点の実現のために，本研究では磁性流体にミネラルオイルを混合する．ミネラルオイルには，「粘度が低い」「揮発しにくい」「劣化しにくい」といった特性がある．オイルを混合することで，図 1 右のように，スパイクを抑制する効果や，応答性能が向上する傾向があった．さらに，磁性流体の揮発を防止する効果も見られた．

また，生活空間での利用を見据えて，図 3 のように設置や運用が容易なシンプルなデバイス構成を取る．混合液は透明のトレイに格納し，液漏れ対策を施した透明の蓋を取り付ける．トレイの下部には電磁石アレイを設置する．電磁石アレイは筐体に固定されており，安定してトレイを支えつつ，交換もできるように工夫する．

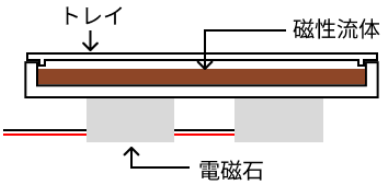
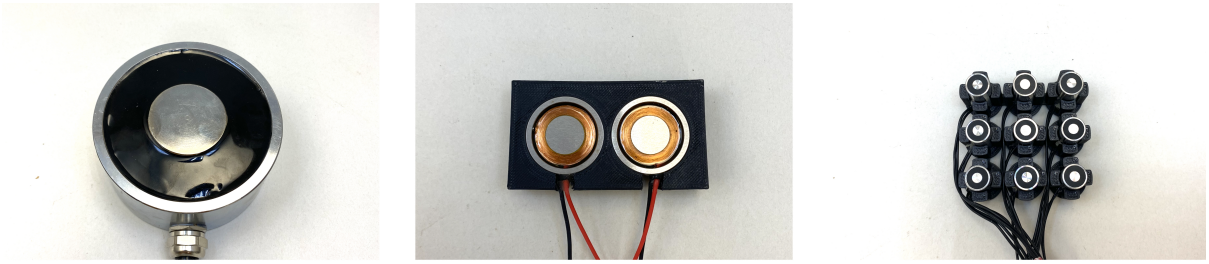


図 3: 基本のデバイス構成

4. 実装

プロトタイプの外観を図に示す．プロトタイプは大きく，「磁性流体の格納トレイ」「電磁石アレイと筐体」「制御基板」を中心に構成される．以下，それぞれの詳細を示す．なお，磁性流体としては，シグマハイケミカル DS-50 を，ミネラルオイルとしては，ジョンソン ベビーオイルを



大型の電磁石　　中型の電磁石　　小型の電磁石

図 4: 電磁石の種類と外観

利用した．

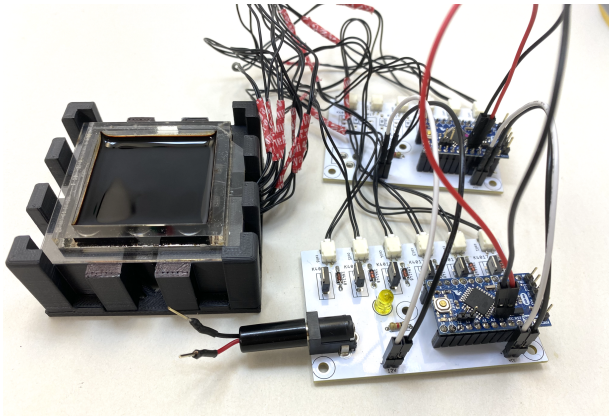
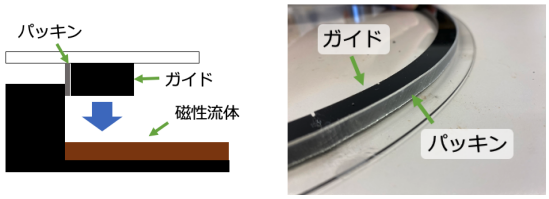


図 5: プロトタイプ (小型の電磁石)

4.1　磁性流体の格納トレイ

磁性流体はシャーレのような薄型のトレイに格納する．複数のサイズを用意しており，例えば図 5 のトレイのサイズは，5cm × 5cm である．磁性流体の動きを観察しやすいように，トレイは透明のアクリル板をレーザーカッターで加工し，液体が漏れないよう慎重に接着した．また，磁性流体は人体に有害であるため，直接触れたり，液漏れしたりする状況を避ける必要がある．そこで，磁性流体の格納トレイにはパッキンを付けた透明の蓋を取り付けた．パッキンはエラスティックレジンを用いて光造形式の 3D プリンタで自作し，蓋の内側のガイドに沿って接着した．図 6 に，格納トレイの構造と外観を示す．蓋を上部から被せるだけで，簡易的に密閉可能な構造とした．



模式図　　裏返した天板

図 6: パッキン付きの天板

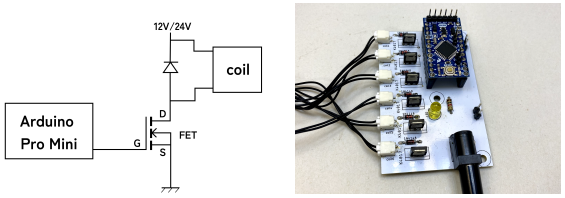
4.2　電磁石アレイと筐体

多様な表現を試行するために，図 5 に示す 3 種類の電磁石アレイを用意した．筐体のサイズを揃えるために，大型の電磁石（直径 80mm，磁力 55mT) は 1 つ，中型の電磁石（直径 26mm，磁力 29mT) は 2 つ，小型の電磁石（直径 8mm，磁力 23mT）は 9 つを同時に制御可能な設計とした．磁力はそれぞれ 24V を印加したとき，ガウスメーターで計測した実測値である．それぞれの電磁石に合わせて筐体を設計し，格納トレイを固定できるように配慮した．

図 5 は小型の電磁石アレイの筐体に格納トレイ（蓋無し）を設置している様子である．

4.3　制御基板

電磁石を制御するための制御回路と基板について述べる (図 7) 電磁石毎に 1 つの FET(K4017) を利用しており，マイコン (Arduino pro mini) から制御する．基板は Eagle で独自に設計した．1 枚の基板に 6 つの FET を備えており，最大 6 個の電磁石を制御できる．JST コネクタを用いて，手軽に交換できるように設計した．また，電磁石の動作状態を示す LED も設置した．さらに，基板同士を I^2C を介して接続できるように設計しており，n 枚の基板を連結することで，n × 6 個の電磁石を同時に制御できる．



回路図　　作成した基板

図 7: 制御回路と基板の外観

4.4　表現事例

本節では，なだらかな半球や波紋表現の表現事例を紹介

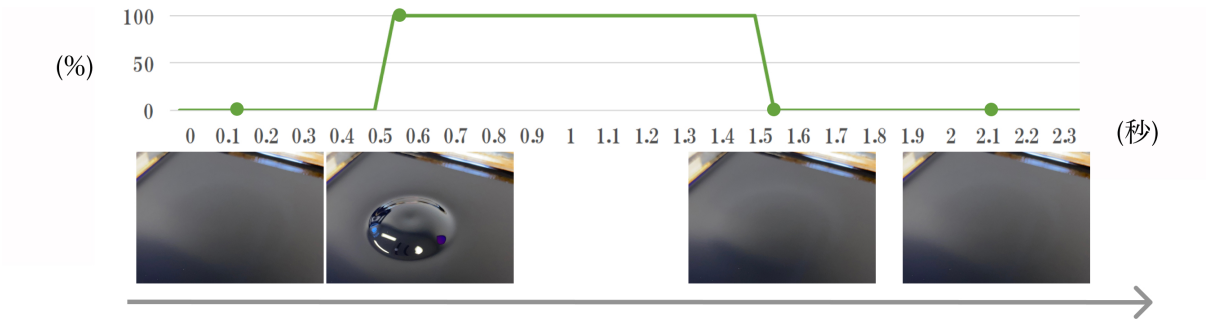


図 8: 2 値制御の事例

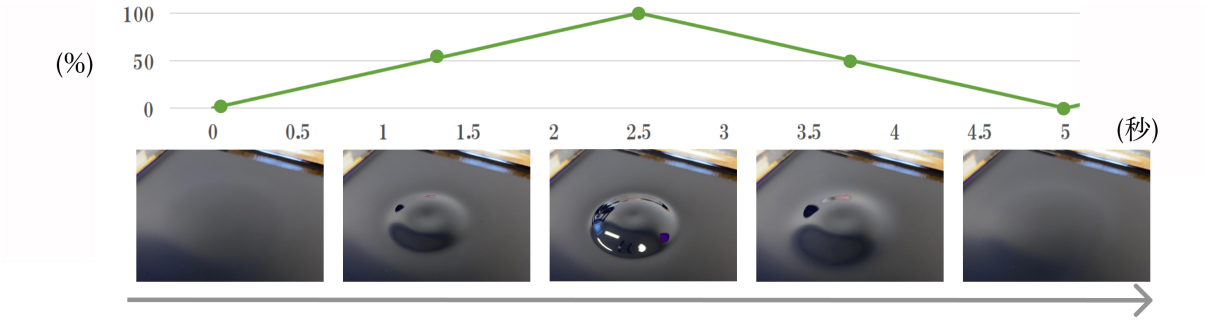


図 9: 連続制御の事例

する．中型の電磁石と磁性流体 75%／ミネラルオイル 25%の混合液を用いた．PWM の出力値（割合）を時間経過に合わせて制御することで，(1)2 値制御，(2) 連続制御，(3) 振幅制御の 3 種類の表現事例を作成した．

(1) は，PWM 値で 0%／ 100%の 2 値制御の事例である（図 8）．100 %にした直後 (0.4 秒）で半球が生じており，0 %にした直後 (1.4 秒) にはゆっくり波が引くような余韻のような表現が見られた．(2) は，PWM 値を 0〜100%まで約 2.5 秒かけて連続的に上昇させ，その後同様に 100〜0%まで下降させた事例である (図 9)．PWM 値に連動して，半球がなだらかに生成／消失していくこととが分かる．(3) は，振幅を徐々に小さくしながら，連続的に繰り返した事例である (図 10)．周期は約 0.4 秒で固定した．PWM 値に連動して，半球が高速に振動しながら徐々に落ち着いていくような表現が観察できた．なお，(1) と (2) の表現は全ての電磁石で確認できたが，(3) の表現は小型の電磁石のみ変化が小さいように感じられた．

5. 基礎性能評価

5.1 オイルの混合による外観の変化

本節では，スパイク現象の抑制について調査した結果について述べる．

5.1.1 目的と手法

本研究では，スパイク表現となだらかな半球表現の両立を目指す．そこで，2 種類の表現が両立可能な混合割合を調査した．大型の電磁石に 0mT〜90mT の間で 10mT の範囲で 10mT 毎に磁力を印加し，混合液の様子を観察した．混合液は表 1 の 5 種類の比率で用意した．磁力はガウスメーターを用いて最も磁力が強い位置を計測した．

表 1: 混合液の比率

混合液	磁性流体 (%)	オイル (%)
A	100	0
B	67	33
C	50	50
D	33	67
E	25	75

5.1.2 結果と考察

実験結果のうち，特に差が見られた部分を図 11 に示す．混合液 A(100:0) における 50mT〜90mT においてのみスパイク現象が見られた．最もオイルの割合が低い混合液 B(67:33) でもスパイク現象が確認できなかったことから，オイルを混ぜることでスパイク現象がかなり抑制されることがわかった．その後の予備調査により，混合液の割合を 10%にすることで，2 種類の両立と応答速度の向上が観察できたため，以降はこの比率を利用することにした．

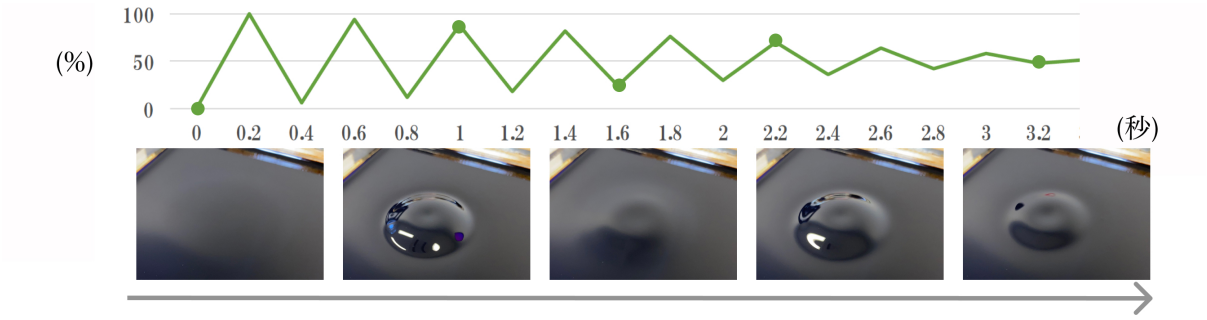


図 10: 振幅制御の事例

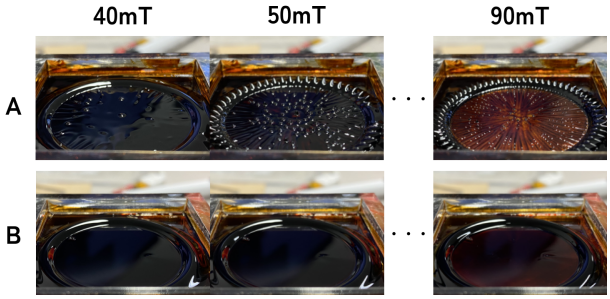


図 11: スパイク現象の変化

5.2 オイルの混合による反応速度の比較

5.2.1 目的と手法

応答性の向上を定量的に確認するため，オイルの混合による反応速度の変化を調査した．8mm の電磁石を 9 つ用いて，2 秒間 100%／8 秒間 0%の 2 値制御を行った．混合液の様子を図 (12) のように斜め上から撮影し，生成／消失のタイミングを動画編集ソフト (final cut pro) を用いて目視で確認した．電磁石の出力と同時に LED を点灯させることで，出力／停止のタイミングを判別した．

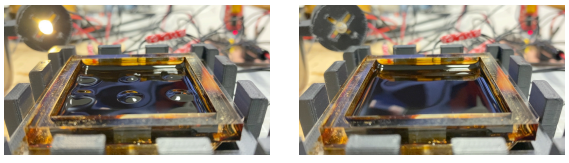


図 12: 反応速度調査の様子

5.2.2 結果と考察

表 2 は半球の生成/消失にかかった時間を示す．混合液 C(50:50) が最も生成に必要な時間が短く，割合が偏ることで生成時間がやや長くなる傾向が見られた．消失では，混合液 A(100:0) が最も消失に必要な時間が長く，オイルの混合割合を増加させることで時間が短縮する傾向が見られた．スパイク表現を用いない場合は，混合液 C の割合を用いることが最も適しているとわかった．

表 2: 異なる混合液の半球の生成／消失にかかった時間

混合液 (磁性流体 (%)，オイル (%))	生成 (s)	消失 (s)
A(100，0)	1.55	6.29
B(67，33)	1.16	3.49
C(50，50)	1.04	1.17
D(33，67)	1.52	1
E(25，75)	1.49	0.56

6. 応用例

会議室やホール等に設置することを想定して，大型電磁石を 5 つ用いた大型筐体を実装した (図 13)．磁性流体の格納ケースの直径は 260mm であり，数メートル程度離れた距離からも容易に挙動を観察することができる．

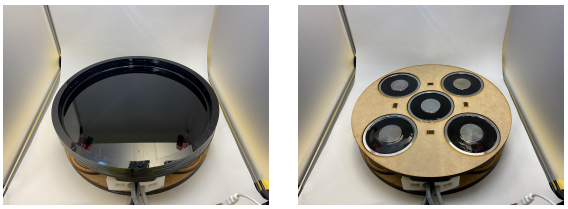


図 13: 大型デバイス

ここでは，複数人の会話に応じて表現が変化する事例を紹介する．各電磁石の向きに，指向性マイクを備えることで，声の大きさと方向等を検出する．落ち着いた会話が進行している時は静かになだらかな半球が生成/消失を繰り返す．会話が白熱することで，スパイクが出現する．このように，会話の様子を幅広いパターンで可視化することができる (図 14)．

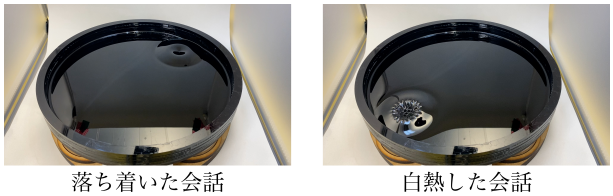


図 14: 会話の様子を可視化する応用例

7. まとめと展望

本稿では，スパイク表現となだらかな波紋表現を組み合わせたアンビエントディスプレイ「RippleSpike」を提案・試作した．磁性流体にオイルを混合させることで「スパイクの抑制」「応答性能の向上」が見られた．電磁石を用いて混合液を制御することで，なだらかな半球／スパイク／余韻を表現できることを確認した上で，会話の雰囲気を可視化する応用例を構築した．今後の展望として，より容易に密閉が可能な格納トレイの実装を行い，アクリルへ沈着してしまう課題に取り組む．また，多様な生成パターンや応用例の構築を目指す．さらに，評価実験として，距離の変化による視認性の評価や，応用例を利用した印象評価を行う．

参考文献

[1] 佐川 俊介，小川 剛史：バブルディスプレイ：水中の気泡を用いたインタラクティブ映像システム，情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ，Vol.2，No.1，pp.16-23，2014.

[2] 光 栄：JR 大阪駅「水の時計」，http://www.koeiaquatec.co.jp/works/detail/jrosakamizutokei.html．参照.2023/12/22.

[3] 児玉 幸子, 宮島 靖：音楽に同期する磁性流体彫刻, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.12，No.3，pp.247-258，2012.

[4] Takuya Matsunobu，Yasuaki Kakehi：Coworo: a kinetic installation with shape-changing liquid，Tokyo University，https://xlab.iii.u-tokyo.ac.jp/projects/coworo/，参照.2023-12-22.

[5] Fabian Oefner：
Millefiori,
https://www.behance.net/gallery/4036035/Millefiori, 参照.2023-12-22.

[6] Ayaka Ishii，Itiro Siio：BubBowl: Display Vessel Using Electrolysis Bubbles in Drinkable Beverages. ，In Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '19). pp.619-623. 2019.

[7] Ayaka Ishii，Namiki Tanaka，Itiro Siio：Bubble Mirror: An Interactive Face Image Display Using Electrolysis Bubbles, SIGGRAPH Asia 2020 Emerging Technologies, No.18，pp.1-2，2020.

[8] 石井 綾郁，池松 香，椎尾 一郎：電気分解イオンによる湿潤面への情報提示，WISS，vol.39，No.1，pp.105-119，2020.

[9] Deepak Ranjan Sahoo, Timothy Neate, Yutaka Tokuda, Jennifer Person, Simon Robinson, Sriram Subramanian, Matt Jones：Tangible Drops: A Visio-Tactile Display Using Actuated Liquid-Metal Droplets，In Proceedings of CHI2018，No.177，pp.1-14，2018.

[10] 脇田 玲，中野 亜希人：Rheologic Interaction：流動体プログラマブル・マターを用いたインタラクションデザインの試み，情報処理学会研究報告，HCI-140.NO.17, pp.1-5，2010.

[11] 中野 亜希人，脇田 玲：磁性ゲル形状ディスプレイの開発とインタラクション手法の検討，情報処理学会論文誌，vol.54，No.4，pp.1528-1537，2013.

[12] Sun Mengmeng, Tian Chenyao, Mao Liyang, Menng Xianghe，Shen Xingjiaan，Hao Bo，Wang Xin，Xie Hui，Zhang Li：ReconfigurableMagnetic Slime Robot: Deformation,Adaptability, and Multifunction，Adv Funct Mate，pp.1-13，2022.